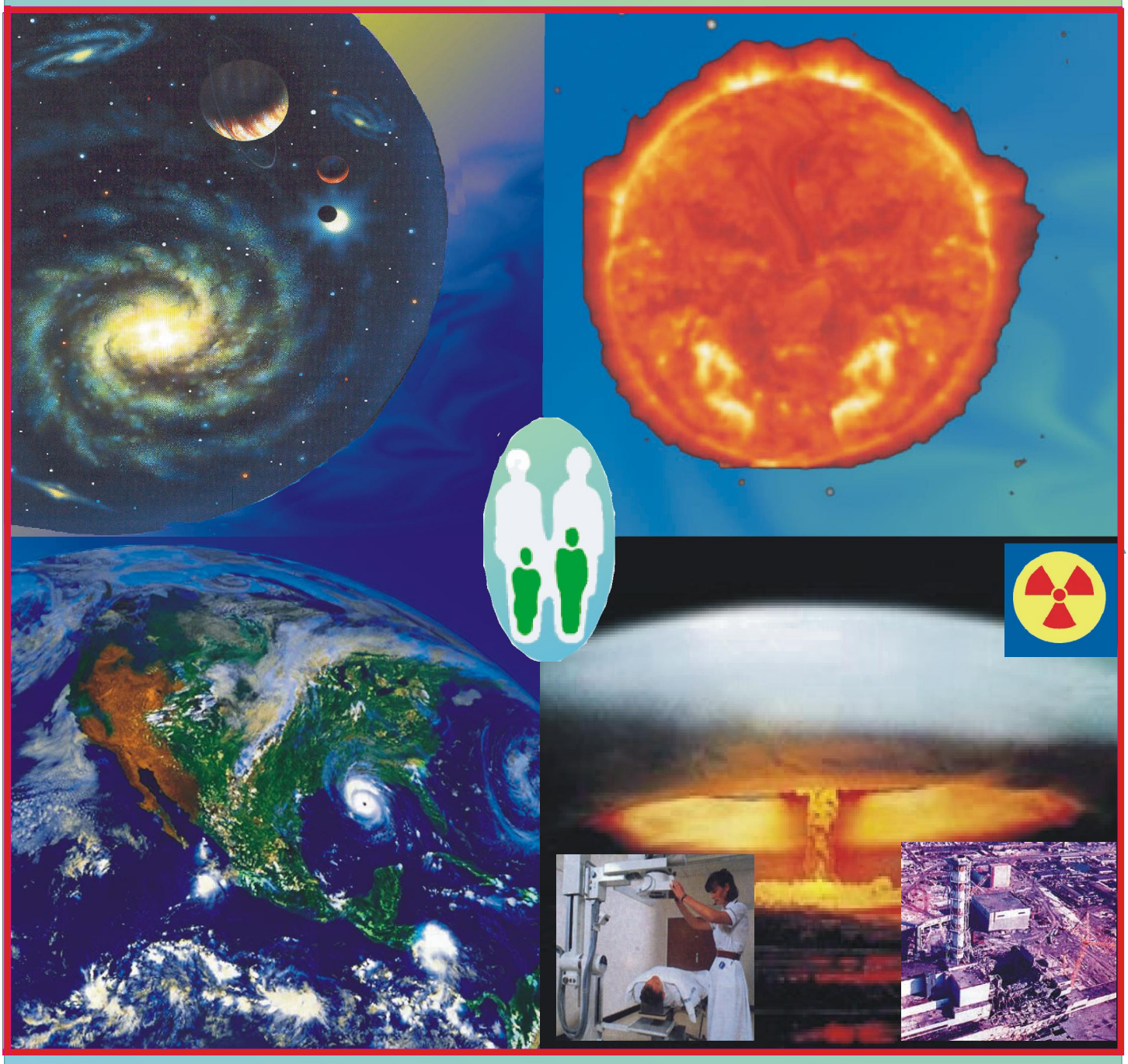
Основы радиоэкологии и безопасной жизнедеятельности

Том I

Методическое пособие
для учителей



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Основы радиоэкологии и безопасной жизнедеятельности

Методическое пособие для учителей: в двух томах

Том I

Под общей редакцией кандидата психологических наук Т.Н. Ковалевой,
кандидата химических наук Г.А. Соколик,
кандидата химических наук С.В. Овсянниковой

Подготовлено при поддержке ЮНЕСКО в рамках международной программы CORE (Сотрудничество для реабилитации)

Минск 2005

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 614.876 (075.8)
ББК

Рецензенты:

д-р мед. наук, профессор *Я.Э. Кенигсберг*
канд. пед. наук *О.Л. Жук*
канд. биолог. наук, заслуженный учитель РБ *З.И. Шелег*

Основы радиоэкологии и безопасной жизнедеятельности : Методическое пособие для учителей: в двух томах. / Под общей редакцией канд. психолог. наук Т.Н. Ковалевой, канд. хим. наук Г.А. Соколик, канд. хим. наук С.В. Овсянниковой. – Мн: БГУ, 2005. – Т. I. – 356 с.

В подготовке I тома пособия принимали участие:

Канд. хим. наук *Соколик Г.А.*, канд. хим. наук *Овсянникова С.В.*, канд. хим. наук *Лейнова С.Л.* (Белгос -университет); канд .физ .- мат . наук *Гурачевский В.Л.* (Комчернобыль); канд. хим. наук *Кимленко И.М.* (Белгосуниверситет); канд. мед. наук *Крюкова А.А.* (Республиканский научно-практический центр гигиены); канд. мед. наук *Шевчук В.Е.* (Комчернобыль); канд. техн. наук *Жукова О.М.* (Республиканский центр радиационного контроля и мониторинга окружающей среды); *Соболев О.В.* (Комчернобыль); *Иванова Т.Г.* (Белгосуниверситет); *Захаренков В.В.* (Белгосуниверситет); канд. техн. наук *Тушин Н.Н.* (Международный государственный экологический университет им. А.Д. Сахарова).
Компьютерная верстка, набор и дизайн *Д.М. Максимович* (Объединенный институт энергетических и ядерных исследований - Сосны)

ISBN

Первый том пособия включает две части. В *первой* части рассматриваются истоки и причины зарождения радиоэкологии как науки, дается представление о различных видах излучения . Значительное внимание уделяется рассмотрению источников ионизирующего излучения природного и техногенного происхождения. Излагаются основы дозиметрии , дается представление о дозиметрических величинах и их назначении , рассказывается о способах измерения разных видов ионизирующего излучения, о биологических эффектах, вызываемых облучением организма человека, о мерах, которые может предпринимать человек для снижения негативных последствий облучения.

Вторая часть пособия посвящена катастрофе на Чернобыльской АЭС. В самых общих чертах рассматриваются причины катастрофы , развитие радиационной обстановки, последствия радиоактивного загрязнения окружающей среды для природы и жителей Беларуси. Особое внимание уделено рассмотрению мер, которые может предпринять любой житель радиоактивно загрязненной территории, чтобы уменьшить негативные последствия облучения своего организма.

Пособие предназначено для педагогов, работающих с детьми и подростками в районах, пострадавших от Чернобыльской катастрофы , а также широкому кругу читателей , желающих расширить свои представления в области радиоэкологии и овладеть приемами, способствующими снижению радиационного риска.

ISBN

УДК 614.876 (075.8)
ББК

Основы радиоэкологии и безопасной жизнедеятельности, 2005

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

К ЧИТАТЕЛЯМ

Дорогие коллеги,

перед Вами методическое пособие, которое поведет Вас в мир радиоэкологии. В последние десятилетия интерес к этой относительно молодой области научного знания необычайно возрос. Немалую роль в этом сыграла и Чернобыльская катастрофа, после которой любой из нас, даже тот, кто далек от науки, осознал, какая мощная энергия таится в недрах атомного ядра.

Несомненно, ядерная энергия может приносить огромную пользу людям. Современное развитие цивилизации трудно представить без использования ядерных технологий, особенно для удовлетворения энергетических потребностей человечества. «Энергией будущего» называли ядерную энергетику в середине XX века и так до сих пор считают многие ученые. Вместе с тем, разрушительная катастрофа, произошедшая на Чернобыльской АЭС, напомнила, какая грозная и необузданная сила может обрушиться на человека при неосторожном обращении с «мирным атомом».

Прошло уже 20 лет после Чернобыльской катастрофы. Правительство нашей страны делает многое, чтобы максимально обезопасить проживание и улучшить качество жизни людей в пострадавших районах. Ежегодно на это расходуются значительные средства из бюджета страны. Вместе с тем, последствия произошедшей катастрофы до сих пор волнуют людей, порождая как обоснованные, так и необоснованные страхи и опасения. Во многом эти страхи связаны с недостатком знаний в области радиоэкологии, неумением реально оценивать радиационную обстановку и по возможности избегать чрезмерного облучения в повседневной жизни с помощью совсем несложных и доступных мер.

Методическое пособие, предлагаемое Вашему вниманию, в первую очередь, предназначено для педагогов, которые проводят занятия по основам безопасной жизнедеятельности в школах, расположенных на территории, загрязненной радионуклидами чернобыльского выброса или вблизи такой территории. Учителя химии, физики, биологии, географии, физической культуры также найдут здесь материал, который окажется полезным при проведении уроков, как по обязательной программе их курса, так и при организации внеклассной работы. Пособие может оказать реальную помощь и педагогам дошкольных учреждений.

Учитель является проводником знаний и культуры, особенно на селе. Повысив свой уровень подготовки, он может передать свои знания и опыт тем, кого обучает. Вот почему так важно заботиться об уровне знаний педагогов, работающих с детьми и молодежью.

Любой любознательный читатель найдет здесь множество полезных советов, которые пригодятся в повседневной жизни и помогут сохранить и укрепить здоровье.

Материалы пособия не только познакомят Вас с основами радиоэкологии и радиационной безопасности, расширив и углубив знание предмета. Они помогут разобраться, как самостоятельно оценивать степень радиационного риска в реальной жизненной ситуации, как выбирать наиболее подходящие приемы, чтобы, по возможности, уменьшить этот риск.

Пособие охватывает широкий круг вопросов. Оно состоит из двух книг. Первая книга включает две части. *Первая часть* посвящена теоретическим основам радиоэкологии и безопасной жизнедеятельности в условиях повышенного радиационного риска. Здесь рассказывается о природе различных видов ионизирующего излучения, применении источников излучения в различных областях науки и техники, о биологических эффектах, к которым может приводить облучение человека.

Во *второй части* пособия в самых общих чертах рассматривается, как и почему произошла катастрофа на Чернобыльской АЭС, как развивались события после разгерметизации ядерного реактора, какие радионуклиды представляли наибольшую опасность в разные периоды после катастрофы, к каким последствиям для природы Беларуси привело радиоактивное загрязнение окружающей среды. Особое внимание уделено тому, что может реально предпринять сам человек, чтобы уменьшить облучение своего организма, какими должны быть образ жизни и питание человека при проживании на территории, подвергшейся радиоактивному загрязнению.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

В *третьей части* пособия Вы найдете примеры методических разработок для проведения занятий по радиоэкологии и радиационной безопасности с учащимися и воспитанниками разных уровней образования, в том числе и примеры практических лабораторных занятий.

Чтобы легче ориентироваться в обширном материале I книгу пособия завершает *приложение*, включающее таблицы основных дозиметрических величин и словарь терминов, используемых в пособии. В конце каждой книги приведены списки публикаций научного и методического характера, материалы которых использовались при подготовке методического пособия.

Пособие подготовлено в рамках международного проекта ЮНЕСКО, направленного на реализацию новых подходов к решению проблем реабилитации пострадавших районов.

Авторы использовали наиболее достоверную современную информацию и старались излагать материал простым и доступным языком. Для понимания изложенного материала вовсе не требуется специальная подготовка. И пусть Вас не пугает, если после первого прочтения не все сразу станет ясным до конца. Ясность и понимание приходят постепенно, по мере привыкания к новым понятиям и терминам. Пособие поможет Вам расширить кругозор и получить знания, необходимые всем людям, живущим на загрязненной территории. Авторы надеются, что материалы пособия помогут Вам, используя свой педагогический опыт работы с детьми подростками, способствовать воспитанию активной целеустремленной личности, способной управлять обстоятельствами в сложной радиоэкологической ситуации. Недостаток знаний и умений, недопонимание сути явлений порождают страх, ощущение бессилия, неуверенность в завтрашнем дне. Знание проясняет ситуацию, помогает понять, что Ваше стремление сохранить и укрепить собственное здоровье и здоровье близких Вам людей осуществимо. Это вселяет надежду и придает новые силы. При этом многое зависит от Вашего собственного оптимизма, упорства и активности.

Удачи Вам на этом пути!

Т.Н. Ковалева

Заместитель

Министра образования

Республики Беларусь

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

ЧАСТЬ I

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАДИОЭКОЛОГИИ И РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Общие вопросы радиоэкологии

Глава 1

Ключевые слова: экология, радиоэкология, популяция, биоценоз, экосистема

Радиоэкология зародилась на определенном этапе развития экологии. Ее появление связано с открытием ионизирующих излучений и использованием ядерной энергии в мирных и военных целях, что привело к дополнительному радиоактивному загрязнению биосферы и увеличению воздействия ионизирующих излучений на живые организмы и среду их обитания.

Изучив главу... Вы узнаете, почему радиоэкология выделилась из других наук и что является предметом ее изучения, какие вопросы рассматривает общая, теоретическая и экспериментальная радиоэкология.



1.1. ***Экология и радиоэкология***

Что такое «экология»?

В современную эпоху не существует более важной проблемы, чем сохранение природы и выживание человечества. Образно говоря, мы живем в эпоху трех «Э»: *Экономики, Энергетики, Экологии*. Термин «экология», произошедший от греческих слов «oikos» — дом, жилище, местопребывание и «logos» — наука, знание, был введен Э. Геккелем еще в 1866 году и буквально означает «наука об организмах в местах их обитания». В своё время экология возникла как новое направление биологии, изучающее влияние внешней среды на эволюцию организмов. С развитием этой отрасли знания число объектов изучения экологии значительно расширилось.

История развития экологии

Согласно современным представлениям, экология — это ***наука о взаимоотношениях живых организмов между собой и с окружающей средой***.

Еще в древности человек интересовался окружающим миром и, чтобы выжить, каждый должен был овладеть определенными знаниями о силах природы, окружающих растениях и животных. Подобно другим научным направлениям экология развивалась непрерывно, хотя и неравномерно.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Основные этапы в истории развития экологии и имена ученых, с которыми они связаны

Появление первых сведений экологического характера в трудах древнегреческих философов	Зарождение экологии	Становление экологии как самостоятельной науки	Развитие экологии как науки и нового образа мышления
IV-V ***век до нашей эры*** *Гиппократ Аристотель*	*XVIII - XIX* ***век*** *Линней К. Ламарк Ж.Б. Мальтус Т. Дарвин Ч. Геккель Э.*	***I половина XX века*** *Тимирязев К.А. Докучаев В.В. Вернадский В.И. Вавилов Н.И. Элтон Ч. Вольтера В. Лотка А. Тенсли А. Сукачев В.Н. и др.*	***Со II половины XX века и до наших дней*** *Шварц С.С. Наумов Н.П. Одум Ю. Риклефс Р. Андерсон Дж.М. и др.*

Рассмотрим подробнее, что же изучает экология.

Что изучает экология?

С одной стороны, эта природоведческая наука исследует, как среда обитания влияет на растительные и животные организмы, как меняются их многообразие, численность и взаимоотношения. Она рассматривает, какова реакция популяций, сообществ, отдельных особей на изменение условий жизни.

С другой стороны, экология изучает, как меняется среда обитания под влиянием жизнедеятельности организмов. Иными словами, экология выявляет закономерности существования и сохранения экологических систем.



Совокупность всех экосистем планеты образует биосферу

Экологическая система (***экосистема***) — это сообщество совместно обитающих живых организмов различных видов в совокупности с жизненным пространством, которое оно занимает и где осуществляется круговорот веществ и обмен энергией. Природная экосистема является объектом, в котором есть все необходимое для ее самостоятельного длительного существования. Луг, лес, болото, озеро и т. п. являются экосистемами. Вместе с тем, и капля природной воды со всеми ее обитателями также относится к экосистемам. Совокупность всех экосистем планеты, существующих в атмосфере, на суше и в воде, образует самую крупную экосистему Земли — биосферу.

В любой экосистеме можно выделить две основные

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

части — *живую систему* (организм, популяция, вид, сообщество) и *окружающую среду*, которые и являются предметом изучения экологии.

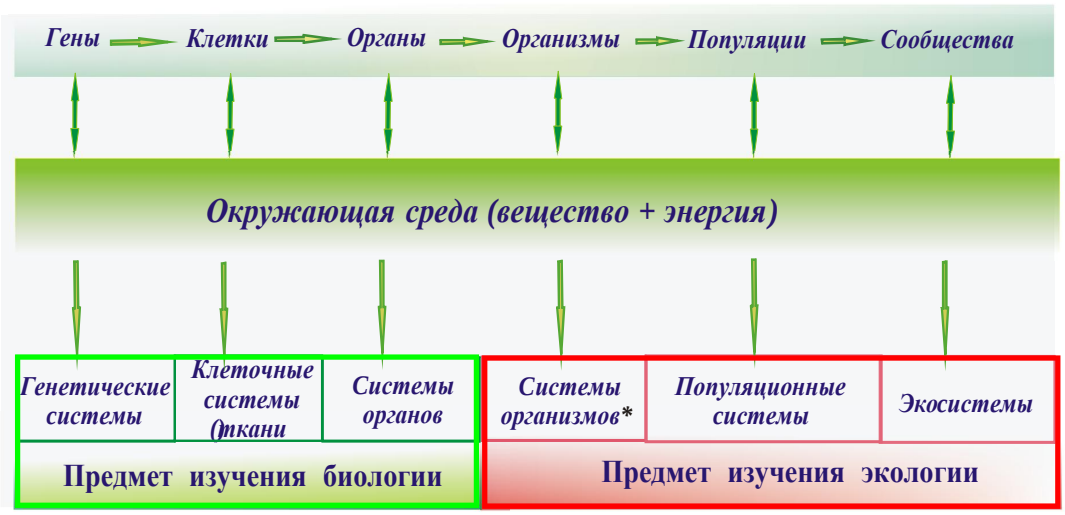
Существует три подхода в определении предмета изучения экологии в зависимости от принципа выделения, которые отражены в следующей таблице.

Предмет изучения экологии в зависимости от принципа его выделения

Принцип выделения	Предмет изучения экологии
уровень организации	популяции организмов, виды, сообщества, экосистемы
тип среды и местообитания	пресноводные, морские и океанические, сухопутные экосистемы
область приложения экологических знаний	природные ресурсы, загрязнители среды обитания человека и биосферы в целом

И экология, и биология изучают живые системы, однако уровень организации живой материи в системах, изучаемых этими дисциплинами, различен. Рассмотрим подробнее уровни организации живой материи. Ген, клетка, орган, организм, популяция, сообщество — основные уровни организации живой материи. Они составляют своего рода «*биологический спектр*».

Уровни организации живой материи («биологический спектр»)



* *Обычно в экологии изучают живые системы, уровень организации которых выше организменного, однако в случае видов, которым грозит исчезновение, изучаться могут и отдельные организмы.*

На всех уровнях организации живая материя обменивается веществом и энергией с окружающей средой. Это поддерживает существование и функционирование биологических систем. Экология изучает живые системы, уровень организации которых не ниже организменного. Эти системы расположены в правой

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

части биологического спектра. Самая крупная экосистема Земли — биосфера отличается самым высоким уровнем организации.

По мере развития экологии в ней выделились новые направления, среди которых особое место заняла ***радиоэкология***.

Человек всегда жил в мире излучений, в том числе и таких, о существовании которых он и не подозревал. Если тепловые и световые лучи человек может ощущать, то невидимые и неосязаемые ионизирующие излучения (электромагнитные волны, поток электронов, протонов, нейтронов и других частиц) остаются за пределами восприятия его органов чувств.

Открытие в природе источников ионизирующих излучений позволило по-новому взглянуть на окружающий мир. Перед учеными встал вопрос, как же эти невидимые лучи влияют на живые организмы и среду их обитания. Этот вопрос стал еще острее, когда ученые убедились, что технический прогресс и появление искусственных источников ионизирующего излучения изменили радиационные свойства окружающей среды.

С освоением человеком ядерной энергии, созданием ядерного оружия и развитием ядерного производства существенно увеличилось содержание радиоактивных веществ в окружающей среде. Радиоактивное загрязнение биосферы заметно изменило степень воздействия ионизирующих излучений на живые организмы, и возникла потребность углубленного и всестороннего изучения этих процессов. В конце концов, это привело к появлению новой области научных знаний — *радиоэкологии*

1.2. Радиоэкология как наука

Радиоэкология — это наука, которая изучает особенности существования организмов и их сообществ, их взаимоотношения между собой и с окружающей средой в условиях постоянного воздействия ионизирующего излучения.

Ионизирующее излучение — это такое излучение, прохождение которого через вещество приводит к образованию в нем электрически заряженных частиц. Подробнее об этом мы расскажем в следующей главе.

Радиоэкология исследует, как функционируют экологические системы при повышенных уровнях ионизирующих излучений. В своем развитии эта область научных знаний опирается на современные достижения биологии, химии, физики, медицины и других дисциплин.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Радиоэкология изучает:



Важные даты истории

1895 **год**
Открытие В. Рентгеном проникающего излучения

1896 **год**
Открытие А. Бекерелем ионизирующего излучения природных веществ

1927 **год**
Создание Международной Комиссии по радиологической защите (МКРЗ), которая обобщает данные по воздействию ионизирующих излучений на организмы и разрабатывает рекомендации по защите человека от облучения

1934 **год**
Открытие Фредериком и Ирэн Жолио-Кюри искусственной радиоактивности

1945 **год**
Первое испытание ядерного оружия. Атомная бомбардировка японских городов Хиросима и Нагасаки

1955 **год**
Образование Научного Комитета ООН по действию атомной радиации (НКДАР ООН)

1956 **год**
Первое появление в научной печати термина «радиоэкология»

1957 **год**
Создание Международного Агентства по Атомной Энергии (МАГАТЭ)

1963 **год**
Международный договор об ограничении испытаний ядерного оружия в атмосфере, под водой и в космосе

1986 **год**
Катастрофа на Чернобыльской АЭС

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Радиоэкология является естественнонаучной дисциплиной. Подобно экологии, в ней можно выделить самостоятельные разделы. В соответствии с целями и задачами исследований радиоэкология подразделяется на ***общую, теоретическую и экспериментальную*** .

Основные разделы радиоэкологии

Выявляет:

- *источники и виды ионизирующего излучения природного и антропогенного происхождения,*
- *пути поступления и общие закономерности перераспределения радионуклидов между компонентами биосферы в зависимости от:*
  - Ø *химической природы радионуклида,*
  - Ø *физической и химической формы радиоактивных продуктов,*
  - Ø *особенностей природных компонентов,*
  - Ø *способа их взаимосвязи и взаимодействия*

Общая радиоэкология

РАДИОЭКОЛОГИЯ

Теоретическая радиоэкология

Экспериментальная радиоэкология

- *Анализирует процессы миграции радиоактивных веществ в экосистемах (все шире используя методы математического моделирования),*
- *Прогнозирует изменение содержания радионуклидов в компонентах экосистем и доз облучения организмов с учетом:*
  - Ø *характера радиоактивного загрязнения,*
  - Ø *условий миграции радионуклидов*
  - Ø *скорости их распада.*
- *Выявляет:*
  - Ø *экосистемы, накапливающие радионуклиды,*
  - Ø *системы с интенсивной миграцией радионуклидов,*
  - Ø *группы живых организмов, испытывающие наибольшее воздействие ионизирующего излучения*

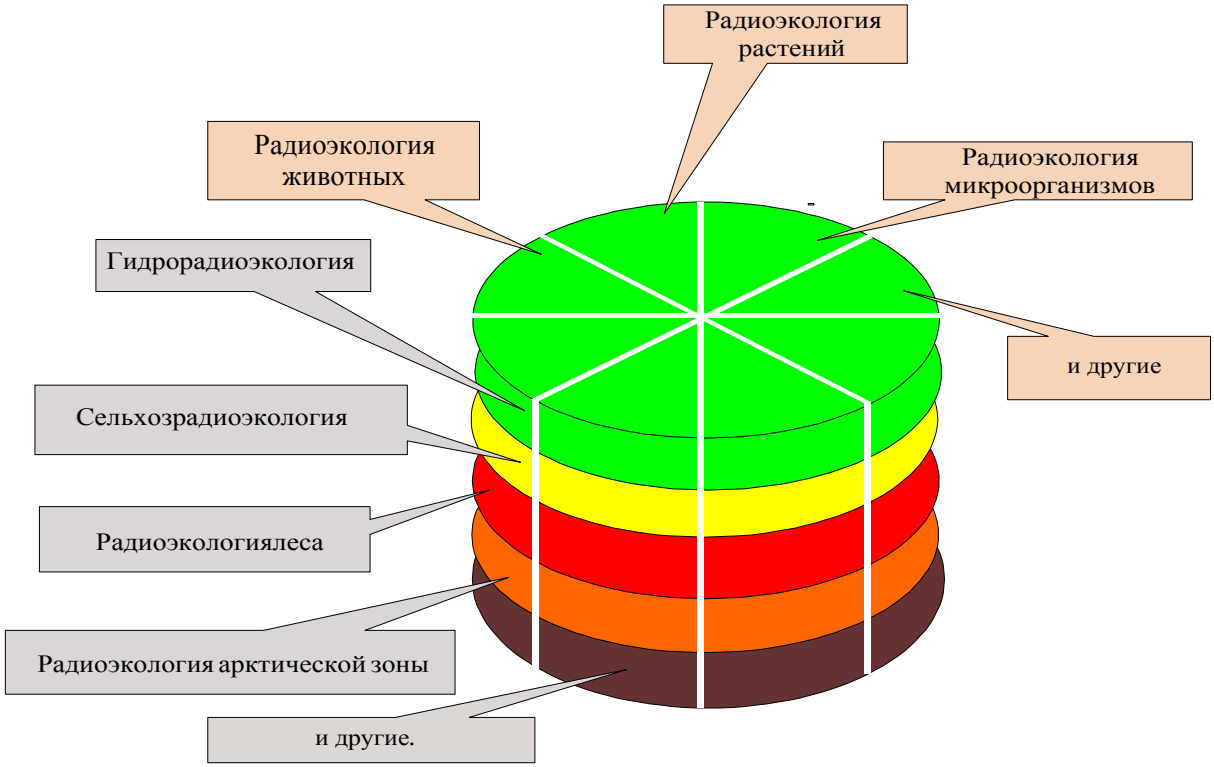
Разрабатывает способы защиты живых организмов от ионизирующего излучения, которые:

- *ограничивают поступление радионуклидов в организмы,*
- *способствуют выведению радионуклидов из организмов,*
- *повышают устойчивость организмов к облучению с помощью специальных препаратов - радиопротекторов*

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Радиоэкологию можно также систематизировать по разделам, изучающим определенные экологические системы или определенные группы живых организмов. Представим себе структуру радиоэкологии в виде «слоеного пирога».

Структура радиоэкологии



«Пирог» можно делить на части двумя способами. Если делить его по горизонтали, то получим основные направления современной радиоэкологии, которые изучают воздействие ионизирующих излучений на определенные природные и искусственно созданные человеком системы. К ним относятся гидрорадиоэкология, сельскохозяйственнаярадиоэкология, радиоэкологиялеса, радиоэкологияарктическойзоны и другие разделы радиоэкологии.

Мы можем также делить наш «пирог» по вертикали и получим так называемые «таксономические» разделы радиоэкологии. Эти раздел — радиоэкология растений, животных, микроорганизмов и т. д. — изучают определенные группы организмов (например, млекопитающих, червей) во взаимосвязи со средой обитания. Получив представление о том, что изучает радиоэкология, рассмотрим основные понятия, которыми она оперирует.

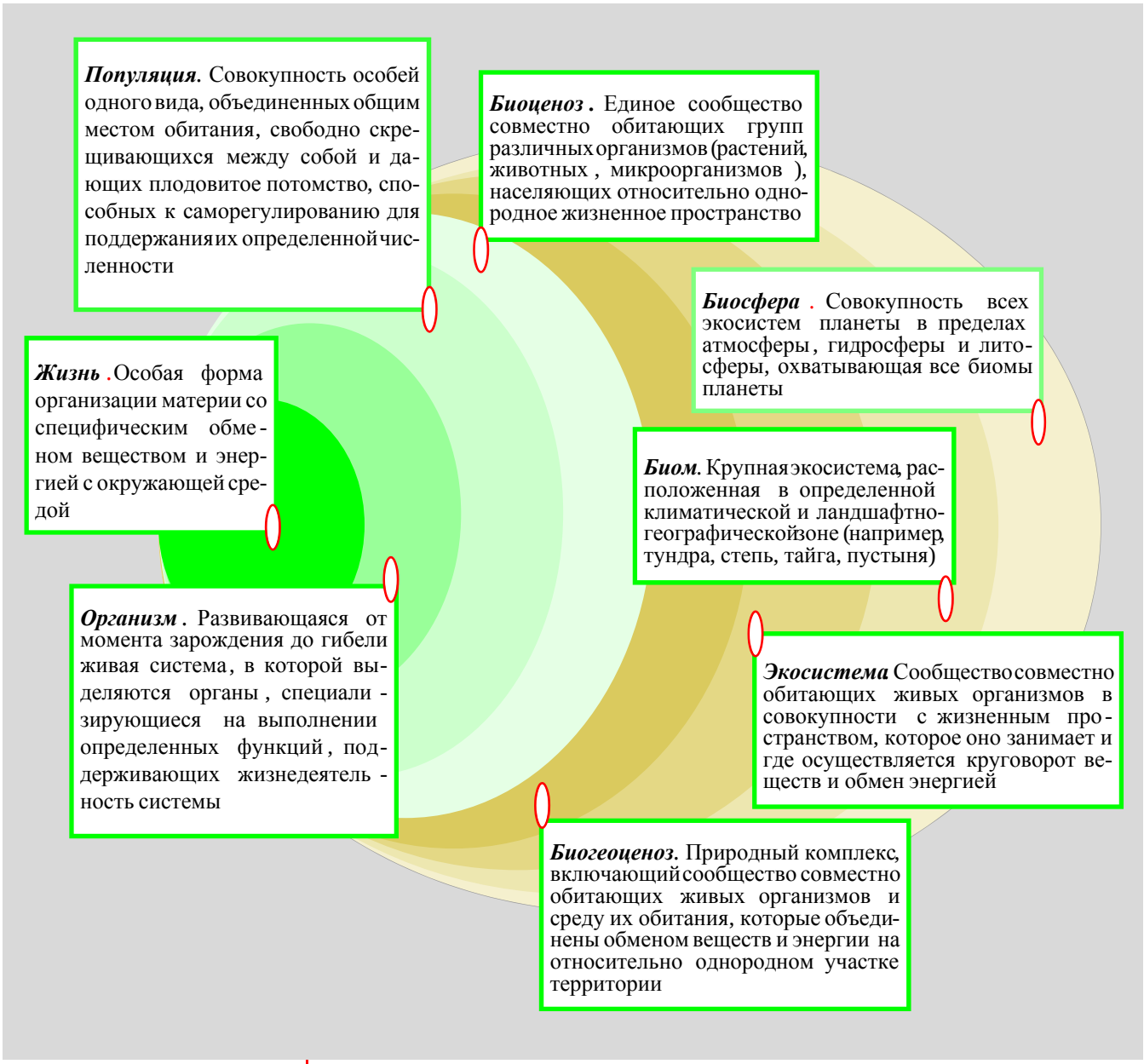
Таксон — группа организмов, связанных той или иной степенью родства, которые принадлежат к определенному виду, роду, семейству и т. д. Например, папоротники, сосна обыкновенная, китообразные, заяц беляк, являются таксонами.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

1.3. Основные понятия радиоэкологии

Радиоэкология тесно переплетается со многими естественнонаучными дисциплинами и широко используетих терминологиюи результатыисследований Так, современная радиоэкология своими корнями тесно связана с экологией и не может обойтись без основных экологических понятий.

Основные экологические понятия, используемые в радиоэкологии



Наряду с экологическими понятиями радиоэкология широко использует понятия биологии, ядерной физики и химии.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

На следующих страницах книги мы подробно расскажем о ***радионуклидах***, ***изотопах***, ***радиоактивности***, ***особенностях ионизирующих излучений***, покажем, где они встречаются в природе и какое воздействие оказывают на живые организмы. Мы познакомим вас с ***дозами облучения***, расскажем, как их определяют, постараемся прояснить, когда и как наш организм подвергается облучению и всегда ли стоит этого опасаться. Со многими из этих понятий Вы уже знакомы, с некоторыми столкнетесь впервые. Все они являются неотъемлемой частью радиоэкологических знаний. Без этих знаний невозможно реально оценить радиоэкологическую ситуацию и разобраться, какие защитные меры, в случае необходимости, следует предпринять, чтобы уменьшить вредное воздействие радиации на организм человека.



Итак...

Вы узнали, что

радиоэкология — наука, изучающая:

- ***особенности существования организмов и их сообществ в условиях постоянного воздействия природных или искусственных ионизирующих излучений,***
- ***перераспределение радионуклидов в биосфере,***
- ***изменение уровня радиоактивного загрязнения природных компонентов в результате миграции и распада радионуклидов.***

Радиоэкология тесно связана с экологией и другими науками о природе. Она расширяет наши представления об условиях существования живых систем в мире, где существуют излучения.

Главная задача радиоэкологии — познавая законы природы и используя современные достижения научно-технического прогресса, показать, как максимально обезопасить жизнь людей в условиях повышенного радиационного риска.

В этой главе мы открываем дверь в область научных знаний, которые помогут каждому проживающему в радиоактивно загрязненной местности оценить реальную опасность ионизирующего излучения и освоить правила поведения, которых следует придерживаться в

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

повседневной жизни. Это не только поможет избавиться от состояния неуверенности в завтрешнем дне, порождаемого страхом чего-то неведомого и непонятного, но и самим разобраться, можно ли защититься от облучения и как это сделать.

Вопросы для самоконтроля и обсуждения:



1. Из каких наук «родилась» радиоэкология?
2. Что является предметом изучения радиоэкологии?
3. Какие этапы можно выделить в истории развития экологии? С именами каких ученых они связаны?
4. На какие научные знания опирается радиоэкология?
5. Какие экологические понятия используются в радиоэкологии?
6. Приведите примеры экологических систем. Какая их них самая крупная?
7. Что изучают общая, теоретическаяи экспериментальная радиоэкология?
8. Какая главная задача радиоэкологии?
9. Какой раздел радиоэкологии занимается вопросами защиты живых организмов от ионизирующего излучения?

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Ключевые слова и словосочетания: атом, радиоактивность, ионизирующие излучения, изотопы, радионуклиды, период полураспада

Радиоактивность — это самопроизвольное превращение неустойчивых атомных ядер в более устойчивые ядра, сопровождающееся выделением энергии в виде излучений. Природа радиоактивности установлена в результате изучения строения атома и атомного ядра. Все виды излучения, которые сопровождают ядерные превращения, ионизируют окружающую среду. Скорость радиоактивного распада нельзя изменить физическими, химическими, биологическими и другими известными способами.

Изучив главу...



Вы познакомитесь с явлением радиоактивности и научными открытиями, которые позволили установить его сущность. Вы узнаете о различных видах ядерных излучений, изотопах и радионуклидах, о том, как характеризуют скорость распада радионуклидов.

2.1. *Из истории открытия ионизирующих излучений*

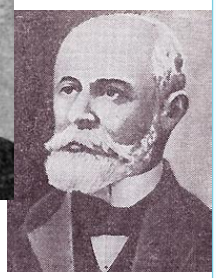
Мир, в котором мы живем, полон разного рода излучений. О тепле и свете человек знал еще с древних времен, широко использовал эти виды излучений, хотя и не имел представления об их физической природе. Больше узнав о строении вещества, человек открыл для себя новый мир — мир излучений.

От открытия радиоактивности к познанию её природы

1895 -1896 годы



В.К.Рентген (1845-1923)



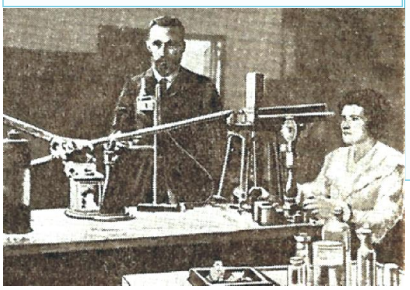
А.Беккерель (1852-1908)

Открытие рентгеновских лучей (1895 год) Вильгельмом Конрадом Рентгеном и «беккерелевых» лучей, которые ***излучают соединения урана*** (1896 год), Анри Беккерелем. Лучи, открытые А. Беккерелем,

- испускаются самопроизвольно,
- невидимы,
- проходят через непрозрачные тела,
- засвечивают фотоматериалы,
- увеличивают электропроводность облучаемых веществ.

Во всем мире 1 марта 1896 года считается датой открытия радиоактивности.

1898 год

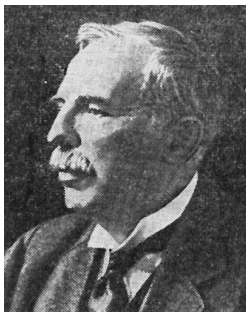


Пьер Кюри (1859-1906) и Мария Склодовская-Кюри (1867-1934) в лаборатории

Открытие Марией Склодовской-Кюри и Пьером Кюри ***радия и полония***, которые, как и уран, испускают невидимые лучи. Испускание лучей, подобных «беккерелевым», по предложению Марии Склодовской-Кюри, было названо ***радиоактивностью***, а сами лучи и вещества, которые их излучают — ***радиоактивными***.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

XX век



Э. Резерфорд
(1871-1937)

- Доказательство Э. Резерфордом, Ф. Содди, К. Фаянсом и другими учеными, что ***радиоактивность связана с неустойчивостью атомных ядер***. Атомы, испускающие невидимые лучи, были названы ***радионуклидами***.
- Исследование строения атома Э. Резерфордом, Н. Бором, Г. Мозли, Р. Милликеном, Х.В. Гейгером, Э. Марсденом, Дж. Чедвиком и другими учеными.
- Открытие более 30 радиоактивных элементов в природе. Изучение процесса их распада и определение характеристик испускаемых излучений.

Начало XIX века ознаменовалось торжеством атомистических представлений, однако, уже к концу века представления об атомах, как о мельчайших неделимых частицах вещества, подверглись серьезным сомнениям. Ученые-физики с помощью блестяще проведенных экспериментов, вошедших в историю науки, убедительно доказали, что атом также имеет сложное строение и *может распадаться* на более мелкие частицы. Только заглянув вглубь атома, можно понять природу радиоактивности.

2.2. Что мы знаем об атомах

Атом

Атомы — это наименьшие химически неделимые частицы вещества, основные кирпичики, из которых построено все вокруг нас. По своему строению атом напоминает миниатюрную Солнечную систему. В центре атома располагается очень плотное тяжелое ядро, которое состоит из положительно заряженных *протонов* и не имеющих заряда *нейтронов*. Ядро имеет положительный заряд, величина которого определяется числом протонов в ядре. Масса протона и нейтрона примерно одинакова и равна одной условной единице (атомной единице массы или сокращенно а. е. м.). Протоны и нейтроны, составляющие атомное ядро, называют *нуклонами* (от латинского «*nucleus*», что означает «ядро»).

1 а.е.м. = $1{,}661 \cdot 10^{-27}$ кг

Нуклоны удерживаются в ядре мощными ядерными силами притяжения, которые намного превосходят силы кулоновского отталкивания одноименно заряженных протонов.

В ядре каждого атома нуклоны находятся на определенном расстоянии друг от друга. В масштабах ядра в качестве единицы измерения расстояния используют *ферми (ф)*. Эта единица измерения названа

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

по имени итальянского физика Энрико Ферми. *1 ферми* соответствует 10^{-15} ***м***

Ферми
$1\ ф = 10^{-15}\ м$

Радиус действия ядерных сил не превышает *1,4* ***ф***. Связь между нуклонами наиболее прочна, когда расстояние между ними *0,5* ***ф***. При сближении на расстояние до *0,2* ***ф*** ядерные силы притяжения сменяются силами отталкивания.



Э. Ферми
(1901-1954)

Энергия связи нуклонов в ядре атома значительно превосходит энергию химической связи атомов в молекуле. Поэтому в процессе химических превращений ядра атомов не разрушаются, происходит лишь перегруппировка атомов.

Ядро окружают легкие, отрицательно заряженные частицы — *электроны*, которые по размерам и массе значительно уступают нуклонам. Масса электрона примерно в 1 840 раз меньше массы нуклона. Заряд электрона условно принят за элементарную единицу отрицательного заряда. По абсолютной величине заряд протона равен заряду электрона. Электрон, протон и нейтрон называют *элементарными частицами*.

Заряд протона – $+1{,}60 \cdot 10^{-19}$ Кл
Заряд электрона - $-1{,}60 \cdot 10^{-19}$ Кл

Масса электрона – $9{,}11 \cdot 10^{-31}$ кг
Масса протона – $1{,}673 \cdot 10^{-27}$ кг
Масса нейтрона – $1{,}675 \cdot 10^{-27}$ кг

Заряд и масса элементарных атомных частиц

Элементарная частица	Относительный заряд	Масса покоя, а.е.м.
протон	+1	1,0073
нейтрон	0	1,0087
электрон	-1	$1/1840 = 5{,}4858 \cdot 10^{-4}$

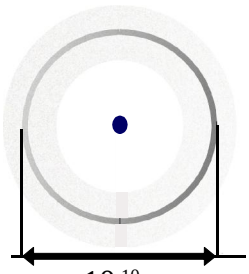
В целом, атом электрически нейтрален, так как число протонов в его ядре равно числу электронов, и положительный заряд ядра уравновешен отрицательным зарядом окружающих его электронов.

Невозможно отобразить в реальном масштабе строение атома, поэтому всякое его схематическое представление условно.

Согласно представлениям квантовой (или волновой) механики — раздела физики, изучающего движение электронов, протонов, нейтронов и других микрообъектов, электрон имеет двойственную природу. С одной стороны, он является частицей, поскольку имеет определенную массу и заряд. С другой стороны, движению электрона

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

вокруг ядра присущ волновой характер. У него нет определенной траектории движения и невозможно точно указать его местоположение в пространстве в конкретный момент времени. Можно говорить лишь о вероятности нахождения электрона в определенной части атома. Его положение в атоме относительно ядра описывается с помощью представлений о трехмерном электронном облаке. Плотность облака выше в тех местах, где наиболее вероятно встретить электрон.



~ 10^{-10} м.
Схема строения атома водорода

Поперечное сечение атома — ~ 10^{-10} м
атомного ядра — ~ 10^{-14} — 10^{-15} м
Массы атомов — ~ 10^{-27} — 10^{-25} кг

Ядро занимает лишь незначительную часть атомного пространства . Его размеры примерно в 100 000 раз меньше размеров атома. Более 99,96 % массы атома сосредоточено в ядре. Плотность ядерного вещества огромна — $1{,}8 \cdot 10^{14}$ г/см^3.

Число протонов в ядре атома определяет порядковый номер элемента в Периодической системе химических элементов Д.И. Менделеева.

Ядра атомов одного и того же элемента всегда содержат одинаковое число протонов. Например, все атомы углерода содержат в ядре по 6 протонов, а все атомы азота — по 7 протонов.

6	7
C	N
Углерод	Азот

Масса атома практически определяется суммой масс протонов и нейтронов в ядре, так как масса электронов атома ничтожно мала по сравнению с массой ядра. Массовое число атома (**A**), выраженное в атомных единицах массы, фактически, представляет собой сумму протонов (Z) и нейтронов *(N)* в ядре. Массовое число атома принято указывать вверху слева от символа химического элемента (^{12}**C**, ^{14}N, и т. п.).

Массовое число атома (**A**)

$A = Z + N$

Z — число протонов
N — число нейтронов в ядре

Ядра атомов одного и того же химического элемента при одинаковом количестве протонов могут, однако, отличаться по числу нейтронов. В этом случае массовые числа атомов также могут быть разными, поскольку они определяются общим количеством нуклонов (протонов и нейтронов) в ядре. Атомы с одинаковым количеством протонов и разным количеством нейтронов в ядре, называют *изотопами.*

Изотопы

Изотопы — это атомы одного и того же химического элемента, имеющие одинаковое количество протонов, но отличающиеся по числу нейтронов в ядре.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Названия и ***символы*** изотопов, как правило, совпадают с названием и ***символом*** соответствующего химического элемента. Только изотопы водорода имеют собственные названия и символы. Изотопы одного и того же элемента различают по массовому числу, указанному слева вверху, рядом с символом химического элемента. Химические свойства изотопов практически одинаковы.

В современной научной литературе широкое распространение получил термин «нуклид».

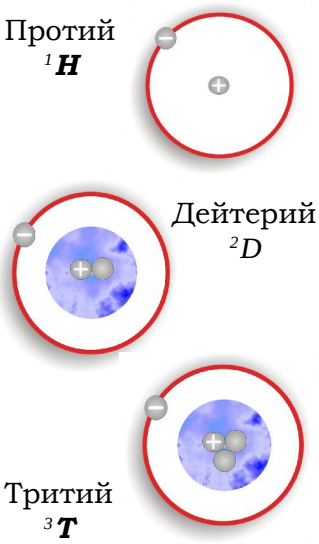
Нуклид — *это атом, в ядре которого содержится определенное число протонов и нейтронов.*

Понятие «нуклид» в научной литературе иногда используют для обозначения не определенного атома, а только его ядра.

- **Атом — это электронейтральная микросистема, состоящая из положительно заряженного ядра и отрицательно заряженных электронов.**
- **Протоны, нейтроны и электроны — элементарные частицы, входящие в состав атома.**
- **Количество протонов в ядре определяет заряд ядра, порядковый номер химического элемента в Периодической системе элементов и количество электронов в атоме.**
- **Изотопы — атомы одного и того же химического элемента, имеющие одинаковое количество протонов, но отличающиеся по числу нейтронов в ядре.**

Схемы строения атомов протия, дейтерия и трития

В отличие от изотопов других элементов, каждый изотоп водорода имеет свое название и обозначение.



2.3. *Радиоактивность. Радионуклиды. Радиоактивные семейства*

Существуют устойчивые (стабильные) и неустойчивые (радиоактивные) атомы. Устойчивые атомы имеют ядра практически неизменного состава. В целом, стабильность атома зависит от соотношения количества протонов и нейтронов в ядре. Лишь при определенных соотношениях между количеством протонов и нейтронов в ядре атомы стабильны.

Условие устойчивости атомных ядер:

$N/Z \approx 1$ — устойчивы атомы легких химических элементов с Z от 1 до 20;

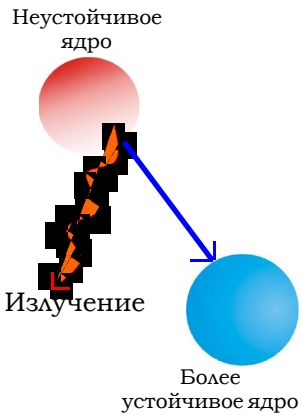
$N/Z > 1$ — устойчивы атомы тяжелых элементов с Z от 20 до 83.

Избыток протонов или нейтронов делает атомное ядро неустойчивым. Неустойчивые атомные ядра обладают избыточной энергией и стремятся перейти в более устойчивое состояние с меньшей энергией. Любые самопроизвольные процессы ядерных превращений

^{90}Zn: $N/Z = \frac{50}{40} \approx 1,3$

^{209}Bi: $N/Z = \frac{126}{83} \approx 1,5$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



сопровождаются выделением энергии в виде излучения. В результате, одни атомные ядра превращаются в другие, энергетически более устойчивые.

Радиоактивность — это самопроизвольное превращение неустойчивых атомных ядер в более устойчивые ядра, сопровождающееся выделением энергии в виде излучения.

Неустойчивые атомы, ядра которых самопроизвольно превращаются в другие атомные ядра, называют *радиоактивными нуклидами* или *радионуклидами*.

Радионуклиды — это неустойчивые атомы, ядра которых самопроизвольно превращаются в ядра атомов других химических элементов или других изотопов одного и того же элемента с выделением в окружающую среду энергии в виде излучения.

Термин «радионуклид» произошел от латинских слов «radiare» - излучать, испускать лучи и «nucleus» — ядро

Химические элементы, у которых все изотопы радиоактивны, называют *радиоактивными элементами*. Примером радиоактивного элемента является уран. Если сравнить изотопы водорода и радиоактивного элемента урана, то можно увидеть, что у водорода существует два стабильных изотопа (протий и дейтерий) и один радиоактивный (тритий), а у урана стабильные изотопы отсутствуют — все его изотопы радиоактивны.

Все виды излучений, сопровождающих ядерные превращения, называют ядерными излучениями

Изотопы водорода и изотопы урана

Химический элемент	Состав ядер	
	стабильные	радиоактивные
Водород (1 протон в ядре)	^{1}H ^{1}p ^{2}D $^{1}p + {}^{1}n$	^{3}T $^{1}p + 2\ {}^{1}n$
Уран (92 протона в ядре)	отсутствуют	^{233}U $92\ {}^{1}p + 141\ {}^{1}n$ ^{235}U $92\ {}^{1}p + 143\ {}^{1}n$ ^{238}U $92\ {}^{1}p + 145\ {}^{1}n$ **и др.**

Радиоактивными являются все химические элементы, расположенные в Периодической системе элементов за висмутом, порядковый номер которого равен 83.

Из почти 1 700 известных в настоящее время нуклидов стабильны только 264 нуклида. Остальные являются радиоактивными и самопроизвольно распадаются, превращаясь в стабильные нуклиды.

Превращение нестабильного ядра в устойчивое ядро может осуществляться в результате одного или несколь-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

ких последовательных радиоактивных распадов. *Легкие радионуклиды*, которые содержат в ядре небольшое число протонов и нейтронов, обычно превращаются в стабильные нуклиды в результате одного ядерного превращения (например, ^{3}**Т**, ^{14}**С**, ^{40}**К** и др.). При распаде *тяжелых радиоактивных элементов* (Z > 83) может осуществляться цепочка последовательных ядерных превращений, которая продолжается до тех пор, пока не образуется устойчивое ядро.

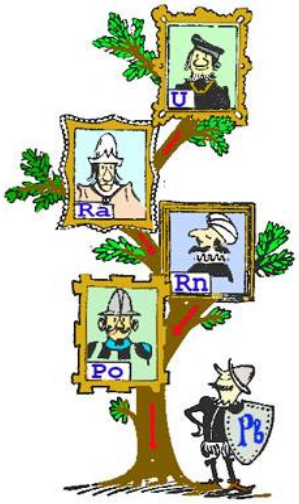
$^{3}\mathbf{T} \longrightarrow {}^{3}\mathbf{He} + b^{-}$

Группа тяжелых радиоактивных элементов, объединенных цепочкой последовательных самопроизвольных ядерных превращений, образует ***радиоактивное семейство***.

В настоящее время на Земле существует три естественных радиоактивных семейства: ^{235}U, ^{238}U и ^{232}Th. Члены четвертого радиоактивного семейства ^{237}Np были получены искусственно. Как полагают ученые, когда-то они также присутствовали на Земле, но за время существования планеты все члены этого радиоактивного семейства распались. Более подробно радиоактивные семейства будут рассмотренны в главе 4.

Радиоактивное семейство ^{238}U

Ядерные превращения начинаются с распада изотопа ^{238}U *(родоначальник радиоактивного семейства)*...



...и заканчиваются образованием стабильного нуклида

Из первичных радионуклидов, попавших на Землю в процессе ее формирования, сейчас можно встретить лишь те из них, которые еще не успели подвергнуться радиоактивному распаду за время существования планеты.

2.4. ***Искусственная радиоактивность***

Исследуя природу радиоактивности, ученые установили, что процессы ядерных превращений можно вызывать искусственно. Ядерные превращения можно осуществлять, бомбардируя устойчивые *атомы* ядерными частицами (нейтронами, протонами, *альфа*-частицами и т. п.). В процессе бомбардировки ядра устойчивых атомов захватывают бомбардирующие частицы, превращаясь в новые неустойчивые ядра, которые быстро распадаются с выделением энергии в виде излучения. Радиоактивность, вызываемую таким способом, называют *искусственной*.

Первое искусственное превращение атомного ядра одного элемента в ядро атома другого химического элемента осуществил Э. Резерфорд. Используя поток быстрых ядер гелия (*альфа*-частиц), испускаемых при радиоактивном распаде радия, ему удалось превратить атомы азота ^{14}N в атомы кислорода ^{17}**О**.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Открытие искусственной радиоактивности

1919 год

Первое искусственное ядерное превращение, осуществленное Э. Резерфордом, при облучении атомов азота *альфа*-частицами в камере Вильсона.

1934 год

Впервые Ирэн Кюри и Фредерик Жолио-Кюри искусственно получили ***радиоактивные*** атомы азота по реакции:

$$^{10}B + {}^{4}He \longrightarrow {}^{13}N + {}^{1}n$$

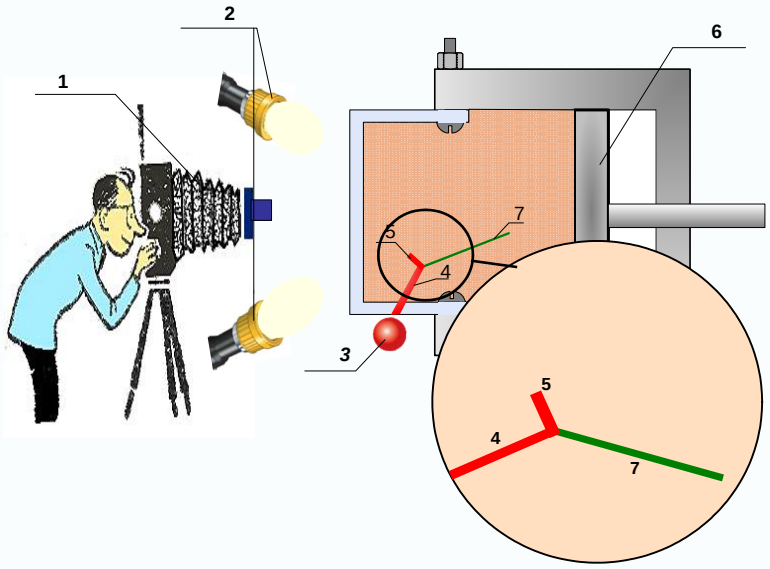
Начиная с 1940 года...

Получены неизвестные ранее химические элементы. В их числе и тяжелые радиоактивные элементы, помещенные в Периодической системе за ураном. Их назвали *трансурановыми элементами*.

Конец 1940-х годов

Открытие процесса ядерного деления урана и возможности его использования в мирных и военных целях.

При проведении опыта камера Вильсона была заполнена азотом и пересыщенным водяным паром. *Альфа*-частицы, попадая в камеру, вызывают ионизацию газовой среды. Образующиеся ионы способствуют конденсации пересыщенного водяного пара. Мельчайшие капельки сконденсированной воды создают видимый след на пути движения ионизирующего излучения. (1— фотокамера; 2 — мощные источники света; 3 — источник *альфа*-частиц; 6 — поршень).



Э. Резерфорд наблюдал, как при попадании *альфа*-частиц в газовую среду, через какое-то время след некоторых *альфа*-частиц (4) обрывается, и вместо него образуется два новых: короткий и широкий (5) и длинный и узкий (7). Резерфорд предположил, что при облучении атомов азота с атомной массой 14 а.е.м. (^{14}N) *альфа*-частицами, представляющими собой ядра гелия (^{4}He), происходит ядерное превращение. В результате, образуются ядра атомов кислорода $^{17}\mathbf{O}$, оставляющие короткий и широкий след, и ядра атомов водорода $^{1}\mathbf{H}$, дающие длинный и узкий след.

$$^{14}N + {}^{4}He \longrightarrow {}^{17}\mathbf{O} + {}^{1}\mathbf{H}$$

Анализ состава газовой фазы подтвердил его предположение.

Открытие явления искусственной радиоактивности связано с именами Ирэн Кюри и Фредерика Жолио-Кюри, которые впервые искусственно получили радиоактивные атомы азота ^{13}N. Это открытие показало, что, в искусственных условиях возможен синтез радиоактивных нуклидов.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Большинство синтезированных радионуклидов получено при использовании в качестве бомбардирующих частиц нейтронов. Поскольку нейтроны электрически нейтральны, они не отталкиваются ядрами, и с их помощью легче вызвать ядерные превращения.

Положительно заряженные бомбардирующие частицы (протоны, ядра гелия) должны обладать большой энергией, т. е. двигаться со значительной скоростью, чтобы преодолеть электростатическое отталкивание ядра-мишени. Чем больше заряд бомбардирующей частицы и ядра-мишени, тем с большей скоростью должна двигаться бомбардирующая частица, чтобы вызвать ядерное превращение. В связи с этим разработано множество методов ускорения заряженных частиц с использованием сильных электрических и магнитных полей.

За выдающиеся научные открытия были вручены Нобелевские премии:

1901 **год**
(первая в истории)
Вильгельму Конраду Рентгену
«В признание огромной важности открытия замечательных лучей», впоследствии названных его именем

1903 **год**
Марии и Пьеру Кюри, Антуану Анри Беккерелю
«В признание огромной важности открытия самопроизвольной радиоактивности и в признание выдающегося значения их совместных исследований явления радиоактивности»

1908 **год**
Эрнесту Резерфорду
«За исследование в области распада элементов и химии радиоактивных веществ»

1921 **год**
Фредерику Содди
«За вклад в химию радиоактивных веществ и за исследования природы и происхождения изотопов»

1922 **год**
Нильсу Хенрику Давиду Бору
«За заслуги в изучении структуры атома и излучения из него»

1935 **год**
Ирэн и Фредерику Жану Жолио-Кюри
«В признание синтеза новых радиоактивных элементов»

и другим ученым.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

2.5. Закон радиоактивного распада. Период полураспада. Активность

Закон радиоактивного распада:

$\Delta N / \Delta t = \lambda N$

ΔN — ожидаемое число самопроизвольных ядерных превращений,

Δt — время, за которое происходит ΔN превращений,

N — количество нераспавшихся ядер радионуклида,

λ — постоянная радиоактивного распада, характеризующая вероятность распада радионуклидов в единицу времени.

Ядерные превращения неустойчивых атомов происходят независимо друг от друга. За конкретный промежуток времени определенная часть радиоактивных атомов обязательно распадается. Однако для каждого отдельного атома невозможно предсказать момент его превращения.

Распад неустойчивого атомного ядра может произойти в любое мгновение: через секунду, через несколько минут, через час, через сутки и т. д.

Можно говорить лишь о *вероятности* процесса радиоактивного распада неустойчивого нуклида через определенный промежуток времени. Вероятность распада зависит от особенностей строения ядра нуклида и не зависит от того, входит ли радионуклид в состав тех или иных химических соединений, находятся ли вещества в газообразном, жидком или твердом состоянии.

Ученые установили, что при любых условиях ***скорость радиоактивного распада пропорциональна числу нераспавшихся атомов радиоактивного изотопа***. Выявленную закономерность назвали ***законом радиоактивного распада***.

$$T_{1/2} = \ln 2 / \lambda$$

Промежуток времени, за который распадается половина любого количества определенного радиоизотопа, *величина постоянная*. Его называют *периодом полураспада* и используют для характеристики радиоизотопа.

Период полураспада радиоизотопа — это промежуток времени, за который распадается половина любого количества радиоизотопа.

Период полураспада обычно обозначают $T_{1/2}$

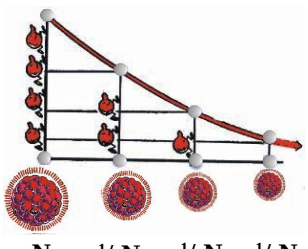
Например, изотоп ^{90}Sr имеет период полураспада 28,5 лет.

Из 10 г изотопа, через 28,5 лет останется только 5,0 г ^{90}Sr.

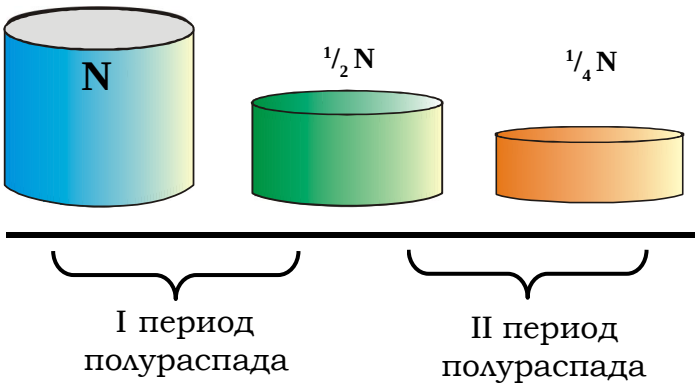
В течение последующих 28,5 лет распадется еще половина ^{90}Sr, останется 2,5 г изотопа и т. д.

При распаде из ядра атома ^{90}Sr вылетает *бета*-частица и образуется ^{90}Y:

$$^{90}Sr \rightarrow {}^{90}Y + b^-$$



N_0 $^1/_2N_0$ $^1/_4N_0$ $^1/_8N_0$



N — количество радионуклидов

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Продолжительность периода полураспада различных радионуклидов может составлять от миллионных долей секунды до нескольких миллиардов лет.

За промежуток времени, в 10 раз превышающий период полураспада, любое количество радионуклидов практически полностью распадается.

Вещество, которое содержит один или несколько видов радионуклидов, называют радиоактивным. Его рассматривают как *источник* ионизирующего излучения.

Количество радионуклидов можно измерять в единицах массы (килограмм, грамм, миллиграмм, микрограмм и т. д.). Однако это неудобно, и на практике в качестве главной количественной характеристики радиоактивного вещества используют *активность*.

Активность — это число распадов радионуклидов в единицу времени.

Фактически, активность характеризует скорость распада радионуклидов. Согласно закону радиоактивного распада, скорость распада пропорциональна числу нераспавшихся радиоактивных атомов. Поэтому активность можно использовать в качестве количественной меры содержания радионуклидов в веществе. Чем выше активность, тем больше ядерных превращений происходит в веществе в единицу времени и тем больше количество радионуклидов в нем.

В системе СИ единицей измерения активности является *Беккерель (Бк)*. Свое название она получила в честь А. Беккереля. В радиоактивном веществе активностью *1 Бк* в среднем происходит одно спонтанное ядерное превращение в секунду.

Существуют и внесистемные единицы измерения активности, среди которых наиболее часто употребляется *Кюри (Ки)*. Эта единица названа в честь Марии и Пьера Кюри. *1 Кюри* соответствует активности *1 г радия*.

Концентрацию радионуклидов в веществе можно оценивать по *удельной активности*. Поскольку радиоактивные вещества могут находиться в различных агрегатных состояниях, их радиоактивные свойства довольно часто характеризуют по удельной активности газовой, жидкой и твердой фаз.

Удельная активность — это активность вещества в расчете на единицу его массы или объема.

Время существования радиоизотопа тем больше, чем больше его период полураспада.

Активность радионуклидов

$A = DN / D\,t$,

Dt — промежуток времени, за который происходит DN ядерных превращений.

Единицы измерения активности:

1 Бк = 1 расп/с

1 Ки = $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Бк

Используются также кратные им единицы:

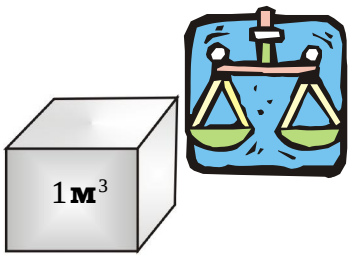
1 миллибеккерель (мБк) = 10^{-3} Бк

1 килобеккерель (кБк) = $1 \cdot 10^{3}$ Бк

и др.

Удельная активность вещества

$A_m = A / m$ (Бк/кг)



$A_v = A / V$ (Бк/м³)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Удельная активность применяется для характеристики содержания радионуклидов в большинстве природных веществ и в пищевых продуктах. При этом удельную активность жидких и газообразных веществ (воды, воздуха и т. п.) обычно оценивают в расчете на единицу объема вещества (объемная активность), а твердых — на единицу их массы.

Плотность радиоактивного загрязнения территорий

$A_s = A/S$ (Бк/м², Ки/км²)

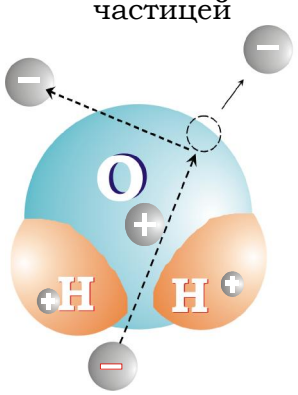
1 Ки/км² = 37 000 Бк/м²



Распределение радионуклидов по поверхности объекта иногда характеризуют по ***активности радионуклидов в расчете на единицу площади поверхности объекта***. Эта величина обычно применяется для характеристики уровня радиоактивного загрязнения территории, часто ее называют *плотностью радиоактивного загрязнения*.

Энергия излучений , испускаемых при ядерных превращениях, довольно велика. Этой энергии вполне достаточно для отрыва электронов от электронейтральных атомов и молекул, попадающихся на пути распространения излучения, и образования положительно заряженных ионов. Электроны, потерявшие связь с ядром, не могут долго оставаться свободными и захватываются другими атомами и молекулами с образованием отрицательно заряженных ионов. Атомы или молекулы, утратившие часть электронов, называют *катионами*, а захватившие избыточные электроны — *анионами*.

Ионизация молекул воды заряженной частицей



Бомбардирующая частица

Поскольку излучения, сопровождающие процессы ядерных превращений, вызывают ионизацию окружающего вещества, их называют ионизирующими.

В следующем разделе мы рассмотрим основные виды и свойства ядерных излучений, которые сопровождают процессы радиоактивного распада.

2.6. Основные виды ионизирующего излучения

Существует несколько видов ионизирующего излучения, которые отличаются по своей природе, энергии, глубине проникновения в вещество и степени воздействия на живые организмы. В целом, выделяют две группы ионизирующих излучений: *корпускулярные* и *фотонные*.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Корпускулярное излучение (*альфа*-, *бета*-, протонное, нейтронное и др.) представляет собой поток быстродвижущихся частиц.

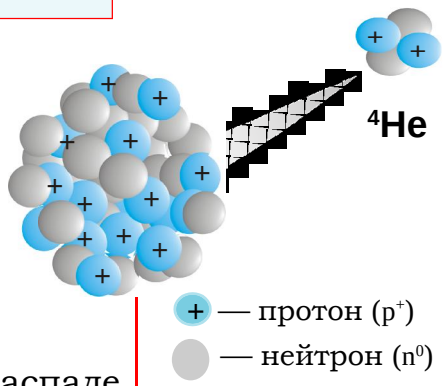
Фотонное излучение (рентгеновское, *гамма*-излучение) — это разновидность электромагнитных волн, которые излучаются и переносят энергию в пространстве строго определенными порциями — *квантами*.

« *Корпускула* » в переводе с латинского означает «частица».

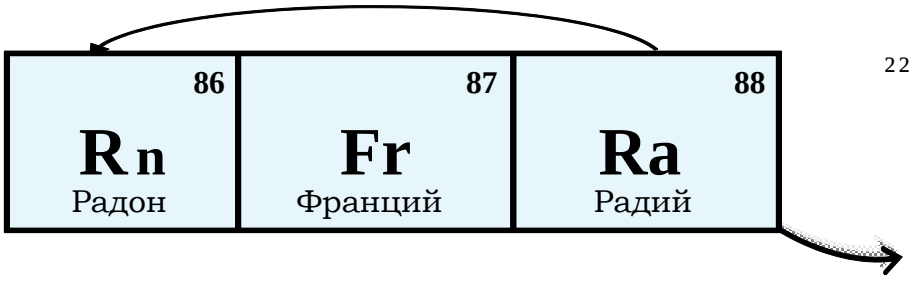
Фотон — это квант (порция) энергии электромагнитного излучения, обладающий свойствами волны и частицы

Альфа-излучение

***Альфа*-излучение (а) — это поток положительно заряженных частиц. Каждая *альфа*-частица состоит из двух протонов и двух нейтронов, которые прочно связаны между собой. Фактически, *альфа*-частицы представляют собой ядра атомов гелия ^{4}He, т.е. имеет массу, равную 4 а.е.м., а заряд — +2.**



Альфа-частицы образуются при ядерном распаде тяжелых радиоактивных элементов. Примером может служить происходящий в природе распад ядер ^{226}Ra:



$^{226}Ra \rightarrow {}^{222}Rn + {}^{4}He$ (^{4}He)

В результате *альфа*-распада заряд ядра уменьшается на 2 относительные единицы, а его масса на 4 атомные единицы массы, т. е. положение полученного в результате распада атома смещается в Периодической системе элементов на 2 позиции влево.

***Альфа*-частицы образующиеся при радиоактивном распаде, обладают энергией от 4 до 10 МэВ.**
***Альфа*-излучение обладает высокой ионизирующей способностью. Например, при распространении в воздухе альфа-лучи образуют на каждом сантиметре по пути своего движения от 25 до 60 тысяч пар ионов.**

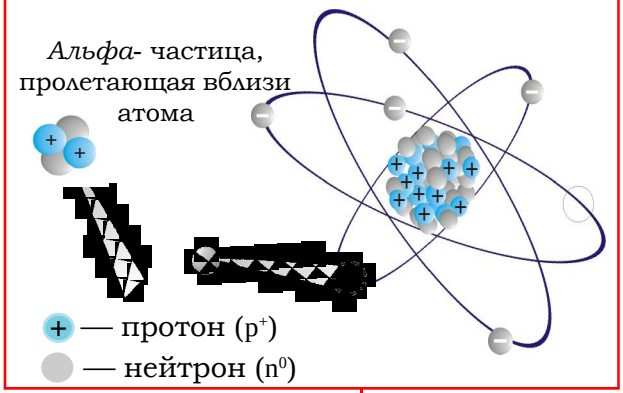
1 эВ — энергия, которую приобретает электрон в электрическом поле с разностью потенциалов в 1 Вольт.

1 **МэВ** = 10^{6} **эВ**

При попадании в вещество свободные, положительно заряженные *альфа*-частицы отдают свою энергию преимущественно электронам атомов.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Ионизация вещества под действием *альфа*-излучения



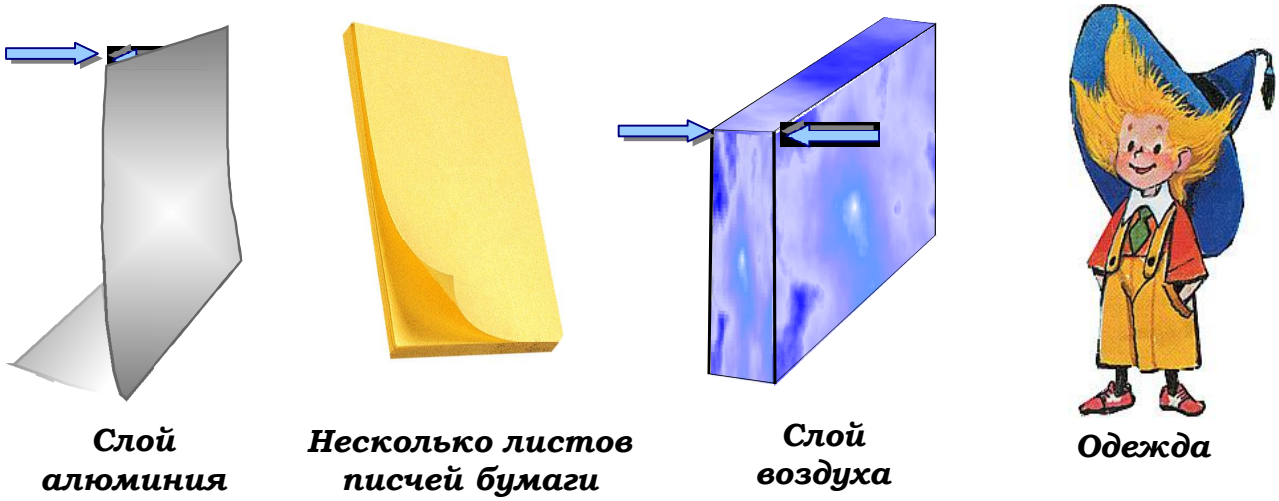
Получивший избыточную энергию электрон теряет связь с ядром и покидает атом, который превращается в положительно заряженный ион. Освободившийся электрон вскоре присоединяется к другому атому или молекуле, что ведет к образованиюотрицательнозаряженных ионов Лишь в редких случаях *альфа*-частицы при столкновении могут проникать в ядра атомов и вызывать ядерные превращения.

В любом веществе *альфа*-излучение быстро теряет свою энергию и поэтому проникает в него неглубоко.

Способность альфа-излучения проникать в вещество зависит от энергии альфа-частиц и свойств облучаемого вещества (его химического состава и плотности).

Проникающая способность *альфа*-излучения

***Альфа*-излучение задерживают**:



В биологические ткани *альфа*-излучение проникает на глубину менее 0,7 мм. Поэтому при внешнем облучении организма *альфа*-излучение, в основном, поглощается наружным слоем кожи и оно практически не представляетопасности, за исключениемтех случаев, когда *альфа*-лучи попадают на слизистую оболочку глаз.

Альфа-излучающие нуклиды могут проникать и внутрь организма

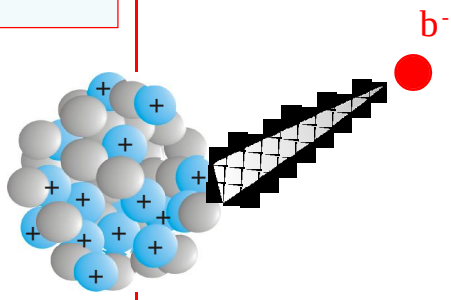
- через открытую рану,
- с пищей,
- с вдыхаемым воздухом.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Облучая небольшие участки внутренних органов, *альфа*-частицы могут серьезно повреждать живые клетки организма. От *альфа*-излучения радионуклидов, проникших в легкие с пылью, могут пострадать участки легочной ткани и пронизывающие ее капилляры. Специалисты в области радиационной медицины полагают, что по способности вызывать нарушения в тканях организма человека *альфа*-излучение примерно в 20 раз превосходит *бета*- и *гамма*-излучения.

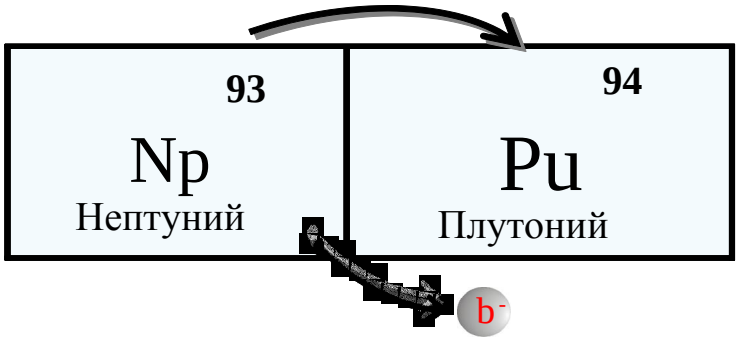
Бета - излучение

***Бета*-излучение** (*b*) — **это поток движущихся электронов** По размерам и массе они значительно уступают *альфа*-частицам. Так, масса электрона в 7 344 раза меньше массы *альфа*-частицы. Заряд электрона вдвое меньше заряда *альфа*- частицы по абсолютной величине.



Бета-частицы испускаются, например, в результате распада радионуклидов с избыточным содержанием нейтронов в ядре:

$$^{239}Np \longrightarrow {}^{239}Pu + b^-$$



При таком типе ядерного распада *бета*-частицы образуются в ядре атома в результате превращения нейтрона в протон:

$$^1n \longrightarrow {}^1p + b^-$$

В результате *бета*-распада заряд ядра атома увеличивается на единицу, а его масса остается практически без изменения. Положение атома, полученного в результате такого распада, смещается в Периодической системе элементов на одну позицию вправо.

Энергия *бета*-частиц, испускаемых радионуклидами, находится в пределах от *0,01* до *10* ***МэВ***. При этом на Земле наиболее часто встречаются радионуклиды, излучающие *бета*-частицы с энергией до *3,5* ***МэВ***.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

При прохождении через вещество *бета*-частицы теряют свою энергию. Они передают ее веществу при столкновениях с ядрами и электронами атомов. Поведение *бета*-частиц в веществе зависит от их энергии.

Бета-частицы, обладающие относительно низкими энергиями (*менее 0,5 МэВ*), сталкиваясь с ядрами и электронами атомов, меняют направление своего движения. Происходит, так называемое, *упругое рассеяние бета*-частиц на ядрах и электронах атомов, причем, преимущественно — на ядрах.

Если энергия *бета*-частиц превышает энергию связи электронов с атомными ядрами, но остается *ниже 1 МэВ*, в результате столкновений с ними электроны атомов приобретают дополнительную энергию и покидают атомы, что приводит к ионизации вещества.

Радиационное торможение — это потеря энергии быстрых заряженных частиц в электрическом поле атома, сопровождаемая выделением электромагнитного (*тормозного*) излучения.

Если энергия *бета*-частиц *выше 1 МэВ*, их взаимодействие с электронами и ядрами атомов приводит к замедлению движения *бета*-частиц и возникновению электромагнитного излучения. Этот процесс называют *радиационным торможением*, а возникающее электромагнитное излучение — *тормозным излучением*. В результате радиационного торможения *бета*-частицы теряют значительное количество энергии.

Поскольку масса электронов значительно меньше массы *альфа*-частиц, упругогое рассеяние *бета*-частиц на атомных ядрах происходит в большей степени, чем упругое рассеяние *альфа*-частиц. Траектория движения *бета*-частицы в веществе представляет собой ломаную линию, и поэтому суммарная длина пути *бета*-частицы значительно превышает длину ее пробега в веществе.

Пробег частиц (a, b и др.) в веществе — это расстояние, которое они преодолевают, пока их энергия не станет равной энергии окружающей среды

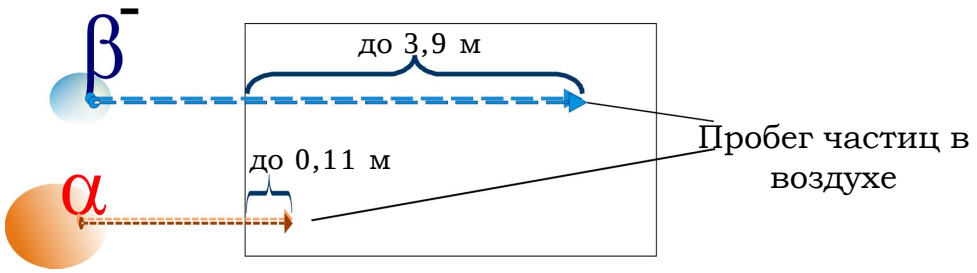
Из-за того, что масса электронов намного меньше массы *альфа*-частиц, при одинаковой энергии пробег *бета*-частиц в веществе в сотни раз превышает пробег *альфа*-частиц, и *бета*-излучение значительно глубже проникает в вещество.

Проникающая способность *бета*-излучения

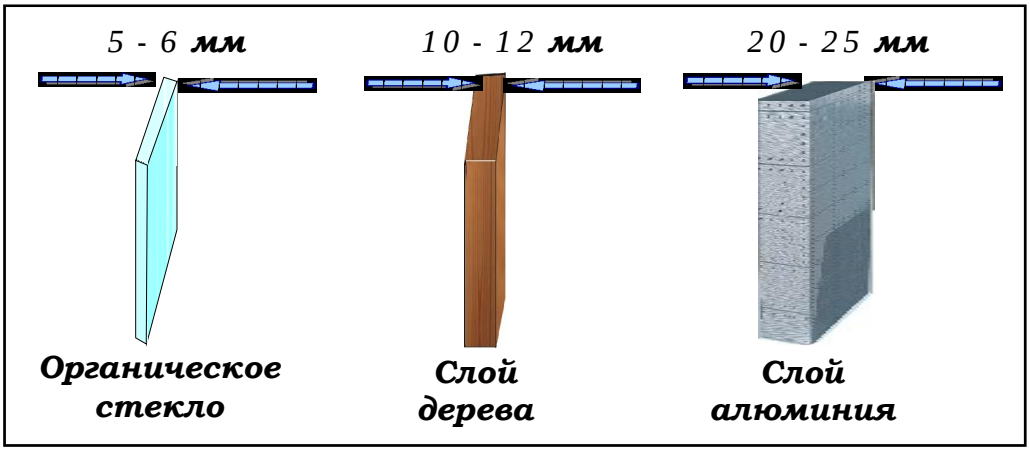
Следовательно, *бета*-излучение ***обладает более высокой проникающей способностью по сравнению с альфа-излучением***.

В воздухе пробег *бета*-частиц может достигать 3,9 м.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



***Бета*-излучение задерживают**:



Если человек одет в легкую одежду, она задерживает часть *бета*-частиц. Остальные *бета*-частицы могут проникать через кожу на глубину в несколько миллиметров. При облучении обнаженных участков тела *бета*-частицы могут проникать на глубину 1- 2 см, вызывая повреждения биологических тканей, которые, однако, менее серьезны, чем при воздействии *альфа*-излучения.

Гамма - излучение

Гамма* - излучение** (*g*), *как и рентгеновское*, ***представляет собой коротковолновое электромагнитное излучение (гамма-кванты, или фотоны высоких энергий) и относится к фотонным излучениям.

О рентгеновских лучах знает каждый, кто проходил медицинское обследование. Рентгеновское излучение характеризуется очень малыми длинами волн и высокими энергиями.

Гамма-лучи, как и рентгеновские, не несут электрического заряда. Оба вида излучения имеют одинаковую природу: и то, и другое представляет собой электромагнитные волны, распространяющееся в вакууме со скоростью примерно *300 000 км/с*. Однако энергия

Гамма - кванты (фотоны) — это электромагнитное излучение с длиной волны менее 0,2 нм.

Энергия излучения :

$E = h / l$,

$h = 6{,}6262 \cdot 10^{34}$ Дж/с (постоянная Планка),

l — длина волны излучения

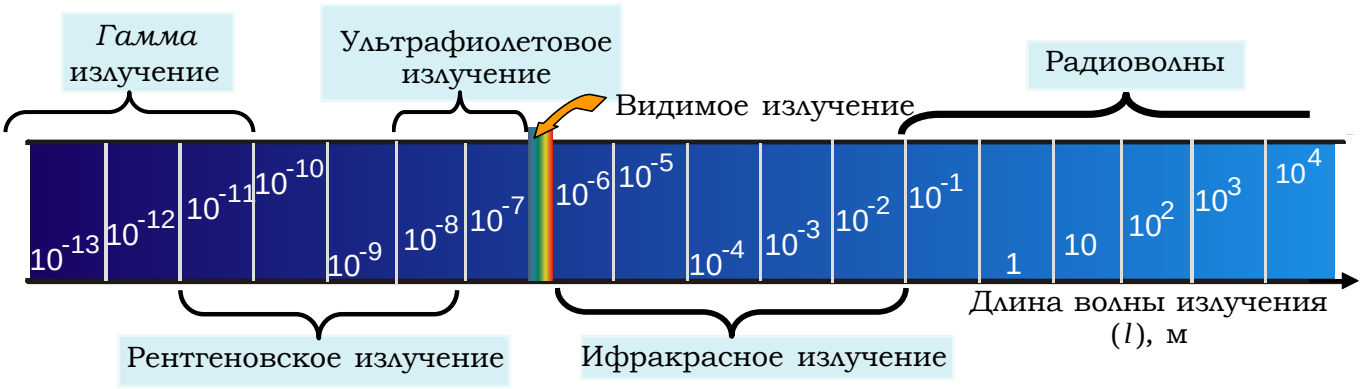
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

фотонов рентгеновского и *гамма*-излучения различна. Отличаются эти виды излучения и по способам получения. Рентгеновское излучение можно получать искусственно в рентгеновской трубке, работающей на электрическойэнергии. При отключенииэлектрического питания рентгеновское излучение прекращается.

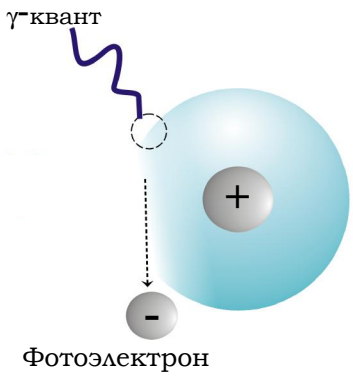
Гамма-излучение всегда сопровождает ядерные превращения.

Отключить его невозможно.

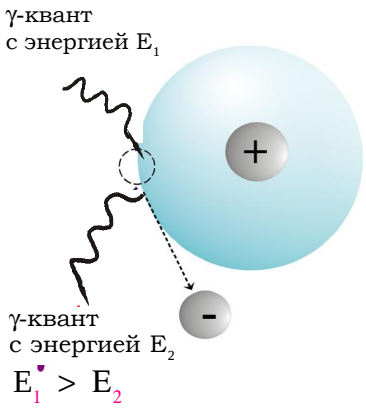
Положение рентгеновских и *гамма*-лучей в спектре электромагнитного излучения



Фотоэффект



Комптоновский эффект



В отличие от альфа- и бета-частиц, гамма-кванты непосредственно не ионизируют вещество.

При прохождении через вещество *гамма*-кванты могут передавать свою энергию электронам атомов.

Если энергия электрона после взаимодействия с *гамма*-квантом превышаетэнергию его связи с ядром, то электрон, получив дополнительную энергию, покидает атом. Образовавшиеся таким способом свободные электроны называют *фотоэлетронами*

Появление в веществе фотоэлектронов под действием гамма-излучения называют фотоэффектом.

Фотоэффект наблюдается при энергиях *гамма*-квантов от *0,01* до *1 МэВ*.

Если энергия *гамма*-квантов находится в области от *0,1* до *0,2 МэВ*, начинает преобладать , так называемый, ***комптоновский эффект***, названный по имени открывшего его американского физика А. Комптона . В этом случае *гамма*-квант отдает орбитальному электрону атома лишь часть своей кинетической энергии . В результате , электрон покидает атом, а сам *гамма*-квант после взаимодействия с орбитальным электроном, потеряв часть энергии, меняет направление своего движения.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Именно фотоэлектроны и комптоновские электроны, которыет обладают большой энергией и перемещаются с большой скоростью, и производят, в основном, ионизацию среды при прохождении *гамма*-излучения через вещество. Поэтому такой способ ионизации вещества называют *косвенным*.

Гамма-излучение обладает высокой проникающей способностью. Оно легко пронизывает биологические ткани, при этом частично теряя свою энергию.

Из-за высокой проникающей способности защититься от гамма-излучения можно лишь толстым слоем свинца или бетона.

По величинеэнергиии связанной с ней проникающей способности условно выделяют «***жесткую***» *и* «***мягкую***» *компоненты рентгеновского и гамма -излучения* . «Жесткая» компонента характеризуется относительновысокой энергией и проникающей способностью, мягкая — сравнительно низкой.

Интенсивность *гамма*-излучения снижают в 2 раза слои:

- свинца — толщиной *1* ***см***,
- бетона — толщиной *5* ***см***,
- воды — толщиной *10* ***см***.

Слой бетона толщиной 1 м полностью задерживает любое *гамма*-излучение.

При внешнем облучении организма, основную опасность представляет *гамма*-излучение.

Гамма-излучение радионуклидов, попавших внутрь организма, как правило, вызывает значительно меньше повреждений, чем *альфа*-излучение. Такие *гамма*-кванты повреждают лишь отдельные молекулы в клетках, что чаще всего не приводит к гибели клеток.

Из вышеизложенного видно, что проникающая способность ионизирующего излучения и его воздействие на вещество существеннозависят от вида излучения. Каждый вид ионизирующего излучения имеет свои физические характеристики.

Характеристики основных видов ионизирующего излучения

Характеристики	Излучение		
	альфа -частицы (a)	*бета* -частицы (b)	*гамма* -кванты (g)
Природа излучения	ядра атомов гелия	электроны	электромагнитное излучение
Заряд, отн. ед.	+2	-1	0
Масса покоя, г	$6{,}64 \cdot 10^{-24}$	$9{,}11 \cdot 10^{-28}$	0
Относительная проникающая способность	1	100	1 000

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Из первичных радионуклидов сейчас на Земле можно встретить лишь те из них, периоды полураспада которых превышают 10^8 лет. Например, ^{235}U, ^{238}U, ^{232}Th, ^{40}K еще не успели подвергнуться радиоактивному распаду за время существования планеты.

В настоящее время на Земле присутствуют:

альфа -, ***бета*** - **и** ***гамма*** - **излучающие радионуклиды**

искусственного происхождения

Искусственно получены человеком

естественного происхождения

Попали на Землю в процессе ее формирования из, так называемого, протопланетного вещества . Подобное вещество образуется в Космосе при взрывах Новых и Сверхновых звезд на завершающем этапе их развития.

Достигли Земли в составе метеоритов

Образуются в атмосфере и земной коре в результате естественно протекающих ядерных превращений

Итак...

В природе, наряду со стабильными, существуют и неустойчивые радиоактивные нуклиды (радионуклиды), ядра которых самопроизвольно распадаются.



Изучая явление радиоактивности , ученые установили:

- ***основным результатом радиоактивного распада является преобразование атомных ядер;***
- ***ядерные превращения всегда сопровождаются испусканием ионизирующих излучений;***
- ***все виды ионизирующего излучения нельзя увидеть, почувствовать или услышать; они не имеют ни цвета, ни вкуса, ни запаха;***
- ***излучение уносит из нестабильного ядра радионуклида часть энергии, что способствует его переходу в более устойчивое состояние.***

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Способность радионуклидов распадаться зависит от строения атомных ядер и сил, связывающих нуклоны в ядре. Строение ядер и причины радиоактивного распада изучает ядерная физика.

Все современные научные знания свидетельствуют:

Скорость распада радионуклидов не зависит от:

- внешних условий, (*температуры, давления и др.*),
- состава химических соединений,
- агрегатного состояния вещества.

Периоды полураспада радионуклидов нельзя изменить:

- химическими,
- физическими,
- биологическими способами

Альфа-, *бета-* и *гамма-*излучения, которые сопровождают процессы радиоактивного распада, могут прямо или косвенно вызывать ионизацию вещества. В отличие от химической токсичности, радиоактивные свойства веществ нельзя устранить посредством:

- Ø химических превращений,
- Ø физической обработки (замораживания, растворения, испарения и т. п.),
- Ø биологического воздействия.

Однако организм можно защитить от внешнего воздействия *альфа-* и *бета-*излучений с помощью одежды или других разнообразных доступных материалов. Степень воздействия *гамма-*излучения можно уменьшить, сократив время пребывания на территории с высоким уровнем радиоактивного загрязнения.

В следующей главе Вы узнаете о том, как определяют степень облучения живых организмов, как формируются дозы внешнего и внутреннего облучения организма человека.

Вопросы для самоконтроля и обсуждения:

1. Как было обнаружено явление радиоактивности?
2. Что такое радиоактивность?
3. Чем отличаются радиоактивные нуклиды от стабильных?
4. Что такое изотопы?
5. Кто открыл явление исскуственной радиоактивности?



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



6. Откуда появились радионуклиды естественного и искусственного происхождения ? Отличаются ли они по свойствам?
7. Что такое радиоактивное семейство?
8. Почему ядерные излучения , сопровождающие ядерные превращения, называют ионизирующими?
9. Какие виды ионизирующего излучения сопровождают процессы ядерного распада радионуклидов? Охарактеризуйте их.
10. Какие химические элементы называют радиоактивными?
11. Что такое период полураспада радиоизотопа?
12. Как оценивают содержание радионуклидов в радиоактивном веществе?
13. Что такое удельная активность вещества?
14. Как характеризуют уровень радиоактивного загрязнения территории?
15. Можно ли какими-либо способами изменять скорости распада радионуклидов?

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

ОСНОВЫ ДОЗИМЕТРИИ И РАДИОМЕТРИИ

Ключевые слова и словосочетания: дозиметрия, радиационный эффект, поглощенная доза, эквивалентная доза, эффективная доза, радиометры, спектрометры, дозиметры

Воздействие ионизирующих излучений на облучаемые объекты оценивают с помощью дозиметрических величин. Основными дозиметрическими величинами, характеризующими последствия облучения организма человека при малых дозах, являются эквивалентная и эффективная дозы. Их применяют для установления предельно допустимых уровней облучения человека. Если источник излучения находится вне организма, человек подвергается внешнему облучению, а при попадании радионуклидов в организм — внутреннему. Внешнее облучение людей контролируют с помощью дозиметров, внутреннее — оценивают по количеству радионуклидов, поступающих в организм.

Изучив главу... Вы познакомитесь со способами оценки величин, характеризующих воздействие ионизирующих излучений на организм человека; узнаете, как формируется доза облучения каждого отдельного человека и коллективов людей, как устанавливают дозиметрические величины и о чем говорят результаты этих определений.



3.1. *Дозиметрические понятия. Основные дозиметрические величины*

Дозиметрия — это раздел прикладной ядерной физики, в котором изучают величины, характеризующие ионизурующее излучение и его взаимодействие с веществом. Эти величины могут быть сопоставлены с эффектами, возникающими в объектах живой и неживой природы при облучении. Прежде всего, воздействие ионизирующего излучения (облучение) приводит к *ионизации* вещества. В твердых телах при облучении могут возникать структурные изменения, что отражается на механических, электрических и других свойствах этих тел. В живых организмах возможны нарушения в клетках и тканях, а в некоторых случаях — даже их отмирание.

Воздействие излучения на объекты называется ***облучением***

Все изменения, возникающие в объектах под воздействием ионизирующего излучения, называют радиационными эффектами.

Наиболее сложно оценивать воздействие радиации на биологические объекты. Для такой оценки нужно знать, какова связь между характеристиками излучения, с одной стороны, и радиационными эффектами, вызываемыми этим излучением в организме, с другой. Выявление подобных связей относится к области знаний на границе физики и биологии.

Изучение физических свойств ионизирующих излучений позволило установить, что ионизирующее излучение, независимо от его вида, переносит энергию.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

При облучении объекта энергия ионизирующего излучения частично или полностью поглощается объектом, и это приводит к появлению радиационных эффектов. Количество поглощенной объектом энергии ионизирующего излучения является важнейшей физической величиной, которая характеризует степень воздействия излучения на объект.

D

Поглощенная доза

Поглощенная доза излучения *(D)* — ***это количество энергии ионизирующего излучения, поглощенной облучаемым объектом, в расчете на единицу массы вещества, из которого состоит объект.***

$$D = \Delta\boldsymbol{E} / \Delta m$$

$\Delta\boldsymbol{E}$ — среднее количество энергии, переданное излучением веществу в элементарном объеме;

Δm — масса вещества в этом объёме.

В системе СИ поглощенная доза измеряется в *Джоулях на килограмм* (*Дж/кг*). Эта единица получила название ***Грей*** (***Гр***) в честь английского ученого Гарольда Грея, который внес значительный вклад в развитие дозиметрии. *1* ***Грей*** — это поглощенная доза любого ионизирующего излучения, которая соответствует поглощению *1 Дж* энергии излучения в расчете на *1 кг* облучаемого вещества.



Гарольд Грей
(1905 - 1965)

Применительно к тепловой энергии *1 Дж* — это совсем небольшая величина. Такого количества тепловой энергии хватает лишь для нагревания одной чайной ложки воды на *1 градус*. Это примерно соответствует количеству энергии, которое поглощается в теле человека, когда он выпивает лишь четверть чайной ложки горячего кофе. Поглощение такого количества *тепловой энергии* не может вызвать серьезных нарушений в организме человека.

В то же время, применительно к *энергии ионизирующего излучения 1 Дж* — это большая величина. Такое количество энергии *ионизирующего излучения* может приводить к появлению серьезных нарушений в организме.

Чем же объясняются такие разные последствия при поглощении организмом одинакового количества тепловой энергии и энергии ионизирующего излучения?

Скорее всего, такое различие связано с неодинаковым характером распределения разных видов энергии в биологической материи. Дело в том, что поглощенная *тепловая энергия* относительно равномерно

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

распределяется в биологической ткани. Чтобы вызвать серьезные нарушения в организме, требуется поглощение значительно большего количества тепловой энергии, чем *1 Дж*.

Поглощенная *энергия ионизирующего излучения* распределяется в биологической материи неравномерно. Одним участкам клеток передается основная часть энергии излучения, другим — совсем незначительная ее часть. В результате, поглощенная энергия излучения оказывается сконцентрированной в определенных местах. Именно поэтому поглощение биологической тканью даже *1 Дж* энергии ионизирующего излучения может приводить к серьезным нарушениям в организме человека.

Следовательно *1 Грей* соответствует большой величине поглощенной дозы излучения. Обычно приходится иметь дело со значительно меньшими дозами, которые выражают в тысячных или миллионных долях Грея — *миллигреях (мГр)* или *микрогреях (мкГр)*. Применяемой на практике внесистемной единицей поглощенной дозы является *рад*. *1 Грей* соответствует *100 радам*.

Единицы измерения
1 **Гр** = 1 **Дж/кг**
1 рад = 0,01 Гр

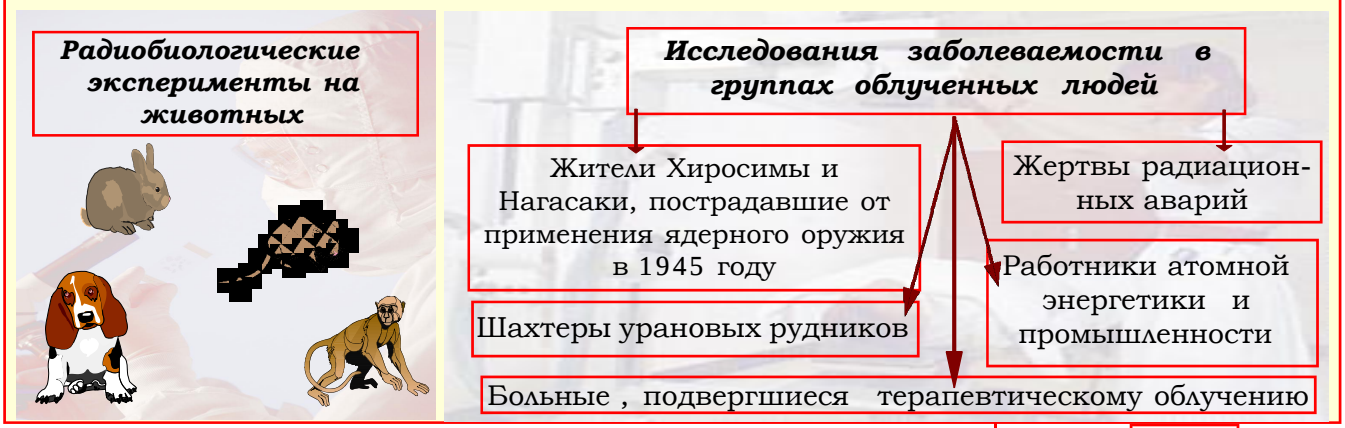
Величина поглощенной дозы зависит от продолжительности облучения. С течением времени при облучении объекта поглощенная доза накапливается. Скорость такого накопления называют ***мощностью поглощенной дозы*** (***МД***).

$$\textbf{МД} = DD / Dt,$$

где DD — изменение поглощенной дозы за промежуток времени Dt.

Обычно мощность поглощенной дозы измеряют в *миллигреях в час (мГр/час)* и *микрогреях в час (мкГр/час)*.

Чтобы выяснить, как ионизирующее излучение действует на организм человека и другие биологические объекты, проводятся:



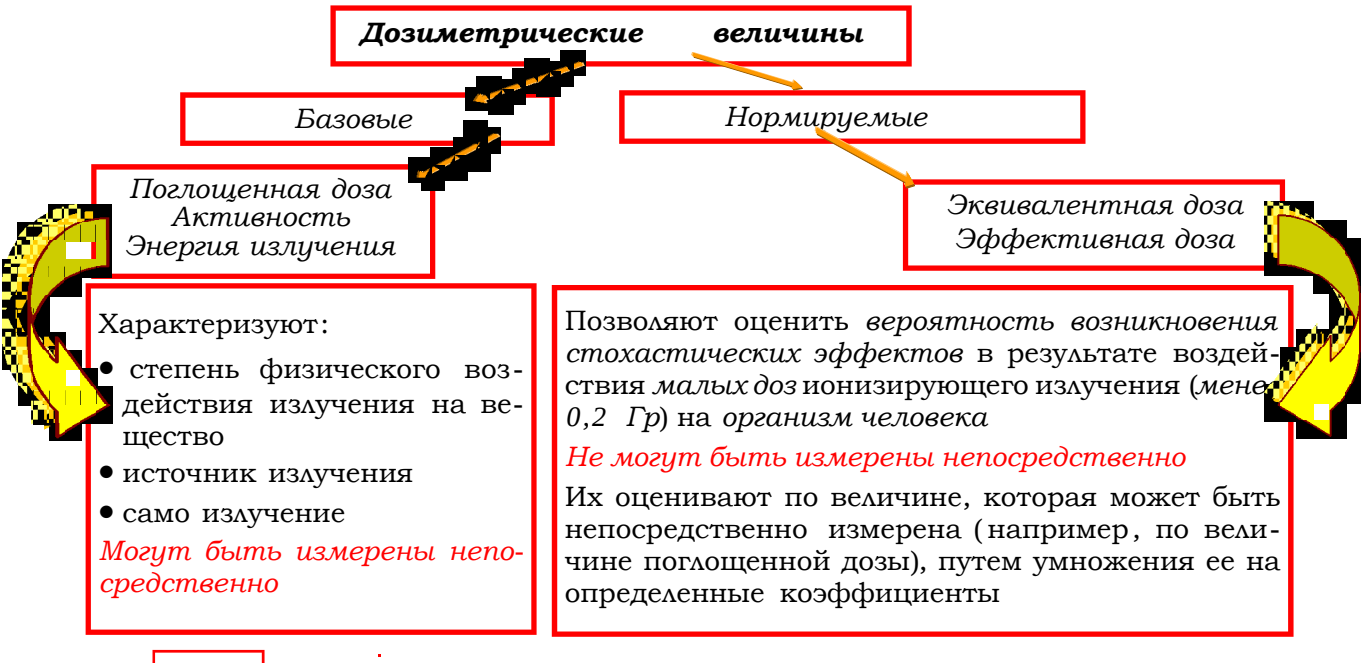
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Различают два вида радиационных эффектов, которые возникают в организме человека: *детерминированные и стохастические.*

Радиационные эффекты в организме человека

Детерминированные *(предопределенные)*	***Стохастические*** *(спонтанные, возникающие случайно)*
Ø Появляются в результате повреждения *ионизирующим излучением* значительного числа клеток органов или биологических тканей, что приводит к *серьезным физиологическим нарушениям* в организме (*радиационные ожоги, лучевая катаракта, лучевая болезнь* и др.). Ø Как правило, возникают непосредственно после воздействия ионизирующего излучения на организм (в течение нескольких часов или нескольких дней), когда *поглощенные дозы превышают* определенные *пороговые уровни.* Ø Чем больше поглощенная доза, тем больше нарушений возникает в организме. Ø *Характерны для высоких доз облучения (обычно 1 Гр и более).* Ø Связь между облучением и возникшим заболеванием *однозначна.* Заболевание неизбежно (предопределено). *Превышение дозового порога* (определенного уровня поглощенной дозы) *обязательно приводит* к конкретному *нарушению* в организме человека.	Ø Проявляются в виде раковых и генетических заболеваний, которые сокращают продолжительность жизни человека. Ø Возникновение заболевания является случайным событием, которое может реализоваться в любой момент по истечении определенного (скрытого, или латентного) периода после облучения. После завершения латентного периода человек может заболеть в любое время, однако может и вовсе не заболеть. Ø Протекание заболевания (его тяжесть) не зависит от величины поглощенной дозы. Ø *Характерны для средних (0,2 – 1 Гр) и малых (менее 0,2 Гр) доз облучения.* Ø Предполагают, что *стохастические эффекты* могут возникать при любых сколь угодно *малых* дозах облучения. Ø *Вероятность* возникновения стохастических эффектов *возрастает с увеличением поглощенной дозы.*

В результате воздействия ионизирующего излучения на объект меняются величины, характеризующие как само излучение, так и облучаемый объект. Величины, характеризующие *ионизирующее излучение* и последствия его воздействия на облучаемый объект, называют ***дозиметрическими***. Различают *базовые* и *нормируемые* дозиметрические величины.



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

В группу *базовых* дозиметрических величин входят физические величины, которые могут быть непосредственно измерены. Основной базовой величиной является *поглощенная доза*.

Нормируемые дозиметрические величины связывают дозу облучения с медико-биологическими последствиями действия небольших доз ионизирующего излучения на организм человека. Они не могут быть измерены непосредственно. Их определяют по величине, которая может быть непосредственно измерена. Важнейшими нормируемыми величинами являются *эквивалентная* и *эффективная дозы*.

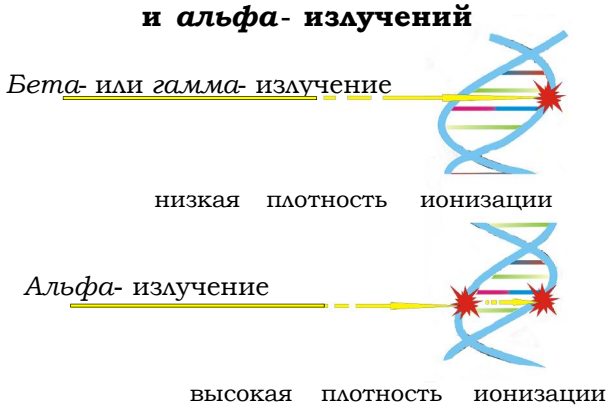
Нормировать — значит устанавливать определенные пределы облучения людей, что является основой разработки мер, ограничивающих негативные последствия облучения.

Эквивалентная доза облучения, весовые множители излучения

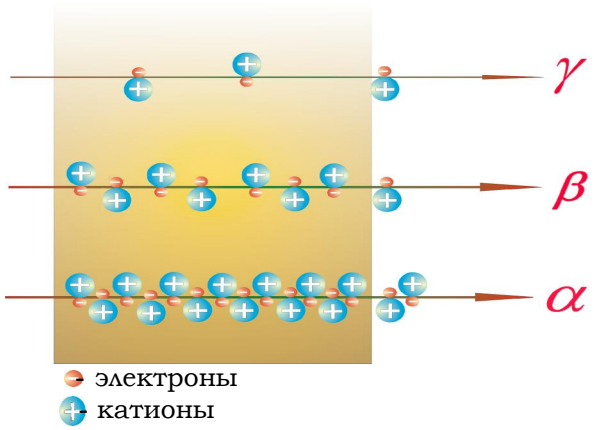
H, W_R

Радиационные эффекты, вызванные облучением организма, зависят не только от величины поглощенной дозы, но и от вида излучения. Это означает, что при одинаковой поглощенной дозе различные виды излучения могут вызывать неодинаковые биологические эффекты.

Различие между повреждениями ДНК при воздействии *бета-* (или *гамма*) и *альфа-* излучений



Плотность ионизации биологической материи при прохождении ионизирующих излучений через участок хромосомы



Рассмотрим в самых общих чертах особенности действия ионизирующего излучения на биологические объекты. ***Гамма-кванты***, обладающие большой проникающей способностью, передают свою энергию облучаемому веществу небольшими порциями. Поглощенная энергия расходуется на ионизацию и возбуждение атомов и молекул, что может приводить к повреждению клеток. *Часть этих повреждений организм может устранить самостоятельно.*

Подобное воздействие оказывают и ***бета-частицы***. Однако *бета*-частицы обладают значительно меньшим пробегом в веществе, чем *гамма*-кванты. При внешнем облучении организма *бета*-излучение, в основном, поглощается одеждой и, как правило, вносит незначительный вклад в поглощенную дозу. При внутреннем облучении *бета*-излучение может играть более весомую роль, поскольку вся его энергия поглощается в облучаемом органе или ткани.

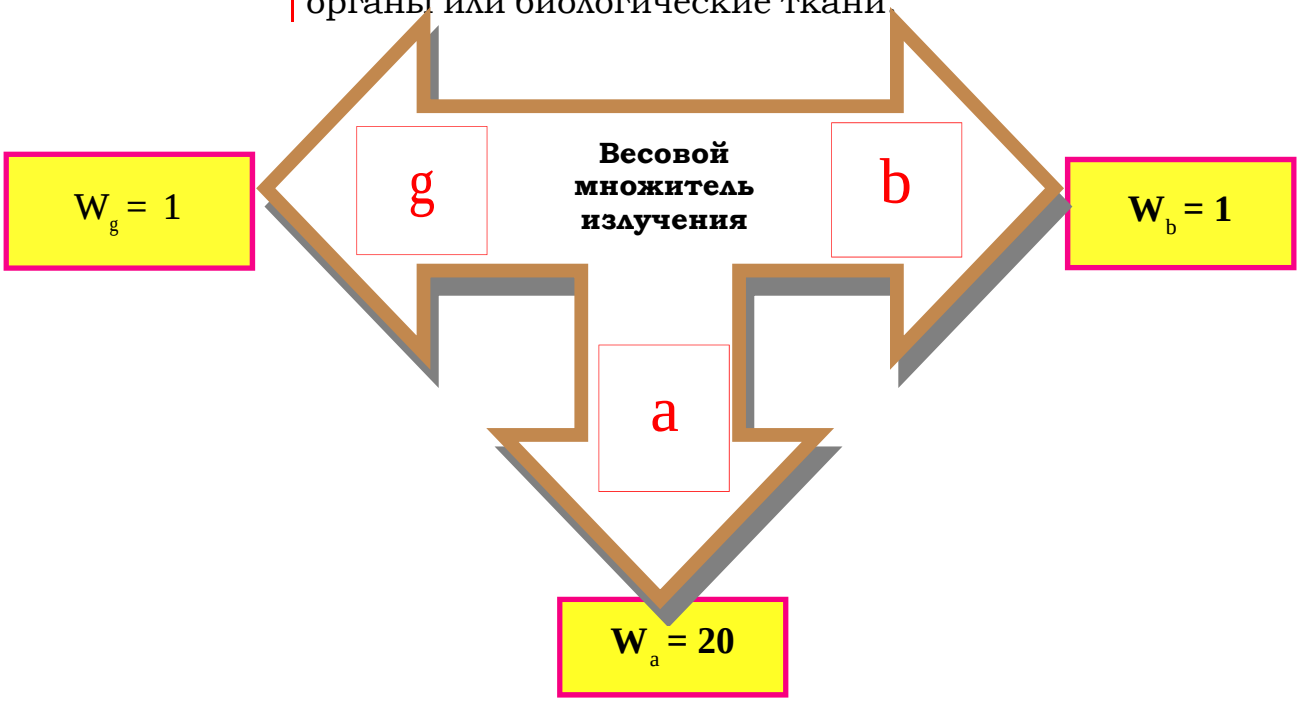
Пробег ***альфа-частиц*** в веществе еще меньше, чем *бета*-частиц. При внешнем облучении организма *альфа*-частицы практически полностью поглощаются одеждой и не влияют на величену поглощенной дозы. При попадании внутрь организма они отдают свою энергию в небольшом объеме биологической ткани. В силу своих физических особенностей (значительная масса и заряд частиц), *альфа*-излучение способно вызывать более серьезные повреждения в биологических тканях, чем *бета-* и *гамма*-излучения.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Совсем непросто количественно оценивать и сравнивать действие разных ионизирующих излучений на организм человека . Разные виды излучения вызывают неодинаковые повреждения в организме. К тому же, характер нарушений зависит от типа облучаемого органа или биологической ткани. Однако, ситуация значительно упрощается, если рассматривать облучение определенного *органа* или *ткани* конкретным видом излучения.

Биологические последствия при действии различных видов ионизирующего излучения на определенный орган (или ткань) учитывают с помощью ***весовых множителей излучения*** (W_R).

Каждому виду излучения приписывают определенный *весовой множитель*. Чем больше нарушений вызывает излучение в органе или биологической ткани, тем больше его весовой множитель. Значения весовых множителей W_R получены в результате анализа накопленных к настоящему времени медико-биологических данных по действию различных видов излучения на органы или биологические ткани.



Весовой множитель *гамма*-излучения условно принят за *1*. Весовой множитель *бета*-излучения такой же, как у *гамма*-излучения, т. е. также равен *1*. Весовой множитель *альфа*-излучения в 20 раз выше и равен 20. Это означает, что при одинаковой поглощенной дозе в определенном органе или ткани *гамма*-кванты вызывают примерно такие же радиационные эффекты, как и *бета*-частицы. Радиационноепоражение, вызываемое *альфа*-частицами, приблизительнов 20 раз сильнее, чем поражение, вызываемое *гамма*- или *бета*-излучением.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Если мы умножим среднюю поглощенную дозу в органе или ткани на весовой множитель данного вида ионизирующего излучения, то получим *эквивалентную дозу* рассматриваемого органа или биологической ткани (***H***):

$$\mathbf{H} = D \cdot W_R,$$

где D — средняя *поглощенная доза* излучения *R* типа (*a, b, g* или др.) в органе или биологической ткани человека;

W_R — весовой множитель излучения.

По величине *эквивалентной дозы* можно оценить риск возникновения радиационных эффектов при облучении определенного органа или ткани человека (***радиационный риск***).

Радиационный риск

Радиационный риск — это вероятность возникновения у человека или его потомства какого-либо вредного эффекта в результате облучения.

При малых и средних дозах облучения радиационный риск — это вероятность возникновения стохастических радиационных эффектов в результате воздействия ионизирующего излучения на организм человека.

При одинаковой поглощенной дозе, равной *1* ***Гр***, эквивалентная доза от *гамма-* или *бета-*излучения составляет *1* ***Зв***, а от *альфа-*излучения — 20 ***Зв***

При одинаковой поглощенной дозе, благодаря более высокому весовому множителю, эквивалентная доза от *альфа*-излучения в 20 раз превышает эквивалентную дозу как от *гамма*-, так и от *бета*-излучения. Следовательно, радиационный риск при облучении *альфа*-частицами в 20 раз выше, чем при облучении *бета*-частицами или *гамма*-квантами.



Рольф Зиверт (1896 - 1966)

Первый председатель Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ)

Весовые множители излучения не имеют размерности и, чтобы различать эквивалентную и поглощенную дозы, их выражают в различных единицах. В системе СИ единицей измерения эквивалентной дозы является *Зиверт* (*Зв*), по имени шведского ученого Рольфа Зиверта.

1 Зиверт соответствует поглощенной дозе величиной в *1 Грей* для ионизирующего излучения, весовой множитель которого равен единице. Это означает, что, если *поглощенная доза гамма-* или *бета*-излучения в каком-то органе или ткани составляет *1 Грей*, то *эквивалентная доза*, полученная этим органом, равна *1 Зиверту*.

1 мЗв = 10^{-3} *Зв*

1 мкЗв = 10^{-6} *Зв*

1 бэр = *0,01 Зв*

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

1 Зиверт, как и *1 Грей*, соответствует очень большой дозе, поэтому для измерения доз облучения населения, чаще используют производные Зиверта: *миллизиверт* (*мЗв*) и *микрозиверт* (*мкЗв*).

Внесистемная единица измерения эквивалентной дозы — *биологический эквивалент рада (бэр)*.

Суммы подобного типа называют *взвешенными*. Поэтому говорят, что *эквивалентная доза* представляет собой *поглощенную дозу*, взвешенную с помощью множителей, которые учитывают тип излучения.

Если на орган или ткань одновременно действует излучение различных видов (*a*, *b*, *g*), при определении эквивалентной дозы излучения (***H***) оценивают эквивалентные дозы от каждого вида излучения и полученные дозы суммируют:

$$H = D_a \cdot W_a + D_b \cdot W_b + D_g \cdot W_g$$

где D_a, D_b, D_g — поглощенные дозы соответственно *альфа-*, *бета-* и *гамма-* излучения;

W_a, W_b, W_g — весовые множители этих излучений.

Величина эквивалентной дозы позволяет характеризоватьдействие излучения на конкретные орган или ткань без указания вида излучения, поскольку радиационные эффекты от разных видов излучения уже учтены с помощью весовых множителей излучения (W_R).

E, W_T

Эффективная доза облучения, *тканевые весовые множители*

Разные органы и ткани человека обладают неодинаковой радиационной чувствительностью и в различной степени поражаются ионизирующим излучением. Поэтому последствия облучения зависят не только от величины эквивалентной дозы, но и от типа органа или биологическойткани, которые подвергаются воздействию излучения. Чтобы оценить радиационный риск для организма человека в целом, была введена ***эффективная доза облучения***.

Относительную радиационную чувствительность органов или тканей к действию ионизирующих излучений учитывают с помощью ***тканевых весовых множителей*** (W_T).

Величины тканевых весовых множителей установлены по результатам многолетних исследований заболеваемости в группах облученных людей. Фактически,

тканевые весовые множители характеризуют относительный вклад каждого органа или биологической ткани человека в возникновение стохастических радиационных эффектов при равномерном облучении всего тела человека.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Под равномерным облучением тела человека подразумевается такое облучение, при котором эквивалентная доза для всех органов и биологических тканей организма одинакова. В этом случае сумма тканевых весовых множителей всех органов и тканей человека равна единице.

Эффективная доза облучения (***E***) — ***это сумма эквивалентных доз облучения*** (H_{Ti}) ***отдельных органов*** (***или тканей***), ***умноженных на соответствующие тканевые весовые множители*** (W_{Ti}).

$$E = H_{T1} \cdot W_{T1} + H_{T2} \cdot W_{T2} + H_{T3} \cdot W_{T3} + \ldots,$$

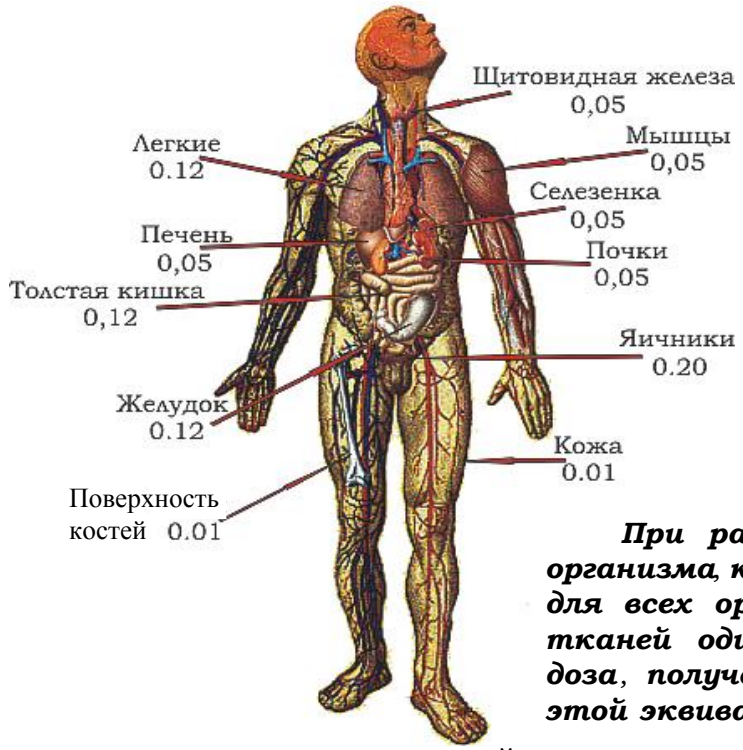
H_{T1}, H_{T2} и т. д. — *эквивалентные дозы* в органах или биологических тканях человека, обозначенных индексами Т1 , Т2 и т. д.;

W_{T1} , W_{T2} и т. д. — *тканевые весовые* множители соответствующих органов или биологических тканей.

Поскольку тканевые весовые множители являются безразмерными величинами, *эффективная доза*, как и эквивалентная, измеряется в *Зивертах* (*Зв*) (иногда в *бэрах*).

Эффективная доза наиболее полно характеризует последствия облучения. Она позволяет оценивать суммарный биологический эффект от действия ионизирующего излучения *для организма человека в целом*.

Человек и тканевые весовые множители (W_T)



При равномерном облучении организма, когда эквивалентная доза для всех органов и биологических тканей одинакова , эффективная доза, полученная человеком, равна этой эквивалентной дозе.

Сумма тканевых весовых множителей при равномерном облучении организма человека равна *1,00*

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Пример** 1.* Рассмотрим, как оценивают *эффективную дозу* (E***) при равномерном облучении организма человека, когда эквивалентная доза для всех органов и тканей одинакова и равна ***H***.

$$\mathbf{E} = \mathbf{H} \cdot W_{T1} + \mathbf{H} \cdot W_{T2} + \ldots = \mathbf{H} \cdot (W_{T1} + W_{T2} + \ldots) = \mathbf{H},$$

поскольку при равномерном облучении организма сумма всех тканевых весовых множителей ($W_{T1} + W_{T2} + \ldots$) равна 1.

Пример** 2.* Рассмотрим, чему равна *эффективная доза*, полученная организмом человека, если облучению подвергается только один орган — легкие с эквивалентной дозой *H*. Тканевый весовой множитель для легких составляет *0,12*. Поскольку облучению подвергался только один орган, *эффективная доза* (E***), полученная организмом человека, равна:

$$E = W_{л} \cdot H = 0{,}12\ \boldsymbol{H}$$

***Следовательно**, **при одинаковой эквивалентной дозе** (**H**) **облучение одного органа менее опасно**, **чем облучение всех органов и тканей человека**.*

Рассмотрим подробнее, как формируется *эффективная доза*. Она состоит из доз *внешнего* и *внутреннего* облучения. Поскольку поглощенная доза зависит от продолжительности облучения, все дозы оценивают для конкретного промежутка времени.

Годовая эффективная доза (E)

$\mathbf{E} = \mathbf{E}_{внеш} + \mathbf{E}_{внутр}$

$\mathbf{E}_{внеш}$ — годовая эффективная доза внешнего облучения

$\mathbf{E}_{внутр}$ — эффективная доза внутреннего облучения за этот же год

При контроле степени облучения человека определяют *эффективную дозу*, полученную им в течение года, всей жизни или любого интересующего периода времени. Например, *годовая эффективная доза* равна сумме эффективной дозы *внешнего* и *внутреннего* облучения *за один и тот же год*. При этом годовая доза *внешнего* облучения определяется путем дозиметрических измерений, а доза *внутреннего* облучения рассчитывается по активности радионуклидов, поступивших в организм в течение года с потребляемыми продуктами питания и питьевой водой, а также при дыхании.

И внешнее, и внутреннее облучение организма может привести к появлению стохастических радиационных эффектов. Эффективная доза позволяет оценивать риск возникновения стохастических радиационных эффектов (*радиационный риск*) при совместном внешнем и внутреннем облучении организма. В этом случае радиационные риски от внешнего и внутреннего облучения организма человека суммируются.

В повседневной жизни человек часто пользуется понятием риск. Здоровье и жизнь человека постоянно подвергаются той или иной опасности (фактору риска). Чаще всего под «риском» подразумевают вероятность возможных неблагоприятных последствий для человека

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

в опасной ситуации (езда на мотоцикле, автомобиле, путешествие самолетом, скалолазание и т. п.).

В случае воздействия на организм ионизирующего излучения человек подвергается опасности *возникновения стохастических радиационных эффектов*. Опасность облучения человека обычно оценивают по величине *индивидуального пожизненного риска*.

Индивидуальный пожизненный риск, R_i

Индивидуальный пожизненный риск (R_i) ***— это вероятность возникновения стохастических радиационных эффектов в течение жизни человека***.

Продолжительность жизни человека, в среднем, составляет *70 лет*. Для оценки индивидуального пожизненного риска используют *коэффициент пожизненного риска* (r_i).

Коэффициент пожизненного риска, r_i

Коэффициент пожизненного риска (r_i) ***характеризует вероятность возникновения стохастических радиационных эффектов при получении человеком эффективной дозы*** *1* ***Зв***.

Коэффициенты пожизненного риска (r_i) устанавливают на основе многолетних наблюдений за большими группами облученных людей. По мере накопления информации о заболеваемости людей в результате облучения коэффициенты риска уточняются.

Величину коэффициента пожизненного риска (r_i) можно найти в справочниках по дозиметрии или руководствах по радиационной безопасности. Величина коэффициента пожизненного риска для населения (r_i) составляет в среднем $7{,}3 \cdot 10^{-2}$ ***Зв***$^{-1}$ на одного человека (Нормы радиационной безопасности – 2000).

Индивидуальный пожизненный риск (R_i) можно оценить, умножив коэффициент пожизненного риска (r_i) на эффективную дозу (***E***), которую человек может получить в течение жизни.

Пример *3*. Оценим *индивидуальный пожизненный риск* облучения одного органа человека — легких от радона и продуктов его распада при годовой эквивалентной дозе *1 мЗв*.

За *70 лет* жизни суммарная *эквивалентная* доза облучения легких составит:

$$\mathbf{H} = 1\ \mathbf{мЗв/год} \cdot 70\ \mathbf{лет} = 70\ \mathbf{мЗв} = 0{,}070\ \mathbf{Зв}$$

Чтобы оценить индивидуальный пожизненный риск, вначале определим *эффективную дозу*, полученную организмом от радона и продуктов его распада за *70 лет* жизни человека. Для этого *эквивалентную дозу*, полученную за 70 лет жизни, умножим на тканевый весовой множитель, который в случае легких равен *0,12*.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$\mathbf{E} = \mathbf{H} \cdot W_T = 0{,}07\ \mathbf{Зв} \cdot 0{,}12 = 0{,}0084\ \mathbf{Зв}$$

Затем полученную *эффективную дозу* умножим на *коэффициент пожизненного риска* r_i, который равен $7{,}3 \cdot 10^{-2}$ $Зв^{-1}$, и получим величину *индивидуального пожизненного риска* (R_i) возникновения стохастического радиационного эффекта (в данном случае радиогенного рака легких):

$$R_i = \mathbf{E} \cdot r_i = 0{,}0084 \cdot 7{,}3 \cdot 10^{-2} = 0{,}0006 \approx 1{:}1\,700$$

Это означает, что при годовой эквивалентной дозе облучения легких от радона и продуктов его распада, равной *1 мЗв*, существует примерно 1 шанс из 1 700, что человек в течение жизни заболеет радиогенным раком легких.

Пример *4*. Оценим *индивидуальный пожизненный риск* (R_i) при получении организмом человека эффективной дозы облучения, равной *1 мЗв в год*.

За *70 лет* жизни человек получит эффективную дозу, равную *70 мЗв* или *0,07 Зв*. Так как коэффициент радиационного риска равен $7{,}3 \cdot 10^{-2}$ $Зв^{-1}$, *пожизненный радиационный риск* (R_i) составляет:

$$R_i = 0{,}07\ \mathbf{Зв} \cdot 7{,}3 \cdot 10^{-2}\ \mathbf{Зв}^{-1} \approx 0{,}005 = 1{:}200$$

Это означает, что при получении эффективной дозы облучения *1 мЗв* в год дополнительный риск ракового или тяжелого генетического заболевания составляет 1 шанс из 200.

Много это или мало?

Для сравнения отметим, что индивидуальный пожизненный риск гибели в автомобильной катастрофе людей, не являющихся профессиональными водителями, составляет 0,007 » 1:140, т. е. 1 шанс из 140.

Индивидуальный пожизненный риск (R_i) ***возникновения стохастических радиационных эффектов, т. е. риск возникновения раковых или генетических (наследственных) заболеваний в результате облучения, можно уменьшить путем снижения дозы облучения.***

Реально коэффициент пожизненного риска (r_i) *определяется индивидуальной чувствительностью организма, которая зависит от возраста, пола, физиологического, психо-эмоционального состояния человека и других факторов.*

Укрепляя здоровье, контролируя продукты питания и сокращая пребывание в местах с повышенным уровнем радиоактивного загрязнения, можно значительно сократить дозовые нагрузки на организм и снизить радиационный риск.

Дозы облучения, полученные населением вследствие катастрофы на ЧАЭС, реально могут привести только к *стохастическим* радиационным эффектам. Лишь у тех, кто непосредственно принимал участие в ликвидации последствий катастрофы и получил наиболее высокие

Предел индивидуального пожизненного риска от источников ионизирующего излучения в условиях их безаварийной эксплуатации составляет для населения — $5 \cdot 10^{-5}$ *(один шанс из 20 000)*

Уровень пренебрежимого и безусловно приемлимого риска — 10^{-6} (один шанс из 1 000 000, т.е. практически полное отсутствие риска)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

дозы облучения, наблюдались *детерминированные радиационный* эффекты. Подобные эффекты наблюдались также у жертв атомных бомбардировок и несчастных случаев при неправильном обращении с радиоактивными источниками.

Возникновение детерминированных радиационных эффектов как у профессионалов, работающих с источниками ионизирующего излучения, так и у остальной части населения ***маловероятно*** (за исключением аварийных ситуаций).

При характеристике *детерминированных* эффектов обычно используют величину *поглощенной дозы*, ***Д*** (***Гр***).

Все, изложенное выше, касается оценки *индивидуальных* дозовых нагрузок и *индивидуальных* радиационных рисков. Однако при радиационных авариях действию ионизирующего излучения могут одновременно подвергаться большие группы людей, и возникает потребность в оценке последствий подобного облучения. Для таких оценок используют понятие «*коллективная доза*».

Коллективная доза

Коллективная эффективная доза — это сумма индивидуальных эффективных доз, полученных группой людей от какого-либо источника излучения за определенный промежуток времени.

Величину коллективной эффективной дозы группы людей получают, умножая среднюю *индивидуальную* эффективную дозу на количество людей в рассматриваемой группе.

Единицей измерения коллективной эффективной дозы служит *человеко-зиверт* (*чел.-Зв*), в литературе прошлых лет иногда используется внесистемная единица *человеко-бэр* (*чел-бэр*). *1 чел.-Зв = 100 чел-бэр.*

***Коллективная эффективная доза для* определенной группы людей складывается из *индивидуальных эффективных доз* членов этой группы. Ее можно оценить для:**

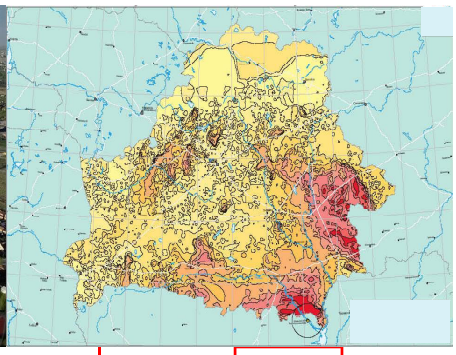
группы людей определенного возраста или пола



жителей отдельного населенного пункта



населения области или страны в целом



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

При оценке коллективной дозы указывают промежуток времени, за который она получена. Обычно оценивают коллективную дозу, полученную за год или за период предстоящей жизни рассматриваемой группы людей.

Годовая коллективная эффективная доза облучения определенной группы людей:

коллективная эффективная доза внешнего облучения + **коллективная эффективная доза внутреннего облучения**

Предполагается, что дозы внешего и внутреннего облучения получены наблюдаемой группой в течение одного и того же года.

Коллективный пожизненный риск

Умножив величину коллективной эффективной дозы на коэффициент радиационного риска, можно оценить *коллективный пожизненный риск*, т.е. количество пострадавших (заболевших) в результате радиационного воздействия в группе людей определенной численности.

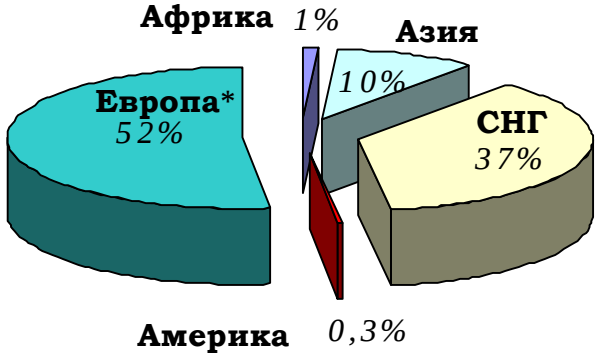
Знание коллективных доз позволяет определять, необходимы ли защитные меры и, если необходимы, то какие, планировать их проведение, а затем и оценивать эффективность предпринятых защитных мер.

Коллективная доза в результате аварии, подобной чернобыльской, накапливается в течение длительного времени и может затрагивать несколько поколений людей.

Полная (ожидаемая) коллективная доза — это коллективная доза, которую получили (или получат) все поколения людей от какого-либо источника ионизирующего излучения за время его существования.

По оценкам специалистов, полная (ожидаемая) коллективная доза населения Земли в результате катастрофы на ЧАЭС превышает *1 млн. чел-Зв* и распределяется между разными группами населения.

Ожидаемые коллективные дозы населения Земли от катастрофы на ЧАЭС (% от общей дозы)



* — Коллективные дозы населения Европы за исключением европейских стран СНГ

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Величина полной (ожидаемой) коллективной дозы отражает масштаб последствий радиационной аварии. Она дает возможность предсказывать число ожидаемых неблагоприятных последствий облучения (дополнительных случаев раковых и генетических заболеваний).

Пример 5. Полная (ожидаемая) коллективная доза населения стран СНГ в результате Чернобыльской катастрофы оценивается величиной 370 000 чел-Зв/год. В соответствии с нормативными документами (НРБ-2000) коэффициент радиационного риска для населения составляет $7{,}3 \cdot 10^{-2}$ $Зв^{-1}$.

Оценим по этим данным количество ожидаемых стохастических радиационных эффектов (N), связанных с последствиями Чернобыльской катастрофы для населения стран СНГ:

$$N = 370\,000 \textbf{ чел-Зв/год} \cdot 7{,}3 \cdot 10^{-2} \textbf{ чел-Зв}^{-1} = 27\,010 \textbf{ чел/год}$$

Это означает, что среди населения СНГ от полученной коллективной дозы ежегодно ожидается 27 010 дополнительных случаев раковых и тяжелых генетических заболеваний.

Поскольку ожидаемая доза может быть предотвращена путем проведения защитных мероприятий, в последнее время в радиационной безопасности используют понятие "*предотвращаемая доза*".

Предотвращаемая доза — это прогнозируемая доза вследствие радиационной аварии, которая может быть предотвращена защитными мероприятиями.

Дозиметрия — не абстрактная наука. Она имеет практическую направленность и служит обеспечению ***безопасности людей*** при воздействии на них ионизирующего излучения. Основой для разработки мер, обеспечивающих радиационную безопасность человека, служит *радиационное нормирование*.

Нормирование облучения

Нормирование предполагает установление некоторых допустимых уровней облучения человека, выше которых ущерб, наносимый облучением человеку, становится неприемлемым.

Эффективная и *эквивалентная* дозы характеризуют отдаленные последствия облучения организма человека:

- эффективная — для организма в целом,
- эквивалентная — для отдельных органов или тканей.

Поэтому эти дозы используют для установления предельно допустимых уровней облучения людей, т. е. для нормирования облучения.

В заключение еще раз вернемся к основным дозиметрическим понятиям, которые были рассмотрены в настоящем разделе.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Основные понятия, используемые в дозиметрии

<table>
<tr><td rowspan="2">Радиационные эффекты</td><td colspan="3">Степень воздействия излучения на организм человека определяют :</td></tr>
<tr><td>Количество поглощенной энергии излучения</td><td>Тип излучения</td><td>Восприимчивость биологической ткани к облучению</td></tr>
<tr><td>Детерминированные</td><td>Поглощенная доза</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>Стохастические</td><td colspan="2">Эквивалентная доза</td></tr>
<tr><td colspan="3">Эффективная доза</td></tr>
</table>

Как следует из таблицы, *поглощенная доза* может быть использована для оценки вероятности возникновения у людей детерминированных и стохастических радиационных эффектов, в то время как *эквивалентная* и *эффективная дозы* — только стохастических эффектов облучения.

Поглощенная доза учитывает

- количество энергии ионизирующего излучения, поглощенной любым облучаемым объектом в расчете на единицу его массы.

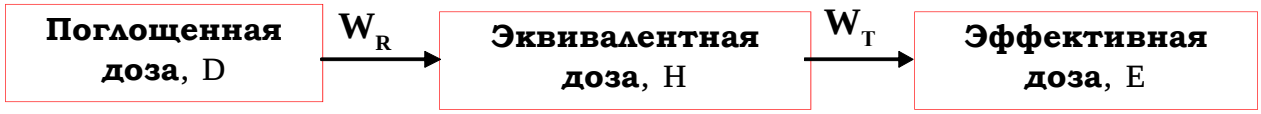
Эквивалентная доза учитывает

- количество энергии ионизирующего излучения, поглощенной органом или биологической тканью человека,
- тип ионизирующего излучения.

Эффективная доза учитывает

- количество энергии ионизирующего излучения, поглощенной организмом человека в целом,
- тип излучения,
- относительную чувствительность органов и тканей человека к воздействию ионизирующего излучения.

Взаимосвязь между основными дозиметрическими величинами



W_R — весовой множитель излучения R типа,
W_T — тканевый весовой множитель.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

3.2. *Способы измерения ионизирующих излучений и определения доз облучения*

Используют три основные группы приборов для регистрации и измерения интенсивности ионизирующих излучений и определения доз облучения человека: *радиометры, спектрометры и дозиметры.*

Радиометры

Ø измеряют активность источника ионизирующего излучения

Ø позволяют определить активность конкретного радиоизотопа или суммарную активность радионуклидов в источнике излучения (в *Беккерелях*)

Спектрометры

Ø измеряют интенсивность излучения в зависимости от его энергии

Ø позволяют установить состав радионуклидов и их активность в источнике (в *Беккерелях*)

Дозиметры

Ø определяют дозу (в *миллизивертах* или *микрозивертах*) или мощность дозы (в *микрозивертах в час*) внешнего облучения человека

Важнейшей частью подобных приборов является *детектор — устройство для регистрации ионизирующего излучения.*

Детекторы

Детектором называют устройство, в котором энергия ионизирующего излучения преобразуется в электрическую или другие виды энергии, что позволяет регистрировать излучение.

Регистрация каждого вида излучения (*альфа-*, *бета-*, *гамма-* или др.) имеет свои особенности . Существует множество разновидностей детекторов в зависимости от типа регистрируемого излучения.

Важнейшие характеристики детектора ионизирующего излучения:

- эффективность регистрации,
- энергетическое разрешение,
- быстродействие.

Эффективность регистрации

Доля частиц или *гамма*-квантов, которые регистрирует детектор из числа всех, попавших в рабочий объем детектора

Энергетическое разрешение

Способность различать частицы или *гамма* - кванты разных энергий

Быстродействие

Максимальное число частиц или *гамма*-квантов излучения, поступающих в рабочий объем детектора в единицу времени и регистрируемых детектором как отдельное событие

Наиболее широко используются **электронные детекторы**. В детекторах этого класса энергия ионизи-

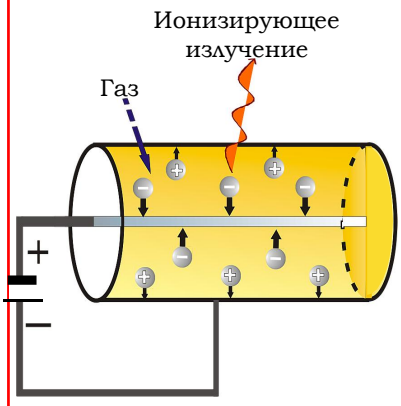
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

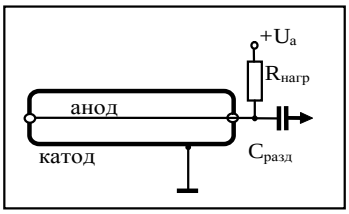
рующего излучения преобразуется в электрический сигнал.

Основные типы электронных детекторов

газоразрядные | полупроводниковые | сцинтилляционные

Работа ***газоразрядных*** *(ионизационных)* ***детекторов*** основана на ионизации рабочего вещества (газа) излучением.





Принцип действия и электрическая схема газоразрядного детектора

Простейший детектор такого типа — ***ионизационная камера***. Она представляет собой плоский или цилиндрический конденсатор, внутренний (рабочий) объем которого заполнен газом. К обкладкам конденсатора приложено постоянное электрическое напряжение. При отсутствии заряженных частиц газ, находящийся между пластинами конденсатора, является изолятором, и поэтому ток в цепи отсутствует. Когда же частицы или *гамма*-кванты попадают в рабочее пространство конденсатора, они вызывают ионизацию молекул газа — образуются заряженные частицы: свободные электроны и ионы (подробнее об этом рассказано в главе 2).

В электрическом поле конденсатора отрицательно заряженные частицы устремляются к аноду (+), а положительно заряженные — к катоду (-). Как следствие, в цепи возникает кратковременный электрический ток — *электрический импульс*. Этот импульс и представляет собой регистрируемый сигнал, свидетельствующий о наличии частицы или *гамма*-кванта излучения, а его амплитуда зависит от энергии частицы или *гамма*-кванта. Определяя суммарный электрический заряд, возникающий в рабочем объеме детектора, можно оценить величину дозы внешнего облучения объекта.

Эффективность регистрации излучений газоразрядными детекторами

гамма-излучения - ~ **1 %**.

бета-излучения - **от ~ 10 %** для частиц с энергией 100 кэВ до **100 %** для частиц с энергией более 1,5 МэВ

Достоинства ионизационной камеры — простота и надежность, недостаток — слабый электрический сигнал при регистрации излучения, т. е. низкая эффективность регистрации.

Пропорциональные счетчики и ***счетчики Гейгера-Мюллера*** — это разновидности приборов на основе газоразрядных детекторов. Они отличаются относительно высоким анодным напряжением, что позволяет значительно усиливать электрические сигналы, вызываемые ионизирующим излучением, и тем самым, увеличивать эффективность его регистрации.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

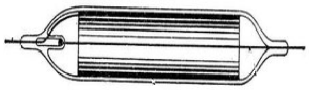
Среди образующихся в процессе ионизации заряженных частиц наиболее подвижны *электроны*. При определенной величене напряженности электрического поля (в так называемой *области пропорциональности*) электроны разгоняются до скоростей, которые намного превосходят скорости ионов. Энергии таких электронов оказывается достаточно для *ионизации* молекул газа при столкновении (ударная ионизация).

При более высокой напряженности электрического поля (область Гейгера) положительно заряженные ионы также достигают высоких скоростей, при которых они способны выбивать электроны из катода. Одновременно происходит рекомбинация возникающих в газовой среде ионов и электронов с образованием молекул газа в возбужденном состоянии. При переходе в основное состояние молекулы испускают фотоны с энергией, достаточной для образования вблизи катода фотоэлектронов, которые также ускоряются в электрическом поле.

В результате последовательного рождения новых заряженных частиц возникает *электронно-ионная лавина*.

Следовательно, достаточно попасть одной заряженной частице в рабочий объем такого счетчика, чтобы вызвать образование лавины заряженных частиц. Этот процесс можно регулировать, меняя напряжение на электродах и состав газа. Заряд, снимаемый с обкладок конденсатора, в зависимости от величины напряжения и вида газа, может увеличиться в 10^3 – 10^6 раз. Как следствие, амплитуда выходных электрических импульсов значительно возрастает, что позволяет регистрировать даже слабые ионизирующие излучения.





Счетчик Гейгера-Мюллера и его устройство

В *счетчиках Гейгера-Мюллера* получаются самые сильные электрические сигналы, но они одинаковы для всех регистрируемых частиц или *гамма*-квантов, независимо от их энергии. Поэтому подобные счетчики служат только для определения общего числа частиц или *гамма*-квантов, не различая их по энергии.

При использовании *пропорционального счетчика* сохраняется возможность распознавать частицы или *гамма*-кванты, отличающиеся по энергии.

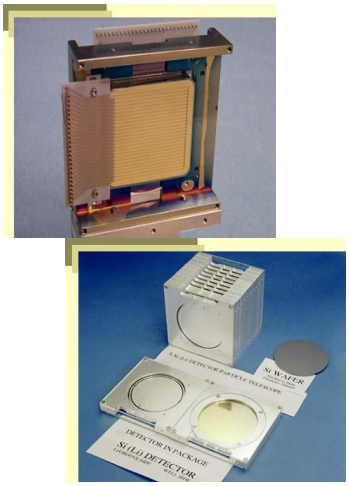
Недостаток газоразрядных детекторов — низкая эффективность регистрации *гамма*-излучения. В силу высокой проникающей способности большая часть *гамма*-квантов покидает рабочий объем детектора, так и не вызвав ионизации молекул газа.

В случае *альфа*- и *бета*- излучения возникает другая проблема. Регистрация *альфа*-частиц *газоразрядными счетчиками* практически невозможна, так как почти все эти частицы поглощаются стенками детектора. *Бета*-частицы также в значительной степени поглощаются стенками детектора. Чтобы снизить степень поглощения *бета*-частиц, уменьшают толщину

Корпус (катод) детектора чаще всего изготавливается из алюминия, его толщина обычно не превышает 0,1 мм

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

корпуса в том месте, где излучение проникает в рабочий объем детектора. Например, в так называемых *торцовых счетчиках* излучение попадает в рабочий объем детектора через тонкое окно из слюды или органического материала.



Полупроводниковые детекторы

Полупроводниковые детекторы также относятся к ионизационным. По принципу действия они подобны ионизационным камерам, но вместо газа в качестве рабочего вещества используют полупроводниковые материалы (*область p-n перехода*).

Длина пробега *альфа*-частиц в твердом теле невелика, поэтому для их регистрации достаточно тонкого слоя полупроводника.

Для регистрации *бета*- и *гамма*-излучений нужен более толстый слой полупроводникового материала.

Полупроводниковые детекторы позволяют хорошо различать частицы, близкие по энергии, т. е. обладают высоким *энергетическим разрешением*. Некоторые виды полупроводниковых детекторов работают лишь при температуре жидкого азота, что значительно усложняет их конструкцию и эксплуатацию.



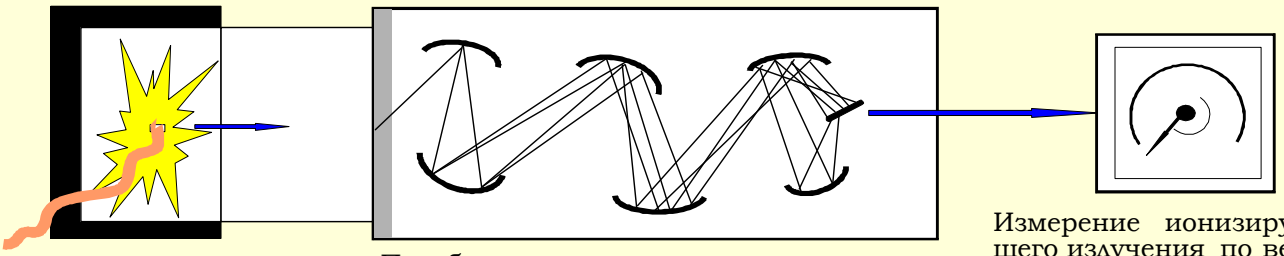
Сцинтилляционные детекторы

Работа ***сцинтилляционных детекторов*** основана на способности некоторых соединений светиться под действием ионизирующего излучения. При попадании в детектор излучение возбуждает молекулы этих соединений, то есть переводит электроны молекул в более высокие энергетические состояния. Возврат молекул в основное энергетическое состояние происходит спустя очень короткий промежуток времени и сопровождается испусканием фотонов. Световые вспышки регистрируются. Такой способ детектирования ионизирующих излучений нашел широкое применение с появлением ***фотоэлектронных умножителей*** (ФЭУ) — устройств, позволяющих измерять сверхслабые (вплоть до единичных фотонов) световые вспышки.

ФЭУ, кроме фотокатода и анода, содержит, ряд промежуточных анодов (динодов). Возникшие в сцинтилляторе фотоны выбивают электроны из фотокатода. Анод и диноды с помощью делителя напряжения подключены к высоковольтному источнику питания. При этом потенциал первого динода выше, чем катода, а каждого последующего электрода выше, чем предыдущего. Ускоряясь между парой электродов, электрон приобретает энергию достаточную для того, чтобы выбить из динода дополнительные электроны (*вторичная эмиссия электронов*). Благодаря этому, электрон, выбитый из фотокатода, рождает лавину заряженных частиц, что приводит к появлению в анодной цепи значительного импульса тока.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Принцип действия сцинтилляционного детектора



Свечение сцинтил - лятора под действием ионизирующего излучения

Преобразование энергии свечения сцинтиллятора в электрические сигналы и их усиление

Измерение ионизирую - щего излучения по величине электрического сигнала

В качестве сцинтилляторов используют неорганические и органические соединения в твердом и жидком состоянии.

Для регистрации *гамма*-квантов широко используют сцинтилляторы на основе монокристаллов NaJ и CsJ. В этом случае эффективность регистрации *гамма*-излучения составляет десятки процентов.

При регистрации *бета*-излучения предпочтительнее использовать органические сцинтилляторы, в том числе и жидкие.

В случае *альфа*-излучения применяют сцинтилляторы на основе сульфида цинка или кадмия.

Сцинтилляционные детекторы имеют неплохое энергетическое разрешение, однако в этом отношении уступают полупроводниковым. Оба типа детекторов отличаются высоким быстродействием.

Принцип действия ***фотоэмульсионных детекторов*** подобен фотографическому . Ионизирующее излучение воздействует на фотоэмульсию, нанесенную на пленку или пластинку, и образует *скрытое изображение*. После проявления в тех местах , которые подверглись облучению, остается темный след. Такие детекторы способны фиксировать след (трек) движения радиоактивной частицы, поэтому их относят к классу *трековых*.

В дозиметрии чаще используют ***фотоэмульсионные***, а также ***термолюминесцентные*** (ТЛД) и ***фотолюминесцентные*** (ФЛД) *детекторы*. В состав ТЛД и ФЛД входят *люминофоры* — вещества, облучение которых приводит к возникновению, так называемых, центров фотолюминесценции . Подобные центры возникают в результате возбуждения молекул люминофора. В отличие от сцинтилляторов, молекулы люминофора могут находиться в возбужденном состоянии весьма длительное время и поглощенная энергия излучения может сохраняться в облучаемом материале.

Монокристалл — это отдельный кристалл с непрерывной кристаллической решеткой. В отличии от монокристаллов *поликристаллы* — это агрегаты, состоящие из множества различно орентированных мелких монокристаллов

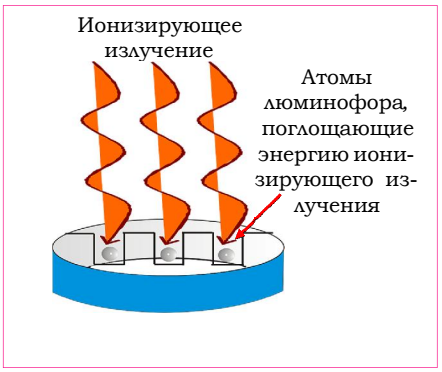
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Люминесценция — свечение некоторых материалов при определенном воздействии на них

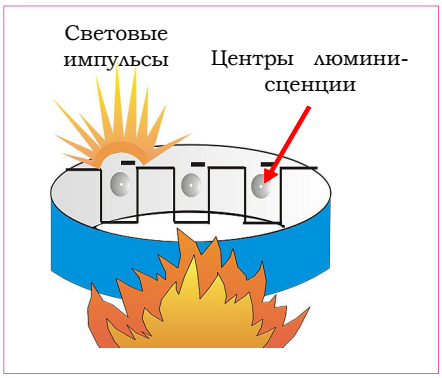
Люминесценция начинается не сразу после облучения, а лишь после дополнительного воздействия на люминофор. В случае ФЛД люминесценцию может вызывать ультрафиолетовое излучение. В ТЛД люминесценция начинается после нагрева люминофора до определенной температуры (обычно не более 573К).

Такое воздействие оказывается на люминофор в приборе, где измеряется интенсивность свечения. По её величине определяют накопленную человеком дозу внешнего облучения. После «считывания показаний» детекторы ФЛД и ТЛД могут быть вновь использованы для дозиметрических определений.

Схема действия фотолюминисцентных (ФЛД) и термолюминисцентных (ТЛД) детекторов



Поглощение энергии ионизирующего излучения люминисцентным детектором (ФЛД или ТЛД)



Свечение облученного люминофора при нагревании ТЛД

Дозиметры , ***радиометры*** , ***спектрометры***

Простейшие ***дозиметры*** созданы на основе ионизационной камеры и фактически измеряют суммарный электрический заряд частиц, образующихся в веществе за определенный промежуток времени под действием *гамма*-излучения.

С помощью дозиметров, изготовленных на основе сцинтилляционных детекторов (ТЛД-дозиметры) можно определить дозу, полученную человеком за достаточно длительный промежуток времени (неделю, месяц, ...). Такие дозиметры обычно делают в виде броши, часов или браслета

Возникающие в ионизационной камере электрические заряды чрезвычайно малы и с трудом поддаются измерению. Поэтому ионизационные камеры используют только для оценки *поглощенной* дозы *гамма*-излучения высокой интенсивности. В большинстве случаев используют другие детекторы излучения.

При определении поглощенной дозы используют счетчики Гейгера-Мюллера, а также приборы на основе сцинтилляционных и полупроводниковых детекторов.

Создание дозиметров является непростой задачей, так как необходимо учитывать тип излучения и энергию составляющих его частиц или *гамма*-квантов. Наиболее сложно измерить поглощенную дозу смешанного излучения, состоящего одновременно из частиц (*альфа-, бета-*) и *гамма*-квантов.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

На практике при определении поглощенной дозы в биологической ткани используют детекторы на основе материалов, способных ионизироваться при воздействии излучения подобно тканям организма человека. Это так называемые *тканеэквивалентные* детекторы, созданные, например, на основе полимерных сцинтилляторов.

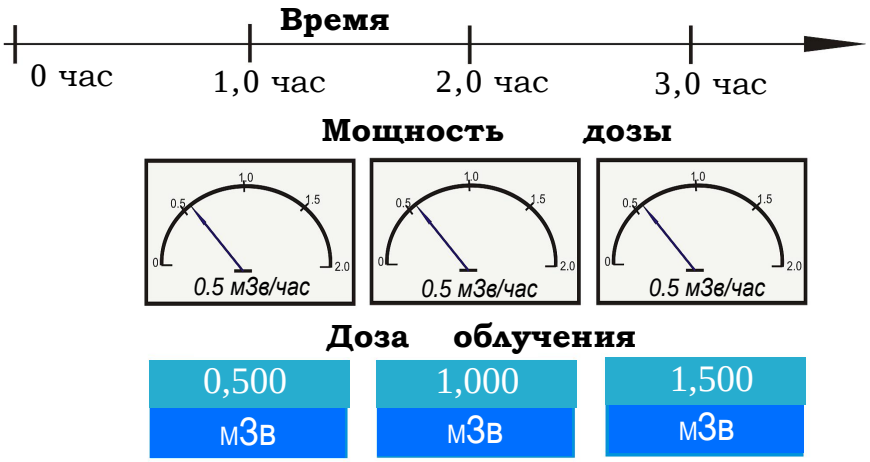
Индивидуальные дозиметры созданные на основе счетчика Гейгера-Мюллера, позволяют сразу оценивать эффективную дозу облучения человека.

Дозы внешнего облучения человека контролируют с помощью ***индивидуальных дозиметров***. Современные дозиметры позволяют определять эффективную дозу внешнего облучения организма человека и дают показания в *микрозивертах (мкЗв)* или *миллизивертах (мЗв)*. В приборах, с помощью которых определяется мощность дозы внешнего облучения, единицей измерения обычно служит *микрозиверт в час (мкЗв/час)*.



Дозиметры индивидуальные РМ1621/1621А

Взаимосвязь между мощностью дозы и дозой ионизирующего излучения



С помощью дозиметров нельзя измерять содержание радионуклидов в почве и уровень загрязнения продуктов питания. Такие измерения можно проводить с помощью *радиометров* и *спектрометров*.

Радиометры предназначены для определения содержания радионуклидов в образцах почвы, воды, продуктов питания и т. д. по величине измеренной активности радионуклидов в этих образцах.

В ***гамма-радиометрах*** обычно используют сцинтилляционные детекторы. В радиометре имеется специальный блок обработки, в котором на основе введенной информации о массе или объеме пробы по числу зарегистрированных прибором *гамма*-квантов определяется удельная активность измеряемой пробы. Прибор выдает показания в *Беккерелях на килограмм (Бк/кг)* или в *Беккерелях на литр (Бк/л)*.



Радиометр РГК-АТ1320

Для защиты от внешнего облучения образец вместе с детектором обычно размещают в свинцовом «домике»

Особые требования предъявляются к *защите* радиометра от фонового излучения, которое может исказить показания прибора. Чем меньше удельная актив-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Из чернобыльских радионуклидов в настоящее время основным источником *гамма*-излучения является ^{137}Cs

ность измеряемых образцов, тем выше требования, предъявляемые к качеству детектора и защиты прибора от фоновых излучений, не связанных с излучением исследуемого образца.

Счетчик излучения человека (***СИЧ***) является разновидностью радиометра и предназначен для измерения активности радиоактивного цезия (^{137}Cs), калия (^{40}K) и других гамма- излучающих радионуклидов в теле человека.



Счетчик излучения человека

Счетчик *гамма*-квантов, испускаемых радионуклидами, состоит из нескольких сцинтилляционных детекторов, которые установлены в кресле или другом устройстве для размещения человека. В результате измерений определяют активность радионуклидов, содержащихся в организме человека в момент измерения (в *Беккерелях*).

По активности радионуклидов и массе тела можно оценить удельную активность тела человека в *Беккерелях на килограмм (Бк/кг)*.

С помощью специально разработанных компьютерных программ (с учетом массы, роста, возраста, пола) можно также рассчитать, какую *эффективную дозу* получит человек в результате внутреннего облучения за любой промежуток времени (например, за год) при зарегистрированномсодержаниирадионуклидовв организме. В этом случае результаты обследования на установке ***СИЧ*** могут быть представлены в дозовых единицах — в *миллизивертах в год (мЗв/год)*.

При внутреннемоблучении дозу *1 мЗв* в год можно получить при накоплении ^{137}Cs в организме человека до уровня *200 Бк/кг*

Предельно допустимая эффективная доза облучения населения от чернобыльских радионуклидов, принятая в Республике Беларусь, составляет 1 мЗв в год в среднем за любые 5 лет.

Если результаты обследования показали, что эффективная доза при зарегистрированном содержании радиоактивного цезия в организме составляет *1 мЗв/год и выше*, это означает, что количество радионуклидов в организме достигло уровня, опасного для здоровья человека. Необходимо предпринять срочные меры для выведения радионуклидов из организма и снижения их поступления в организм. Медицинские работники дадут конкретные рекомендации, как это осуществить.

Если эффективная доза попадает в интервал значений *от 0,1 до 1 мЗв/год*, что соответствует содер-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

жанию ^{137}Cs в организме от *20 до 200 Бк/кг*, человек должен постараться самостоятельно снизить дозу внутреннего облучения своего организма . Особое внимание следует уделить качеству потребляемых продуктов питания и контролировать содержание в них радионуклидов в местных центрах радиационного контроля (МЦРК). При этом нужно стремиться к уровню *0,01 мЗв/год и ниже*, что соответствует содержанию ^{137}Cs в организме не более *10 Бк/кг*.

В случае загрязнения территории изотопом ^{90}Sr и *альфа*-излучающими изотопами *плутония* и *америция*, возникает необходимость в *бета*- и *альфа*-радиометрических измерениях.

Непосредственно измерить содержание *альфа*- и *бета*-излучающих радионуклидов в образцах почвы, воды, продуктов питания, как правило, не удается. Это связано с незначительным пробегом *альфа*- и *бета*-частиц в твердых и жидких веществах. В результате, основная часть *альфа*- и *бета*-частиц, излучаемых при распаде радионуклидов , которые находятся внутри образца, не достигает детектирующего устройства и не может быть зарегистрирована. В этом случае анализируемые образцы перед измерением подвергают радиохимическому анализу.

Спектрометры дают наиболее полную информацию о радиоактивном излучении . Они позволяют *определить энергетический спектр излучения*, то есть интенсивность излучения в зависимости от энергии составляющих его частиц или *гамма*-квантов.

Спектр каждого вида радионуклидов уникален, что позволяет определить , какие виды радионуклидов содержатся в пробе и каково содержание каждого из них в исследуемом образце.

В спектрометрах используют полупроводниковые или сцинтилляционные детекторы. Спектрометры — это наиболее сложные и дорогостоящие измерительные приборы.

В ***бета- и альфа-радиометрах*** обычно используют полупроводниковые или сцинтилляционные детекторы и измеряют активность радионуклидов в образах после радиохимической обработки исследуемых проб.



Гамма-бета спектрометр МКС АТ - 1315

3.3. ***Формирование доз внутреннего и внешнего облучения***

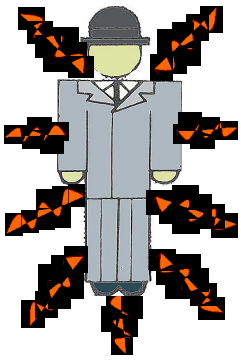
На протяжении своей жизни человек испытывает воздействие различных видов ионизирующего излучения.

Если источник излучения находится вне организма, человек подвергается *внешнему облучению*.

Внешнее облучение

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Внешнее облучение жителей Земли



Источники:

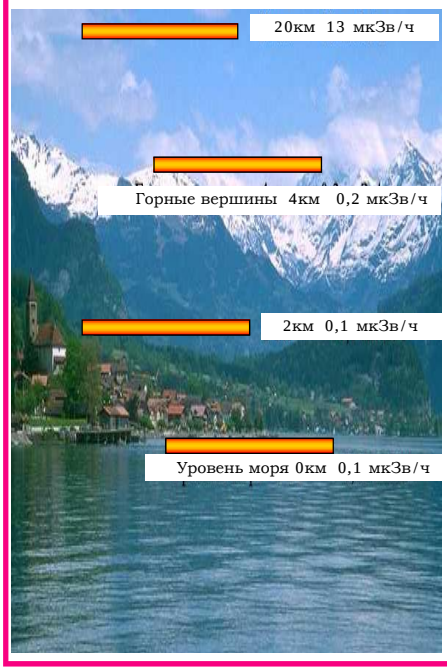
- космическое излучение
- радионуклиды земной коры
- медицинские источники
- промышленные источники

Жители Земли постоянно подвергаются внешнему воздействию *космического излучения*. Земная атмосфера поглощает основную часть космического излучения, и его интенсивность убывает с уменьшением высоты над уровнем моря. Поэтому жители горных районов получают повышенные (по сравнению с жителями равнин) дозы от космического излучения. В среднем, эффективная доза от космического излучения для жителей Земли составляет 0,4 мЗв в год, а для жителей высокогорных районов — в несколько раз больше.

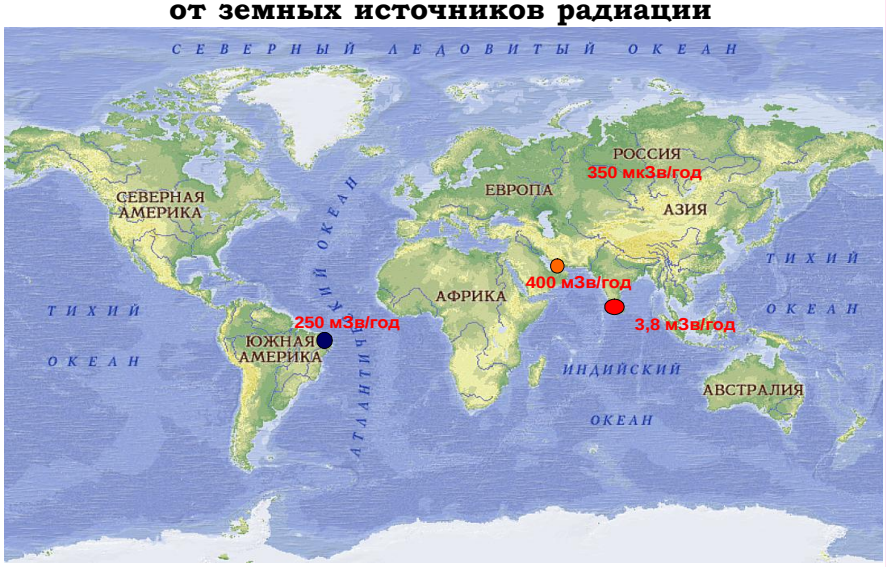
Путешествуя самолетом и отправляясь в космос, человек также получает повышенные дозы от космического излучения, которые заметно превосходят дозы, получаемые им в обычных условиях жизни. Так, во время путешествия на воздушном лайнере, летящем на высоте 10 км, экипаж и пассажиры самолета получают дозу от внешнего облучения 0,005 мЗв в час.

Ионизирующие излучения, сопровождающие распад радионуклидов, которые содержатся в земной коре, в окружающем воздухе, растительности, воде рек и озер, также облучают нас извне. Принимая солнечные ванны, обследуясь в рентгеновском кабинете, мы снова и снова подвергаемся внешнему облучению. На работе и дома людей окружают самые разнообразные источники излучения.

Мощность дозы от космического излучения на разной высоте над уровнем моря



Средние эффективные дозы внешнего облучения от земных источников радиации



Средняя эффективная доза внешнего облучения жителей Республики Беларусь, Украины, средней полосы европейской части Российской Федерации от земных источников радиации составляет 0,35 мЗв в год. Однако есть места на земном шаре, где уровни радиации значительно выше, например, на побережье юго-западной Индии, в Бразилии (неподалеку от города Посус-ди-Калдас), Иране (вблизи города Рамсер).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Внутреннее облучение

Вместе с пищей, водой и вдыхаемым воздухом радионуклиды могут попасть внутрь организма. Облучение в результате попадания радионуклидов внутрь организма, называют *внутренним*.

Внутреннее облучение вызывает ионизирующее излучение, сопровождающее распад радионуклидов, попавших внутрь организма.

В среднем, годовая эффективная доза жителя Земли, получаемая от всех естественных источников ионизирующего излучения, составляет 2,4 мЗв. Более 60 % этой эффективной дозы связано с радионуклидами, которые поступают в организм с пищей, водой, атмосферным воздухом и обуславливают *внутреннее облучение* организма человека. Остальные 40 % дозы приходятся на *внешнее облучение*, которое, в основном, связано с космическим излучением и *гамма*-излучением радионуклидов земной коры.

Радионуклиды естественного происхождения поступают в организм человека:

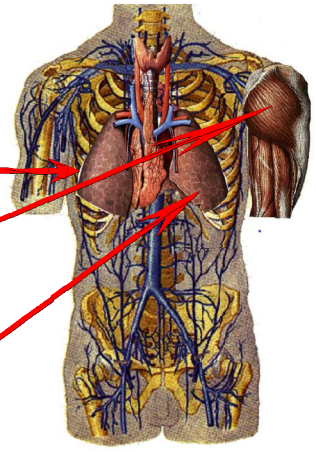
- *вместе с вдыхаемым воздухом*:
  - Ø *изотопы* **радона** (^{222}Rn, ^{220}Rn), являющиеся промежуточными членами естественных радиоактивных семейств урана и тория,
  - Ø *радиоактивный* **углерод** (^{14}C) и **тритий** (^{3}T), которые образуются в верхних слоях атмосферы под действием космического излучения, и др.;
- *с пищей и водой*:
  - Ø радионуклиды, входящие в состав естественных радиоактивных семейств (^{238}U, ^{232}Th, ^{235}U) и продукты их радиоактивного распада,
  - Ø *радиоактивные изотопы* **калия** (^{40}K).

Радионуклиды концентрируются:

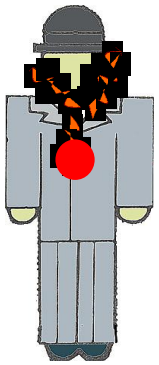
Ø *радий и полоний* — ***в костной ткани***;

Ø *радиоактивные изотопы углерода и калия* — ***в мышцах***;

Ø *радон и продукты его распада* — ***в легких***.



Внутреннее облучение жителей Земли



Способы поступления радионуклидов в организм человека:

- *ингаляционный* (через органы дыхания)
- *пероральный* (с пищей и водой)
- *через кожу, слизистые оболочки глаз*

За 55 лет жизни доза облучения человека в результате попадания в его организм радионуклидов естественного происхождения в среднем составляет 10 мЗв.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Интересно, что...

Радионуклиды ^{210}Pb и ^{210}Po могут также поступать в организм:

- *с морепродуктами* (морской рыбой, моллюсками, креветками и др., которые извлекают эти элементы из морской воды);
- *с мясом северного оленя*. Радионуклиды поступают в организм животных преимущественно зимой, когда основной пищей оленей становятся лишайники, обладающие способностью накапливать полоний и свинец из почвы.

Люди, живущие в Западной Австралии, где отмечается повышенное содержание в почве природного урана, получают дозы облучения в 75 раз превосходящие средний уровень доз, получаемых жителями Земли. Это связано с употреблением в пищу местными жителями мяса и внутренностей овец и кенгуру, в организме которых накапливается уран. Эти животные, в основном, питаются травой, куда уран поступает из почвы.

В течение жизни жители Земли дополнительно облучаются и от источников ионизирующего излучения искусственного происхождения, получая, в среднем, эффективную дозу 0,4 мЗв в год.

В основном, это источники ионизирующего излучения медицинского назначения. В процессе хозяйственной деятельности человек дополнительно облучается и от промышленных устройств и установок, где применяются радиоактивные вещества.

В результате использования радионуклидов исскуственного происхождения увеличивается радиоактивное загрязнение окружающей среды.

Ежегодно человек получает:
- от *природных* источников излучения ~ *86 %*
- от искусственных источников излучения ~ *14 %*

суммарной дозы внешнего и внутреннего облучения

Радионуклиды искусственного происхождения, попавшие на поверхность Земли (например, в результате радиационной аварии), *перераспределяются* в окружающей среде и, наряду с естественными радионуклидами, воздействуют на организм человека.

Мелкие частицы почвы вместе с содержащимися в них радионуклидами поднимаются ветром и загрязняют атмосферный воздух. Из почвы радионуклиды попадают в поверхностные и грунтовые воды, усваиваются наземными и водными растениями. Растения служат кормом животным, а их, в свою очередь, поедают другие животные. Человек употребляет в пищу продукты животного и растительного происхождения, и по пищевым цепочкам радионуклиды попадают в его организм.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Примеры пищевых цепочек, по которым радионуклиды естественного и искусственного происхождения могут поступать в организм человека:

- Ø почва → продукты растительного происхождения (хлеб, овощи, фрукты) → ***человек***
- Ø почва → растительность → молочный скот → молоко и молочные продукты → ***человек***
- Ø почва → растительность → животное → мясные продукты → ***человек***
- Ø водоем → водные организмы растительного и животного происхождения, служащие кормом для рыбы и других обитателей водоема → рыба (ракообразные и т. д.) → ***человек***

На радиоактивно загрязненной территории организм человека подвергается дополнительному облучению — внутреннему и внешнему

Дополнительное облучение человека на радиоактивно загрязненной территории

Внешнее облучение

в основном, *обусловлено гамма-излучающими радионуклидами.*

В первый период после Чернобыльской катастрофы (апрель-май 1986 года) радиационную обстановку в пострадавших районах Беларуси преимущественно определяли радионуклиды с коротким периодом полураспада, среди которых важную роль играл изотоп ^{131}I ($T_{1/2}$ = 8 дней).

В настоящее время, когда радионуклиды с периодом полураспада до 2 лет практически полностью распались, внешнее облучение населения загрязненных районов, в основном, определяет долгоживущий изотоп ^{137}Cs ($T_{1/2} \approx 30$ лет).

Внутреннее облучение

обусловлено попаданием радиоактивных веществ внутрь организма с продуктами питания и водой, а также в процессе дыхания. Излучение радионуклидов приводит к облучению внутренних органов и тканей, определяя дозу внутреннего облучения человека.

В настоящее время в районах, пострадавших от Чернобыльской катастрофы, внутреннее облучение населения, в основном, связано с загрязнением продуктов питания ^{137}Cs. В некоторых районах, где в почве присутствует изотоп ^{90}Sr, он также может попадать в организм человека и облучать его изнутри.

Чтобы оценить дозы, получаемые человеком от каких-либо радионуклидов, необходимо учесть тот сложный путь, который проходят радионуклиды в окружающей среде. Возможные способы перераспределения радионуклидов в природе и пути их проникновения в организм человека в самом общем виде показаны на рисунке, приведенном на следующей странице.

Безусловно, эта схема далеко не полностью отражает сложные процессы *миграции* радионуклидов в природе. Под миграцией обычно понимают не только процессы *перераспределения* радионуклидов между компонентами окружающей среды, но и их *химическое преобразование*, т. е. переход из состава одних химических соединений в состав других химических соединений.

Реальная картина перераспределения радионуклидов в окружающей среде гораздо сложнее. Тем не менее,

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

на схеме показаны компоненты среды, играющие наиболее важную роль в поступлении радионуклидов в организм человека.



Используя эту схему, можно оценить дополнительные дозы облучения населения от радионуклидов, попавших в окружающую среду в результате радиационной аварии. Для этого необходимо знать, какая доля радионуклидов, содержащихся в том или ином природном компоненте, может включаться в последующие преобразования и, в конечном счете, поступать в организм человека.

Коэффициент перехода (**КП**)

Перераспределение радионуклидов между компонентами экосистемы характеризуют с помощью ***коэффициентов перехода*** (***КП***).

Например, *коэффициент перехода* может использоваться для характеристики поступления конкретных радиоизотоповиз почвы в растительность В этом случае *коэффициент перехода* представляет собой отношение удельной активности образца растительности (***$A_р$***, *Бк/кг*) к удельной активности образца почвы в том месте, где произрастала растительность (***$A_п$***, *Бк/кг*):

$$\mathbf{КП} = A_р\ (\text{Бк/кг}) / A_п\ (\text{Бк/кг})$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Коэффициенты перехода могут быть определены для каждого звена пищевых цепочек. Величины коэффициентов перехода радионуклидов получают в результате многолетних исследований. Накопленная информация помещается в специальные справочные руководства по дозиметрии.

В последних нормативных документах по радиационной безопасности (НРБ - 2000) можно найти величины, так называемых, *дозовых коэффициентов*, рассчитанные на основании имеющихся данных. С их помощью можно оценивать эффективные дозы облучения человека от радионуклидов, поступающих в его организм с пищевыми продуктами и вдыхаемым воздухом. Для этого нужно знать активность конкретных радиоизотопов, поступивших в организм тем или иным способом.

Дозовый коэффициент — это эффективная доза, полученная человеком от радиоизотопа, присутствующего:

- *в окружающем воздухе*
- *в пищевых продуктах*

в расчете на *1 Бк* активности радиоизотопа.

Пример *6*. Оценим годовую эффективную дозу внутреннего облучения взрослого человека (старше 17 лет) от ^{137}Cs, поступившего в организм в течение года с *10* ***кг*** грибов, удельная активность которых по ^{137}Cs составляет *370* ***Бк/кг***, что соответствует их нормативному уровню загрязнения.

Определим вначале суммарную активность радиоизотопа (**А**), поступившего в организм в течение года. Она равна произведению удельной активности грибов на массу грибов, потребленных за год:

$$\mathbf{A} = 370\ \mathbf{Бк/кг} \cdot 10\ \mathbf{кг} = 3\ 700\ \mathbf{Бк}$$

Теперь оценим годовую эффективную дозу внутреннего облучения, полученную человеком за счет потребления этих грибов.

Дозовый коэффициент (Д) для ^{137}Cs, поступающего в организм взрослого человека с продуктами питания, согласно НРБ-2000, составляет $1{,}3 \cdot 10^{-8}$ ***Зв/Бк***. Умножив дозовый коэффициент на активность радиоактивного цезия, содержащегося в *10 кг* грибов, мы получим *годовую эффективную дозу* внутреннего облучения организма взрослого человека от ^{137}Cs, поступившего в организм с грибами:

$$\mathbf{E} = \mathbf{Д} \cdot \mathbf{A} = 1{,}3 \cdot 10^{-8}\ \mathbf{Зв/Бк} \cdot 3\ 700\ \mathbf{Бк} = 4{,}8 \cdot 10^{-5}\ \mathbf{Зв} = 0{,}048\ \mathbf{мЗв}$$

Полученная *эффективная доза* составляет 4,8 % от допустимой годовой эффективной дозы облучения человека чернобыльскими радионуклидами, которая равна *1* ***мЗв***.

Аналогичным образом можно рассчитать *годовую эффективную дозу* внутреннего облучения, полученную человеком при потреблении других продуктов питания, загрязненных ^{137}Cs, и оценить, превышен ли этот установленный уровень. В настоящее время облучение населения от радионуклидов, выпавших в результате Чернобыльской катастрофы, в основном, происходит за счет их поступления в организм с продуктами питания.



Итак

В этой главе Вы познакомились с основными величинами, характеризующими радиоактивное загрязнение окружающей среды и величинами, позволяющими оценивать степень воздействия ионизирующего излучения на организм человека (дозиметрические величины).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Основные дозиметрические величины, единицы измерения и соотношение между ними

Величина, обозначение	*Единица измерения*		
	СИ	*традиционная*	*соотношение*
Активность, **A**	Бк	Ки	1 Ки = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк
Энергия излучения, E_R	Дж	эВ	1 эВ = $1,60210^{-19}$ Дж
Поглощенная доза, D (для любого облучаемого объекта)	Гр	Рад	1 рад = $1 \cdot 10^{-2}$ Гр
Эквивалентная доза, **H** (для органа или биологической ткани человека)	Зв	бэр	1 бэр = 10^{2} Зв
Эффективная доза, **E** (для организма человека в целом)	Зв	отсутствует	

После того, как была открыта радиоактивность, выделены и изучены радионуклиды естественного происхождения, были созданы и искусственные источники ионизирующего излучения, которые все шире используются в медицине, науке и технике, промышленности и сельском хозяйстве, принося пользу людям. Безусловно , использование подобных источников приводит к увеличению дозы облучения , как для отдельных людей, так и для всей популяции человека. Однако польза от их применения примиряет человечество с подобными последствиями технического прогресса.

Активность радионуклидов в различных компонентах окружающей среды измеряют с помощью различных видов радиометров и спектрометров.

Дозы внешнего облучения человека контролируют с помощью индивидуальных дозиметров.

Уметь правильно оценивать дозы, получаемые человеком от любых источников ионизирующего излучения, чрезвычайно важно. Это позволяет определять, какую дополнительную дозу облучения люди получают от искусственных источников излучения, с которыми им приходится иметь дело, по сравнению с теми источниками, которые окружали людей на протяжении всей истории существования человечества.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Это также помогает определять степень опасности того или иного источника излучения и меры, которые, в случае необходимости, следует предпринимать, чтобы снизить облучение организма человека.

Вопросы для самоконтроля и обсуждения:

1. Что такое поглощенная доза?
2. Можно ли измерить поглощенную дозу?
3. Чем отличается воздействие *гамма*-излучения от воздействия *альфа*-излучения на биологические объекты?
4. Для чего предназначены весовые множители излучения?
5. Что такое эквивалентная доза облучения? Можно ли ее измерить?
6. С какой целью введена эффективная доза облучения? В каких единицах она выражается?
7. Что такое тканевый весовой множитель?
8. Приведите примеры источников внешнего облучения организма человека ионизирующим излучением естественного и искусственного происхождения.
9. Назовите возможные способы проникновения радиоактивных веществ в организм человека.
10. Какие приборы используют для измерения уровня радиоактивного загрязнения продуктов питания? На чем основана работа этих приборов?
11. Какие устройства используют для определенияэффективной дозы внешнего облучения человека?



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Глава 4

РАДИАЦИОННЫЙ ФОН ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Ключевые слова и словосочетания: радиационный фон, космическое излучение, земная радиация, искусственные источники ионизирующего излучения

Радиация существовала в Космосе задолго до возникновения Солнечной системы и присутствовала на Земле еще до зарождения на ней жизни. Человек живет в мире, неотъемлемой частью которого являются излучения. Окружающий мир наполнен различного рода излучениями как неионизирующими, так и ионизирующими. Ионизирующие излучения существуют в природе и могут быть получены человеком искусственно. Излучения природного происхождения определяют естественный радиационный фон окружающей среды, искусственно полученные излучения увеличивают его. Определение роли природных и антропогенных факторов в формировании радиационного фона окружающей среды — важнейшая задача радиоэкологии

Изучив главу...



Вы узнаете о природе ионизирующих излучений космического и земного происхождения, познакомитесь с источниками излучения, созданными человеком. Вы также узнаете об изменениях радиационного фона, происходящих на поверхности Земли под влиянием природных факторов и в результате деятельности человека.

4.1. Космическое излучение

Космическое излучение является ионизирующим излучением естественного происхождения. Оно приходит к Земле из далекого космического пространства и поступает с ближайшей к нам звезды — Солнца. Все, что находится на поверхности Земли, подвергается воздействию космического излучения.

В целом космическое излучение включает *корпускулярную* и *фотонную* составляющие.

Корпускулярная составляющая космического излучения — это поток элементарных частиц и атомных ядер космического происхождения.

Фотонная составляющая космического излучения — это фотоны (кванты электромагнитного излучения) различной энергии.

Различают космическое излучение ***галактического*** и ***солнечного*** происхождения. При этом выделяют *первичное* космическое излучение, которое поступает в околоземное пространство из Космоса, и *вторичное излучение*, которое возникает при взаимодействии космического излучения с атмосферой Земли.

Согласно гипотезе В.Л. Гинзбурга и И.С. Шкловского, галактические частицы образуются в Галактике при взрывах новых и сверхновых звезд. Появляющиеся в результате этих взрывов нейтронные звезды также являются источниками космического излучения.

Первичное космическое излучение

Первичное космическое излучение состоит из излучения галактического и солнечного происхождения.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Космическое излучение галактического происхождения состоит, в основном, из ядер водорода (протонов) и гелия (альфа-частиц), а также включает ядра атомов более тяжелых элементов (преимущественно с зарядом ядра Z от 3 до 28) и незначительное количество других частиц.

Состав частиц первичного космического излучения галактического происхождения

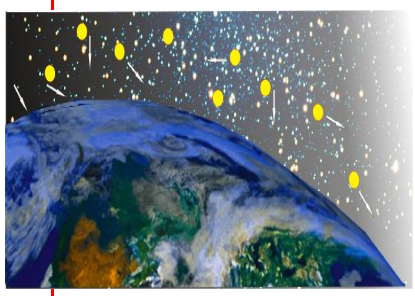


В состав галактического излучения в *незначительном количестве* (< 0,1 %) входят:

- *ядра атомов с Z > 28*
- *нейтроны*, неустойчивые в свободном состоянии, основная часть которых распадается с образованием протонов и электронов
- *электроны и др. частицы*, основная часть которых вместе с *гамма*-квантами поглощается космической пылью

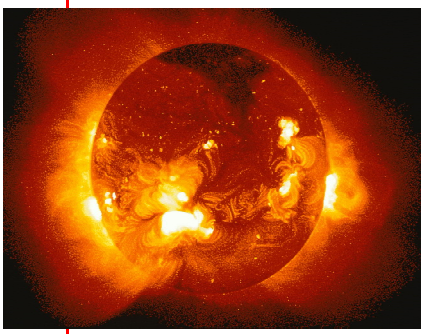
Образующиеся в разных местах Галактик космические частицы преодолевают гигантские расстояния. При этом они ускоряются существующими в Космосе магнитными полями, приобретая огромную энергию ($10^5 - 10^{12}$ *МэВ*). Частицы также многократно рассеиваются магнитными полями, которые ориентированы в космическом пространстве случайным образом. Поэтому у галактических частиц, поступающих в околоземное пространство, нет какого-либо преимущественного направления движения. Поток галактических частиц со всех сторон равномерно поступает из Космоса на Землю.

Поток галактических частиц со всех сторон поступает из Космоса на Землю



Космическое излучение солнечного происхождения (солнечная радиация) является главным источником энергии для большинства биогенных и геохимических процессов, протекающих у поверхности Земли.

Солнце — главный источник космической радиации на Земле



Солнечная радиация состоит из электромагнитного излучения (электромагнитная компонента) и потока частиц (корпускулярная компонента).

Электромагнитная часть солнечного излучения, в основном, представлена видимым светом. Вместе с тем, электромагнитная составляющая включает и невидимые компоненты (инфракрасное, ультрафиолетовое и другие виды излучения).

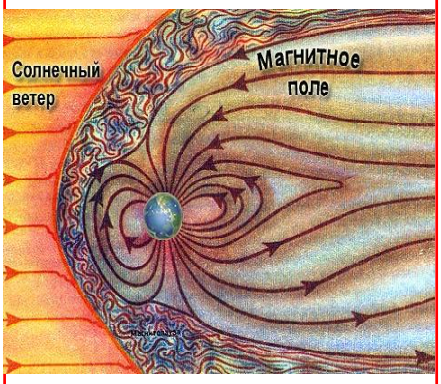
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Корпускулярная составляющая солнечного излучения представлена преимущественно ***протонами***, влетающими в околоземное пространство со скоростью от 300 до 1 500 км/с, и ***электронами***, движущимися со скоростью, близкой к скорости света (~ 300 000 км/с). Кроме того, в потоке солнечных частиц присутствуют ядра гелия (*альфа*-частицы) и в гораздо меньшем количестве — ядра других более тяжелых элементов.

Источником солнечной энергии являются процессы ядерного синтеза, протекающие на Солнце. Основная часть энергии выделяется в результате синтеза ядер гелия из ядер водорода. Выделяющаяся энергия уносится образующимися ядрами, элементарными частицами и фотонами (квантами электромагнитного излучения).

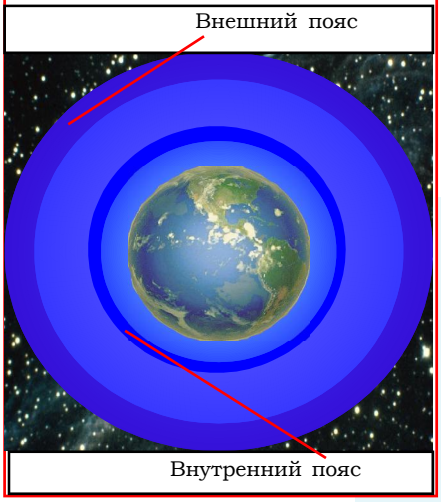
Поток частиц солнечного происхождения в околоземном пространстве намного превосходит поток частиц галактического происхождения, однако по энергии солнечные частицы значительно уступают частицам галактического происхождения. Энергия частиц солнечного происхождения обычно составляет от *10 до 100 МэВ*.

Магнитное поле Земли



Наша планета — это огромный магнит. Магнитное поле Земли (*геомагнитное поле*) простирается на расстояние 70 - 80 тыс. км по направлению к Солнцу и на многие миллионы километров в противоположном направлении. Геомагнитное поле захватывает протоны, электроны и другие заряженные частицы из потока космических частиц, пролетающих в околоземном пространстве, образуя *магнитосферу — пространство, заполненное заряженными частицами*. В основном магнитосферу заполняют частицы, захваченные геомагнитным полем из потока частиц, которые излучает Солнце (*солнечный ветер*).

Радиационные пояса Земли



Магнитосфера неоднородна по магнитным свойствам и разные ее части отличаются по способности захватывать заряженные космические частицы. В результате, формируются радиационные зоны или радиационные пояса Земли. Каждая зона включает заряженные частицы определенного вида и энергии.

Электроны и протоны, удерживаемые геомагнитным полем, образуют *внутренний* и *внешний* радиационные пояса Земли. *Внутренний радиационный пояс* состоит преимущественно из высокоэнергетических *протонов*. Их максимальная плотность наблюдается над экваториальной областью планеты, на высоте около 3 500 км.

Внешний радиационный пояс удален от Земли на расстояние от 1 до 8 ее радиусов и состоит из потоков

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

электронов и *протонов* с максимальной плотностью частиц на расстоянии 22 000 км от земной поверхности. (Средний радиус Земли R = 6 367 км).

Движение заряженных космических частиц создает *электрическое поле*. Поэтому Землю окружает не только магнитное, но и электрическое поле, которое простирается на расстояние до 20 000 км от поверхности планеты.

Магнитное поле отклоняет основную часть заряженных частиц, движущихся в направлении Земли. Однако при определенных направлениях электрических и магнитных полей в районе полюсов магнитосфера ведет себя как магнитная ловушка. Она «открывается» и улавливает часть заряженных космических частиц, заполняющих радиационные пояса. В результате, в области полюсов наблюдается *полярное сияние*.

Полярное сияние



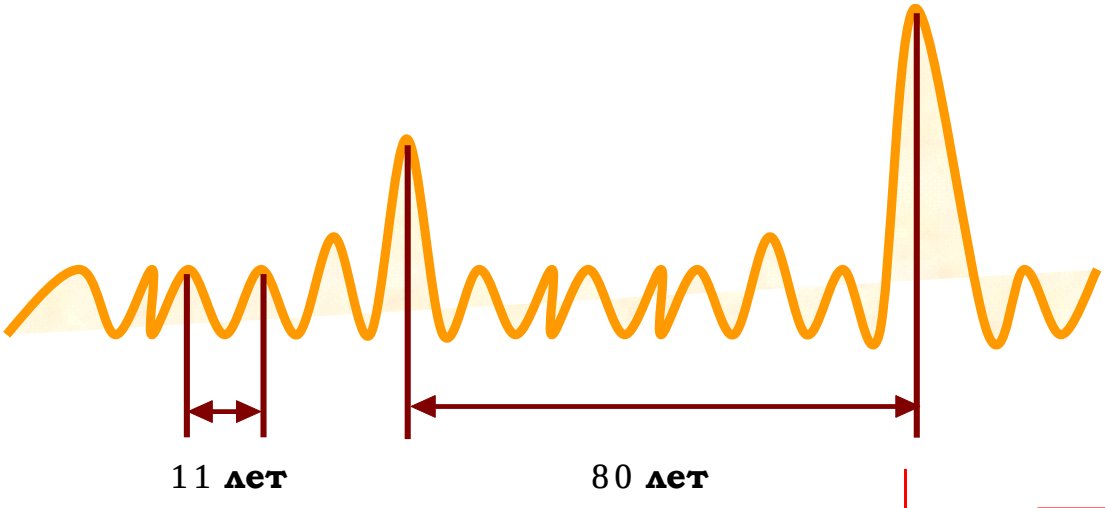
Геомагнитное поле, как и гравитационное, оказывает огромное влияние на все процессы, происходящие на Земле и в околоземном пространстве. С изменениями солнечной активности происходят изменения и геомагнитного поля, которые называют *геомагнитными возмущениями*.

Интенсивность солнечной радиации существенно зависит от солнечной активности, которая периодически меняется.

Сонечную активность определяют процессы ядерных превращений, протекающих на Солнце

Периодические изменения солнечной активности наблюдают, в среднем, через 11 лет, хотя этот период может сокращаться до 7,5 или увеличиваться до 16 лет. Значительно реже, в среднем, через каждые 80 лет, отмечают более существенные изменения солнечной активности.

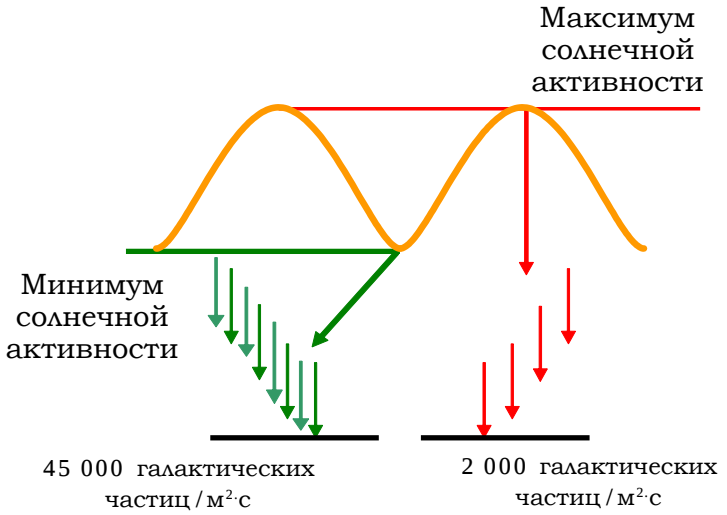
Периодические изменения солнечной активности



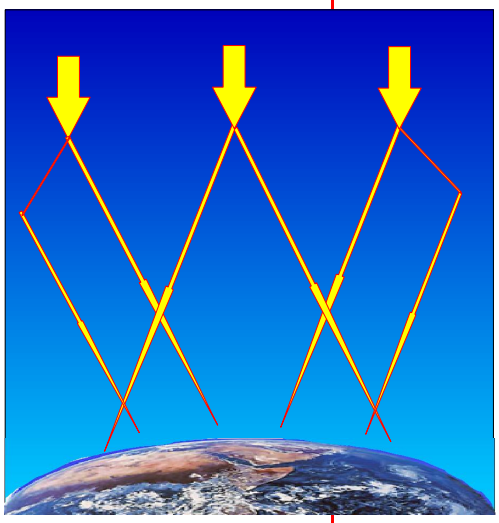
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Солнечная активность влияет и на интенсивность галактического излучения в околоземном пространстве.

Поток галактических частиц *уменьшается в периоды максимумов* и *возрастает в периоды минимумов* солнечной активности. В зависимости от фазы солнечной активности каждую секунду площадку в 1 м^2 на внешней границе атмосферы Земли пересекает от 2 000 до 45 000 галактических частиц.



Вторичное космическое излучение



Большая часть первичного космического излучения галактического и солнечного происхождения поглощается в верхних слоях атмосферы.

При попадании в атмосферу частицы первичного космического излучения сталкиваются с ядрами атомов, входящих в состав атмосферы, что может приводить к ядерным превращениям. В результате происходящих ядерных реакций образуется большое количество *вторичных космических частиц* — нейтронов, «осколков» ядер, электронов и других элементарных частиц. Весь этот комплекс ядерных превращений сопровождается испусканием *гамма*-излучения.

Вторичное космическое излучение представляет собой поток вторичных космических частиц вместе с гамма-излучением, сопровождающим процессы ядерных превращений в атмосфере под влиянием первичного космического излучения.

Только небольшая часть *вторичного* космического излучения достигает поверхности Земли. Основная его часть поглощается атмосферой.

Среди частиц *вторичного* космического излучения важную роль играют ***нейтроны***. Их содержание в атмосфере достигает наибольшей величины на высоте примерно 12,5 км над уровнем моря и с уменьшением высоты заметно убывает.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Быстрые нейтроны, обладающие высокой энергией и образующиеся, в основном, на высоте 9 – 12 км, теряют свою энергию при столкновениях с ядрами атомов атмосферы и могут участвовать в ядерных превращениях.

Большая часть нейтронов взаимодействует с ядрами атомов азота (^{14}N), при этом, в зависимости от энергии нейтронов протекают различные ядерные реакции . Основным продуктом взаимодействия является радиоактивный изотоп углерода ^{14}C (период полураспада 5 730 лет).

В гораздо меньших количествах образуется радиоактивный изотоп водорода тритий $^{3}\boldsymbol{T}$ с периодом полураспада 12,5 лет и стабильный изотоп гелия $^{3}\boldsymbol{He}$. Этот редкий изотоп гелия образуется только при радиоактивном распаде трития.

В остальных реакциях с ядрами азота и другими атомами атмосферы участвует лишь незначительная часть нейтронов (не более 2 – 3 %).

В периоды повышения солнечной активности интенсивность потока солнечного излучения, достигающего земной поверхности, заметно возрастает. Это отражается на работе многих наземных приборов и оказывает воздействие на все живое, особенно на высших представителей животного мира, включая человека. Отмечено, что в периоды *магнитных бурь* у жителей Земли резко возрастает число сердечно - сосудистых заболеваний.

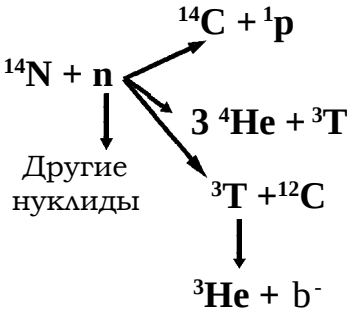
Таким образом , наша планета защищена от интенсивной космической радиации магнитным полем и атмосферой . Отсутствие магнитного поля очень быстро привело бы к практически полной ионизации атмосферного воздуха, и жизнь на Земле, скорее всего, стала бы невозможна.

Степень защищенности от космической радиации зависит от особенностей геомагнитного поля в данной точке планеты. Наиболее защищены экваториальные области планеты, наименее — районы, прилегающие к Северному и Южному полюсам, где сходятся магнитные силовые линии.

Поскольку атмосфера Земли поглощает космическое излучение, с уменьшением высоты над уровнем моря его интенсивность убывает.

Годовая эффективная доза, получаемая жителями Земли от космического излучения, в среднем, составляет 0,4 мЗв, хотя она может меняться в зависимости от высоты местности над уровнем моря. Эта доза составляет при-

При взаимодействии нейтронов вторичного космического излучения с ядрами азота атмосферы могут образоваться:



Среди образующихся в атмосфере радионуклидов изотоп ^{14}C вносит основной вклад в облучение организма человека.

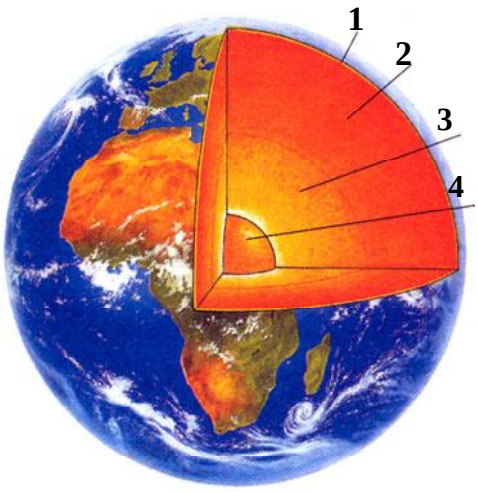
При попадании в организм он обуславливает, в среднем, годовую индивидуальную эффективную дозу около 0,012 **мЗв**.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

мерно 17 % суммарной дозы, получаемой людьми от всех естественных источников радиации

4.2. Радиация земной коры

Схема внутреннего строения Земли



1 - кора, 2 - мантия, 3 - наружное жидкое ядро, 4 - внутреннее ядро

При образовании нашей планеты в ее состав вошли уже присутствовавшие в Галактике элементы, в том числе и радионуклиды. Со временем часть этих радионуклидов распалась, и сейчас на планете можно встретить лишь те из них, которые не успели подвергнуться радиоактивному распаду за время существования Земли.

Жизнь на Земле, в основном, сосредоточена у поверхности самой верхней оболочки планеты — земной коры. Поэтому все организмы подвергаются воздействию излучения радионуклидов, которые содержатся в почве, кристаллических породах и других природных образованиях земной коры. Излучение радионуклидов более глубоких слоев планеты поглощается верхними оболочками Земли и не достигает поверхности

Воды поверхностных водоемов, приземные слои атмосферы и сами живые организмы также содержат, хотя и в незначительных количествах, радионуклиды, которые попали в них из земной коры.

Излучение радионуклидов земной коры и всех природных образований, в которые радионуклиды попали из земной коры, создают ***естественный радиационный фон земной коры***.

Периоды полураспада основных радионуклидов земной коры

Радионуклид	Период полураспада
^{238}U	$4{,}47 \cdot 10^{9}$ лет
^{232}Th	$1{,}41 \cdot 10^{10}$ лет
^{40}K	$1{,}28 \cdot 10^{9}$ лет
^{87}Rb	$4{,}8 \cdot 10^{10}$ лет
^{234}U	$2{,}45 \cdot 10^{5}$ лет
^{235}U	$7{,}04 \cdot 10^{8}$ лет

Из радиоактивных нуклидов наиболее часто в земной коре встречаются ^{238}U, ^{232}Th, ^{40}K и ^{87}Rb. В среднем, содержание каждого из этих радионуклидов в земной коре превышает 2 г/т.

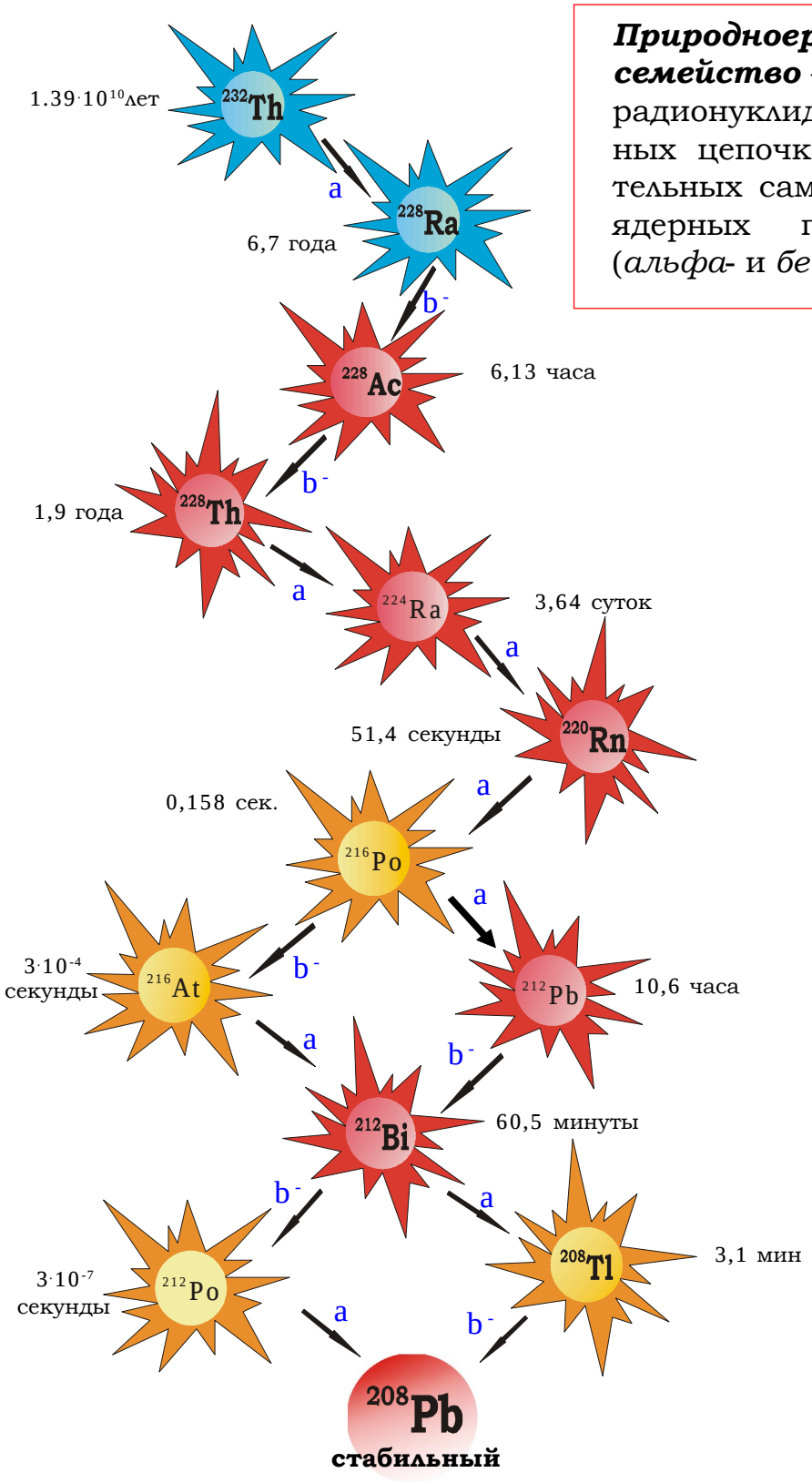
Природные радиоактивные семейства

Радиоактивные элементы ^{238}U, ^{232}Th и менее распространенный ^{235}U являются родоначальниками *природных радиоактивных семейств*. Все промежуточные члены этих семейств, образующиеся в результате цепочки последовательных радиоактивных распадов атомных ядер, радиоактивны. Конечные продукты цепи радиоактивных превращений стабильны. Это изотопы свинца. Практически весь свинец, который встречается на Земле, образовался в результате распада урана и тория.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

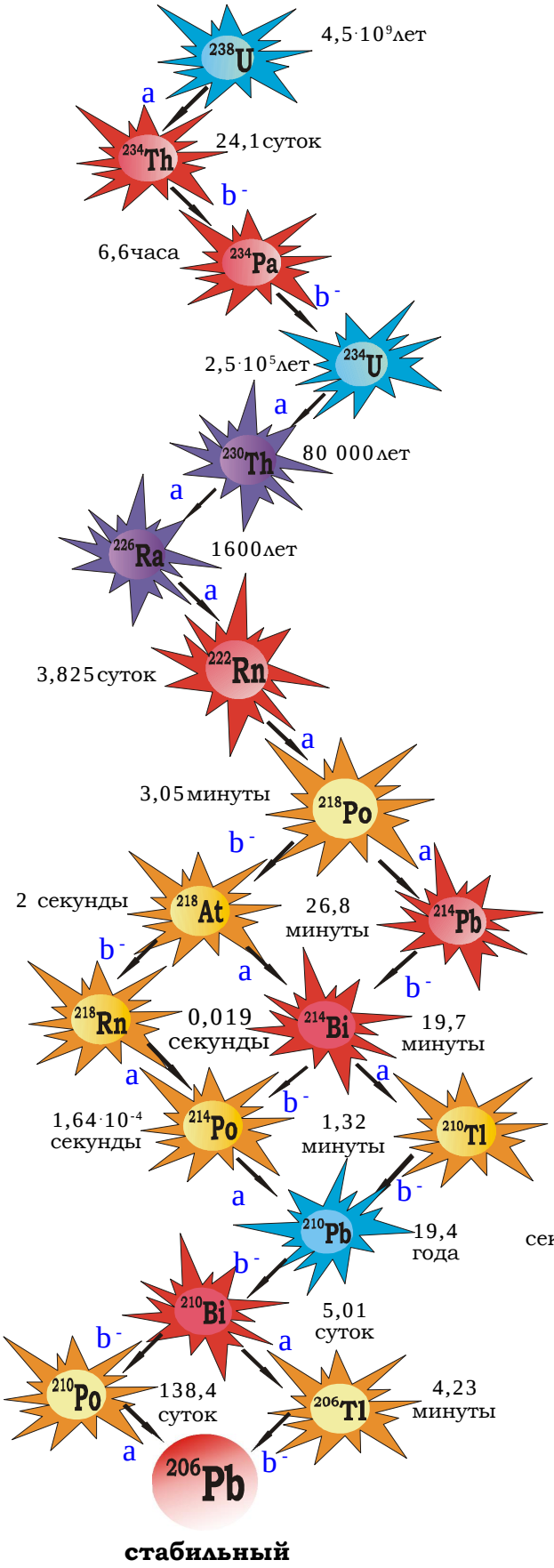
Радиоактивное семейство ^{232}Th

Природноерадиоактивное семейство — это группа радионуклидов, объединенных цепочкой последовательных самопроизвольных ядерных превращений (*альфа-* и *бета* - распадов).

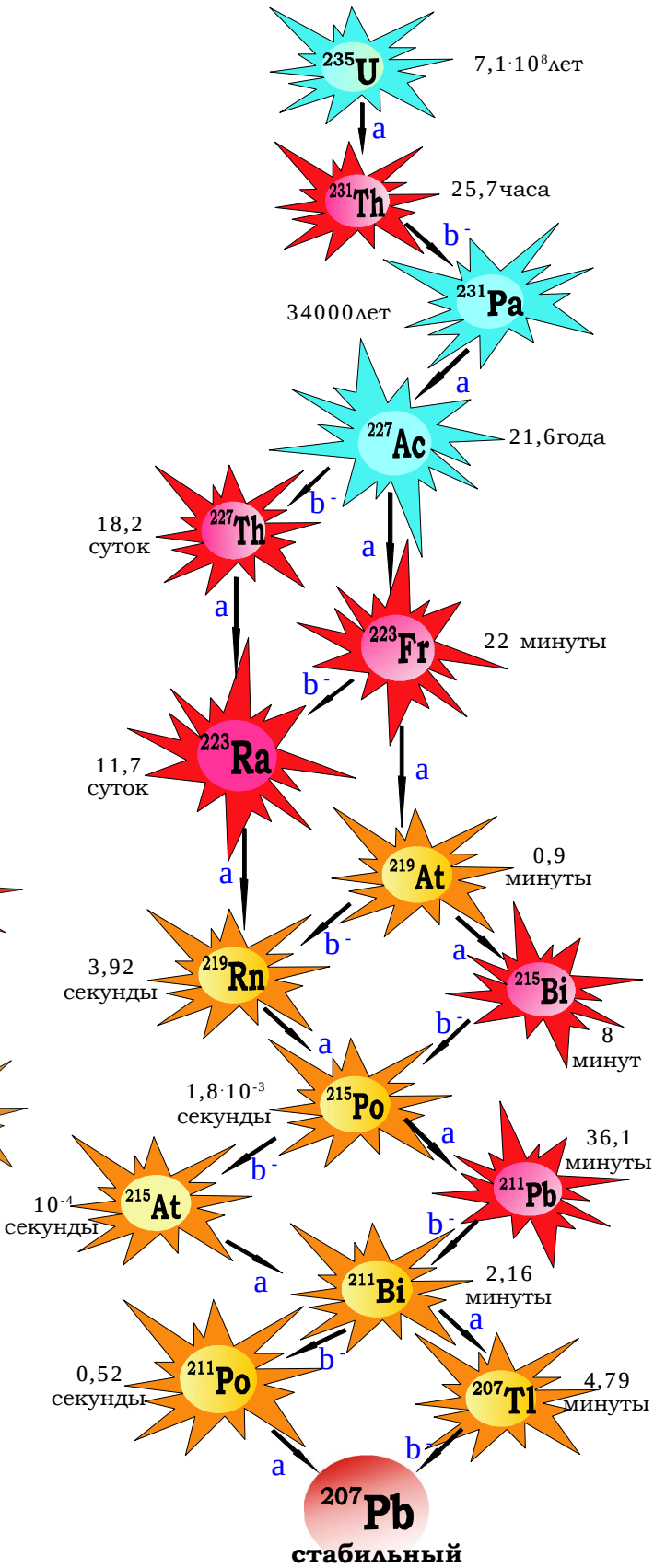


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Радиоактивное семейство ^{238}U



Радиоактивное семейство ^{235}U



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Естественный радиационный фон земной коры зависит от геологической структуры местности. Тип горных пород и глубина их залегания существенно влияют на величину радиационного фона у поверхности Земли.

Уран и торий в относительно большом количестве содержатся в гранитах. В тех местах земного шара, где эти породы располагаются ближе к поверхности, уровень радиационного фона местности выше (например, во французских Альпах, Закарпатье, Финляндии, Швеции, Норвегии).

Уран, U

Торий, Th

Содержание радионуклидов неодинаково и в почвах, сформированных на разных породах.

Глинистые почвы, по сравнению с песчаными разновидностями почв, обычно формируются на породах, более богатых радионуклидами естественного происхождения, поэтому глинистые почвы, как правило, содержат больше естественных радионуклидов, чем песчаные. Исключение составляют монацитовые пески, которые встречаются на побережье Индии, Бразилии, США (Айдахо, Флорида). Подобные пески отличаются повышенным содержанием ***тория***. Концентрация этого радиоактивного элемента в монацитовых песках достигает 5 –10 % (в расчете на ThO_2), что обуславливает более высокий радиационный фон в местах их распространения.

Основная часть населения Земли живет в местах, где годовая доза облучения от радионуклидов земной коры составляет $0,3 - 0,6$ ***мЗв***. Небольшая часть населения получает дозу 1,0 – 1,5 мЗв в год. Между тем, на Земле есть места (в США, Бразилии, Нигерии, Франции, Индии, Иране и других странах), где годовые дозы облучения от радионуклидов земной коры намного выше (до 400 мЗв).

Во всех естественных радиоактивных семействах, присутствующих в настоящее время на Земле, промежуточными продуктами распада являются радиоактивные изотопы ***радона***.

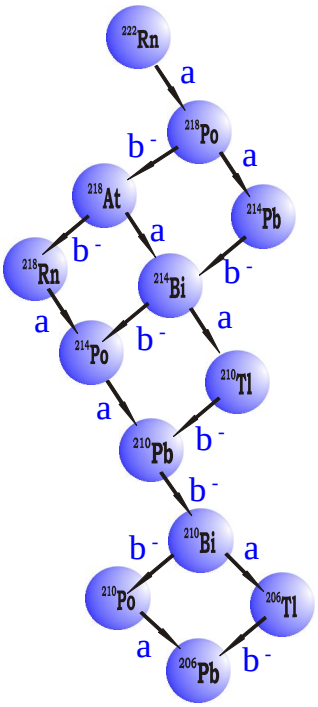
Радон, Rn

В обычных условиях *радон* — это невидимый инертный газ, который в 7,5 раз тяжелее воздуха. Он освобождается из земной коры *повсеместно*. Объемная активность *почвенного воздуха* по *радону* достигает $6\,000 - 7\,000$ *Бк/м*^{3}. Удельная же активность *атмосферного воздуха* (вне помещений) существенно меньше. Она неодинакова в разных местах земного шара и, в среднем, составляет 4,4 Бк/м^3. Суммарная активность радона, ежегодно поступающего в атмосферу из разных источников, составляет ~ $1,1 \cdot 10^{20}$ *Бк*.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Продукты распада ^{222}Rn

$T_{1/2}$ = 3,8 **суток**



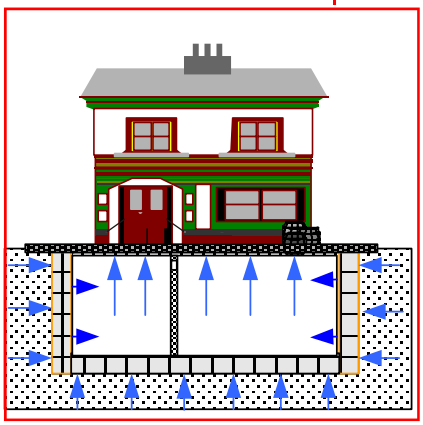
Источники поступления радона в атмосферу Земли



На открытой местности из-за быстрого рассеяния в атмосферном воздухе *радон* не представляет опасности для человека. Однако, проникая внутрь зданий через микротрещины в фундаменте и стенах, он может накапливаться в закрытых непроветриваемых помещениях. Больше всего *радона* накапливается в подвальных помещениях , из которых этот радиоактивный газ распространяется по всему зданию.

Среди естественных источников радиации радон является основным источником облучения человека.

Проникновение радона из грунта во внутренние помещения дома



Примерно 60 % индивидуальной эффективной дозы, получаемой человеком за год от радионуклидов земной коры, приходится на долю *радона и продуктов его распада*. Это, примерно, половина годовой индивидуальной эффективной дозы, которую получают жители Земли от всех естественных источников радиации.

Источником радона могут также служить строительные материалы, содержащие микропримеси изотопов *радия*, которые являются членами естественных радиоактивных семейств. Изотопы *радона*, также входящие в состав этих радиоактивных семейств, образуются при распаде изотопов *радия*:

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$^{226}Ra \longrightarrow {}^{222}Rn + {}^{4}He$$
$$^{224}Ra \longrightarrow {}^{220}Rn + {}^{4}He$$
$$^{223}Ra \longrightarrow {}^{219}Rn + {}^{4}He$$

Наиболее долгоживущим изотопом *радона* является ^{222}Rn ($T_{1/2}$ = 3,8 суток). При распаде *радона* образуются радиоактивные изотопы *полония (Po), висмута (Bi), свинца (Pb)*, которые, попадая в органы дыхания, приводят к внутреннему облучению организма. Каким видам радиоактивного распада подвергаются изотопы радона и какие радиоактивные продукты при этом образуются, можно увидеть на рисунках, где представлены схемы распада изотопов радона: ^{222}Rn, ^{220}Rn и ^{219}Rn.

Согласно рекомендациям Международного комитета по радиологической защите (МКРЗ) и МАГАТЭ, уровень содержания *радона* в помещениях должен находится в интервале от 200 до 600 Бк/м^3.

Согласно нормативным документам Республики Беларусь, во вновь строящихся зданиях уровень содержания *радона* в помещениях не должен превышать 100 Бк/м^3.

Чтобы эти нормативы соблюдались, материалы, используемые для строительства жилых и производственных зданий, контролируют на способность загрязнять воздух внутренних помещений *радоном*.

Содержание *радона* в летнее время в квартирах большинства городов Республики Беларусь составляет 30 – 35 Бк/м^3, однако в некоторых местах, например в Дзержинском районе Минской области, содержание *радона* в жилых помещениях может достигать 400 Бк/м^3.

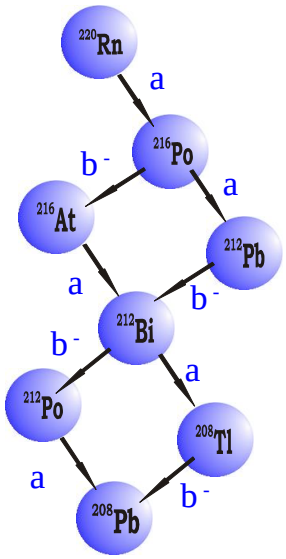
Радон — это газ, поэтому, чтобы ослабить его действие на организм человека, необходимо:

- уменьшать поступление *радона* в помещение,
- удалять *радон* из помещения.

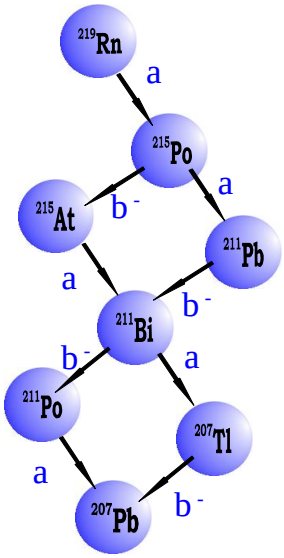
Чтобы сократить поступление *радона* в жилые и производственные помещения, следует хорошо изолировать их от поступления *радона* из почвы. Для этого необходимо заделывать щели и трещины подвальных помещений, окрашивать стены водонепроницаемой краской.

Газообразный *радон* и продукты его распада способны сорбироваться на мельчайших капельках влаги и скапливаться во влажных помещениях. Повышенное содержание *радона* может наблюдаться в ванной комнате и на кухне. Поэтому очень важно регулярно проветривать эти помещения.

Продукты распада ^{220}Rn
$T_{1/2}$ = 51,4 суток



Продукты распада ^{219}Rn
$T_{1/2}$ = 3,9 секунды



При содержании изотопа ^{222}Rn в питьевой воде 60 Бк/л и выше проводятся специальные меры по очистке воды от радона

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

В небольших количествах *радон* может присутствовать и в природном газе, и в водах артезианских источников. Чтобы освободить питьевую воду от *радона*, достаточно ее отстаивать.

Калий, ^{40}K

Кроме радионуклидов, входящих в состав естественных радиоактивных семейств, в земной коре в заметных количествах присутствует и радиоактивный изотоп ***калия*** ^{40}K. В природной смеси изотопов калия, в основном, состоящей из стабильных изотопов ^{39}K и ^{41}K, на долю атомов ^{40}K приходится лишь 0,012 % от общего числа атомов калия.

Период полураспада ^{40}K

$T_{1/2} = 1{,}28 \cdot 10^9$ лет

^{40}K является одиночным долгоживущим радиоизотопом естественного происхождения.

Одиночными радионуклидами называют такие неустойчивые нуклиды, распад которых непосредственно приводит к образованию стабильных нуклидов.

Радиоактивный распад ^{40}K осуществляется путем

- b^- - ***распада*** (вероятность *88,8 %*)

$$^{40}K \longrightarrow b^- + {}^{40}Ca + g$$

- ***электронного захвата*** — захвата орбитального электрона ядром атома (вероятность *11,2 %*)

$$^{40}K + b^- \longrightarrow {}^{40}Ar + g$$

При любом способе радиоактивного распада ^{40}K образуется стабильные нуклиды (^{40}Ca и ^{40}Ar). Практически весь ^{40}Ar, присутствующий в атмосфере Земли, образовался в результате распада ^{40}K, входящего в состав земной коры.

Изотоп ^{40}K, вместе со стабильными изотопами калия ^{39}K и ^{41}K, всегда присутствует в почве. Из почвы он вместе с элементами минерального питания поступает в растения, а затем по пищевым цепочкам в организм человека. От ^{40}K жители Земли получают, в среднем, дозу облучения 0,3 мЗв в год, что составляет около 13 % годовой эффективной дозы от источников ионизирующих излучений естественного происхождения.

Все источники ионизирующего излучения естественного происхождения формируют, так называемый, ***естественный радиационный фон***.

Естественный радиационный фон характеризует интенсивность ионизирующих излучений естественного происхождения.

В системе СИ величину радиационного фона обычно выражают в *микроЗивертах в час (мкЗв/час)*.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Таким образом, ***естественный радиационный фон*** формируется за счет космического излучения и излучения радионуклидов земной коры. Радионуклиды земной коры ответственны в среднем, за 83 % *годовой эффективной дозы*, получаемой человеком от всех источников ионизирующих излучений естественного происхождения. Остальные 17 % формирует космическое излучение.



4.3. *Ионизирующие излучения искусственного происхождения*

После открытия радиоактивности, изучения свойств ионизирующих излучений и выявления способов получения радионуклидов человечество создало множество искусственных источников радиации. К числу основных источников ионизирующего излучения искусственного происхождения относятся: ***медицинская аппаратура***, ***промышленные устройства и установки***, ***содержащие радиоактивные вещества***, ***атомные электростанции и другие предприятия ядерного топливного цикла***.

Кроме того, к таким источникам относятся ***скопления некоторых видов удобрений*** (***калийных***, ***фосфорных***, ...), **а также отходы тепловых электростанций, работающих на органическом топливе природного происхождения.**

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



Рентгеновская установка

Медицинская аппаратура

Рентгеновские, томографические и другие установки, используемые для диагностики заболеваний человека и лечения больных. В европейских странах индивидуальная годовая эффективная доза, получаемая людьми при медицинских обследованиях, меняется в интервале от 0,4 до 1,6 мЗв и составляет, в среднем, 1,1 мЗв.

Промышленные устройства и установки, содержащие радиоактивные вещества



Установка для контроля грузов

Установки для проверки пассажиров и их багажа, пожарные дымовые детекторы, установки для контроля качества и структуры сплавов, смазочных материалов, для определения толщины бумаги и фольги, для стерилизации медицинских инструментов, продуктов питания, облучения автомобильных шин с целью увеличения их пробега, и другие технические устройства.

Часы со светящимся циферблатом, тонкие оптические линзы



Часы со светящимся циферблатом

При изготовлении таких часов в прошлом веке использовали соединения радия, позднее их стали заменять соединениями трития ($^{3}\boldsymbol{T}$), прометия (^{147}Pm) и других радионуклидов. Это позволило уменьшить дозы облучения людей. В 1967 году были введены международные нормы на облучение людей от подобных изделий. Тем не менее, выпущенные ранее часы все еще находятся в употреблении. До сих пор радионуклиды используются при изготовлении светящихся указателей входа-выхода, компасов и других изделий.

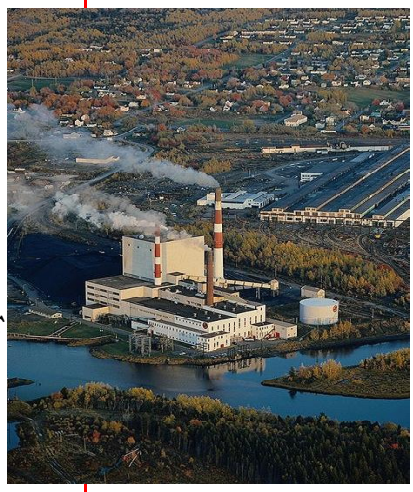
При изготовлении особо тонких оптических линз внесение соединений радиоактивного тория (^{232}Th) в стекло в процессе его варки позволяет очень точно контролировать толщину линз. Это значительно улучшает оптические свойства линз, хотя и может приводить к дополнительному облучению хрусталика глаза.

Минеральные удобрения и органическое топливо тепловых электростанций, содержащие радионуклиды естественного происхождения

Минеральные удобрения (калийные, фосфорные и др.), применяемые в сельском хозяйстве для повышения урожайности растительных культур, и органическое топливо (каменный и бурый уголь, природный газ, торф, мазут и т.п.), используемое для получения тепловой и электрической энергии, содержат радионуклиды естественного происхождения. Это могут быть $^{40}\boldsymbol{K}$, ^{238}U, ^{232}Th и другие радионуклиды.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Изъятые из природной среды и подвергнутые переработке с целью повышения содержания необходимых растениям питательных элементов, *минеральные удобрения* могут стать дополнительным источником облучения человека. В процессе переработки и обогащения минерального сырья происходит концентрирование всех нуклидов, в том числе, и радиоактивных. Скопление в местах хранения значительных количеств удобрений превращает их в дополнительные источники облучения людей.



Тепловая электростанция

При сжигании угольного топлива также происходит концентрирование природных радионуклидов. Основная часть радионуклидов остается в шлаке или золе. Вместе с летучими продуктами горения и зольной пылью эти радионуклиды через трубы электростанций могут попадать в атмосферу, а затем оседать на земную поверхность , превращаясь в дополнительные источники облучения местных жителей.

Атомные электростанции и другие предприятия ядерного топливного цикла

Атомные станции позволяют получать электрическую энергию и тепло в тех местах, где нет других источников энергии. Они являются частью *ядерного топливного цикла*, который начинается с добычи и обогащения урановой руды и заканчивается захоронением радиоактивных отходов. На каждой стадии ядерного топливного цикла радиоактивные вещества могут попадать в биосферу.



Атомная электростанция

Даже при самых пессимистических оценках в 2100 году средние дозы облучения населения от предприятий ядерного топливного цикла, при условии безаварийной работы ядерных реакторов и всех предприятий цикла, составят не более 1 % дозы облучения от естественного радиационного фона. Однако в случае аварий на предприятиях ядерного топливного цикла количество радиоактивных продуктов, поступающих в окружающую среду, и дозы облучения населения могут оказаться намного больше.

Таким образом, в современном мире невозможно представить жизнь без искусственных источников ионизирующего излучения. Они являются одним из достижений научно–технического прогресса, создают комфорт и во многом облегчают жизнь людей. Вместе с тем, используя эти источники, люди подвергаются дополнительному облучению.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Воздействие ионизирующих излучений от искусственных источников на организм человека может быть *прямым* и *косвенным*. Например, облучение человека при диагностике и лечении заболеваний — это *прямое воздействие* излучения, а облучение человека в результате попадания радиоактивных веществ в окружающую среду — *косвенное воздействие*.

Главным принципом, которым следует руководствоваться при использовании искусственно созданных источников ионизирующих излучений, является получение пользы от их применения с наименьшими негативными последствиями для человека и окружающей среды.

4.4. Эволюция радиационного фона под влиянием природных и антропогенных факторов

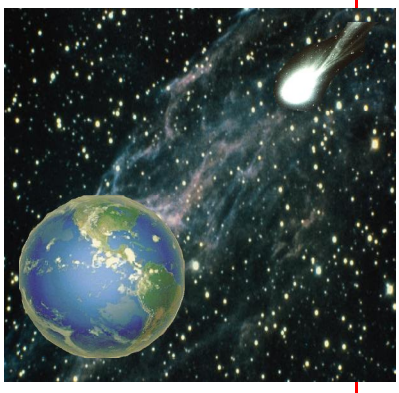
Согласно представлениям А.П. Виноградова, в период формирования Земли все элементы, из которых впоследствии сформировались атмосфера и гидросфера Земли, находились в связанном виде и входили в состав твердых веществ:

- кислород и водород — в состав оксидов и гидроксидов,
- азот — нитридов и, возможно, нитратов,
- углерод — графитов, карбидов и карбонатов.

При отсутствии атмосферы радиационный фон у поверхности Земли был обусловлен мощным космическим излучением и излучением радионуклидов, входивших в состав земной коры.

Изменение радиационного фона под влиянием природных факторов

Столкновение космических тел с поверхностью Земли приводило к образованию газообразных веществ



Возраст Земли, по мнению ученых, составляет примерно 4,5 млрд. лет. Радиационный фон вблизи земной поверхности менялся в течение всей геологической истории планеты. Эти изменения, в основном, были связаны с изменениями состава верхней твердой и газовой оболочек планеты.

Появление газовой оболочки планеты

Появление первых признаков газовой оболочки Земли связано с бомбардировкой планеты прилетающими из Космоса метеоритами, болидами и другими космическими телами, столкновение которых с земной поверхностью приводило к образованию ле-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

тучих веществ. Однако большая часть выделяющихся при этом паров воды, оксидов углерода и других химически активных веществ поглощалась земными породами.

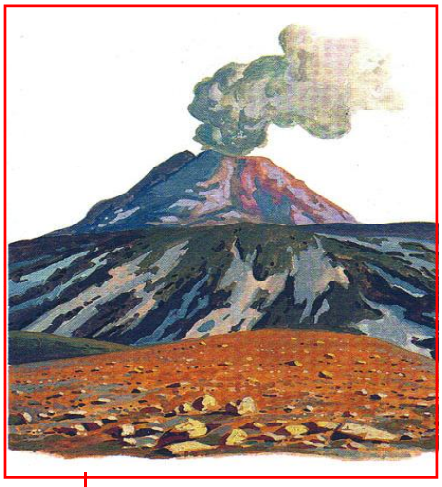


Активная вулканическая деятельность способствовала формированию первичной атмосферы Земли

Зарождающаяся газовая оболочка была крайне разреженной и, скорее всего, состояла из незначительного количества газов, слабо поглощаемых земными породами (азота, аммиака и инертных газов).

По мнению ученых, в дальнейшем увеличение газовой оболочки происходило за счет вулканических процессов, протекавших на Земле в течение первого миллиарда лет ее существования.

Развитию активной вулканической деятельности способствовал разогрев земных недр, который в значительной степени происходил за счет энергии, выделяющейся при распаде радионуклидов, которые вошли в состав планетного вещества.



Процессы радиоактивного распада нуклидов протекали на протяжении всей истории существования Земли. Продолжаются они и сейчас, частично компенсируя тепловые потери планеты. Выделение радиогенного тепла, в основном, связывают с радиоактивным распадом ^{238}U, ^{232}Th, ^{235}U и ^{40}K. В прошлом (3,5 – 4,0 млрд. лет назад), когда содержание радионуклидов на Земле было значительно выше, планета получала гораздо больше радиогенного тепла.

Активная вулканическая деятельность сопровождалась выделением из недр планеты газообразных веществ, в состав которых входили: водяной пар, оксид и диоксид углерода, метан, аммиак, кислотные пары (сероводород , диоксид серы , галогеноводороды), инертные и другие газы, которые и формировали первичную атмосферу Земли.

Вначале древняя атмосфера Земли была относительно тонкой. Однако по мере развития вулканической деятельности масса газовой оболочки планеты постепенно увеличивалась.

Полагают, что 3,5 – 4,0 млрд. лет назад температура у земной поверхности была близка к *температуре лучистого равновесия* — такого состояния, когда поток солнечного излучения, поглощаемого земной поверхностью, был равен потоку излучения, отражаемого поверхностью планеты. Если считать, что отражательная способность Земли была такой же, как в настоящее время, то температура лучистого равновесия на планете,

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

в среднем, составляла 288 К. По мнению некоторых ученых, из-за парникового эффекта, создаваемого аммиаком, который в заметных количествах мог присутствовать в древней атмосфере, температура могла быть и выше.

В любом случае, в сложившихся условиях водяной пар вулканических газов мог конденсироваться и превращаться в жидкую воду, из которой формировалась гидросфера Земли.

Вулканические газы растворялись в водах первичного океана. Легкие газы (гелий и, частично, водород) поднимались вверх и, слабо удерживаемые гравитационным полем Земли, рассеивались в космическом пространстве.

Таким образом, 3,5 – 4,0 млрд. лет назад формирующаяся тонкая атмосфера Земли пропускала практически весь спектр космического излучения до поверхности суши и океана.

В этот же период в процессе активной вулканической деятельности из земных недр на поверхность выбрасывались вещества, обогащенные тяжелыми радиоактивными элементами.

В результате, у поверхности Земли сохранялся высокий уровень радиационного фона, значительно превосходивший современный уровень.

Кислород, O_2

Кислород в атмосфере Земли

В древней атмосфере практически отсутствовал *молекулярный кислород*. В небольшом количестве он мог получаться при разложении молекул воды, входивших в состав водяного пара, под действием высокоэнергетической части космического излучения. Однако весь образующийся кислород быстро расходовался на окисление метана, оксида углерода, аммиака и сероводорода.

Содержание молекулярного кислорода (O_2) в древней атмосфере (даже с учетом возможной фотодиссоциации водяного пара) не превышало 0,001 современного содержания O_2 в атмосфере Земли.

Молекулярный кислород в заметном количестве появился в атмосфере лишь около 3,4 млрд. лет назад в результате деятельности особых микроорганизмов, способных к фотосинтезу — цианобактерий.

Первые количества кислорода, полученные при фотосинтезе, окисляли атмосферные газы и породы земной коры. При этом аммиак окислялся до молекулярного азота, который стал основным компонентом современной атмосферы. С появлением и повсеместным распространением зеленых фотосинтезирующих бактерий содержание свободного кислорода постепенно увеличивалось, что способствовало увеличению численности животных, которые использовали его для дыхания.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Примерно 600 млн. лет назад количество свободного кислорода в земной атмосфере достигло 1 % современного уровня.

Кислород стал важным компонентом атмосферного воздуха. С ним связаны основные биологические и многие геохимические процессы, происходившие на Земле.

Примерно 400 млн. лет назад содержание кислорода в атмосфере достигло 10 % современного уровня и стало возможно образование *озонового слоя*.

Озон, O_3

В верхних слоях атмосферы Земли на высоте от 30 до 90 км под действием ультрафиолетового излучения двухатомные молекулы кислорода могут распадаться на атомы:

$$O_2 \longrightarrow O + O$$

Атомарный кислород, отличающийся высокой реакционной способностью, может взаимодействовать с двухатомными молекулами кислорода с образованием озона:

$$O + O_2 \longrightarrow O_3$$

По мере накопления в атмосфере Земли молекулярного кислорода (**O_2**) *формировался и озоновый слой, в состав которого входили трехатомные молекулы озона* (**O_3**). *Его появление значительно уменьшило радиационный фон у поверхности Земли за счет частичного поглощения космического излучения.*

Молекулы озона способны поглощать жесткую компоненту солнечного излучения, в том числе и губительные для живых организмов ультрафиолетовые лучи с длиной волны менее 210 нм.

При поглощении фотонов молекулами озона процесс идет в обратном направлении, и часть молекул озона распадается:

$$O_3 \longrightarrow O_2 + O$$

Увеличение содержания молекулярного кислорода (O_2) в атмосфере Земли до современного уровня происходило за счет бурного протекания *процесса фотосинтеза* в гигантских лесах, существовавших, по мнению ученых, примерно 350 млн. лет назад.

Постепенно установилось равновесие между процессами образования и поглощения кислорода (O_2), и его содержание в атмосфере стабилизировалось. Со временем установилось также равновесие между процессами образования и разрушения молекул озона, и в атмосфере Земли сформировался устойчивый *озоновый слой*.

Тропосфера — самый нижний, примыкающий к земной поверхности слой атмосферы, простирающийся, в среднем, до высоты 10 км над полюсами и до высоты 16-18 км над экватором.

Современный состав сухого воздуха вблизи уровня моря:

N_2 — *78,084 %*

O_2 — *20,948 %*

Ar — *0,934 %*

CO_2 — *0,033 %*

Ne, He, Kr, Xe, H_2, CH_4, N_2O *и др.* — *0,001 % от содержания всех молекул газа в атмосфере*

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

На протяжении последних 500 тыс. лет состав атмосферы существенно не менялся.

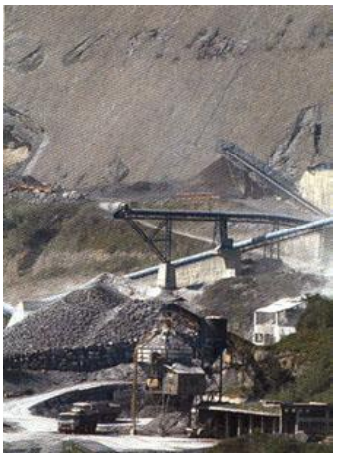
На современном этапе истории Земли объемная доля молекулярного кислорода в воздухе тропосферы (наиболее плотном слое воздуха, прилегающем к земной поверхности), составляет примерно *21%*.

Изменения радиационного фона под влиянием антропогенных факторов

Любые изменения в природной среде, связанные деятельностью человека, называют **антропогенными**. («*Antropos*» в переводе с латинского означает «*человек*»).



Земледелие и добыча полезных ископаемых привели к увеличению радиационного фона у поверхности Земли.



Наряду с природными источниками радиации космического и земного происхождения, существование которых не зависит от человека, на определенном этапе развития человеческой цивилизации начались изменения радиационного фона, связанные с деятельностью людей.

Изменение характера деятельности и условий жизни людей привели к повышению радиационного фона.

Первое заметное увеличение радиационного фона в результате антропогенной деятельности было связано *с переходом людей от охоты, рыболовства и сбора природных плодов для пропитания к земледелию.* Этот процесс сопровождался вырубкой лесов и обработкой почвы на больших территориях. Поскольку содержание радионуклидов в более глубоких слоях земной коры выше, чем у поверхности, выкорчевывание деревьев, распахивание земель и другие виды деятельности привели к увеличению содержания радионуклидов у поверхности Земли и повышению радиационного фона.

Второе заметное повышение радиационного фона было связано с бурным развитием промышленности, сопровождавшимся значительным *увеличением масштабов добычи полезных ископаемых.* Процесс добычи полезных ископаемых и строительство промышленных и коммуникационных сооружений сопровождались выносом значительных количеств пород на поверхность, что также способствовало повышению радиационного фона у поверхности Земли.

Развитие тепловой и электроэнергетики, также внесло свой вклад в радиоактивное загрязнение окружающей среды и привело к изменению радиационного фона в окрестностях теплоэлектростанций.

Появление искусственных источников ионизирующего излучения на основе радионуклидов, выделенных из природного сырья или полученных в искусственных условиях, в свою очередь, повлияло на величину радиационного фона.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Испытания ядерного и термоядерного оружия

В XX столетии наиболее существенные изменения радиационного фона произошли в результате испытаний ядерного и термоядерного оружия.

При взрыве ядерных боеприпасов в цепной реакции деления тяжелых радиоактивных элементов (^{233}U, ^{235}U, ^{239}***Pu*** *и др.)* или в реакциях термоядерного синтеза (например, синтеза ядер трития из ядер дейтерия) выделяется огромная энергия, которая может быть использована в военных целях.

Результатом взрыва любого вида ядерного оружия является *радиоактивное загрязнение местности.*

Во время *наземных* испытаний ядерного оружия радиоактивные продукты, образующиеся при взрыве, попадают, в основном, в нижнюю часть атмосферы — *тропосферу.* В состав продуктов взрыва входят радионуклиды с периодами полураспада от долей секунды до десятков и многих сотен лет. Они постепенно выпадают на земную поверхность, загрязняя ее.

При проведении испытаний в *атмосфере,* особенно высоко над Землей, значительная часть радиоактивных продуктов , образующихся при ядерном взрыве , попадает в *стратосферу,* расположенную над *тропосферой.* В стратосфере радиоактивные вещества могут оставаться многие месяцы, медленно поступая в нижние слои атмосферы и постепенно оседая на поверхность Земли. Они рассеиваются практически по всей поверхности земного шара, и радиоактивное загрязнение приобретает *глобальный характер.* Вот почему подобные радиоактивные выпадения называют ***глобальными*** .

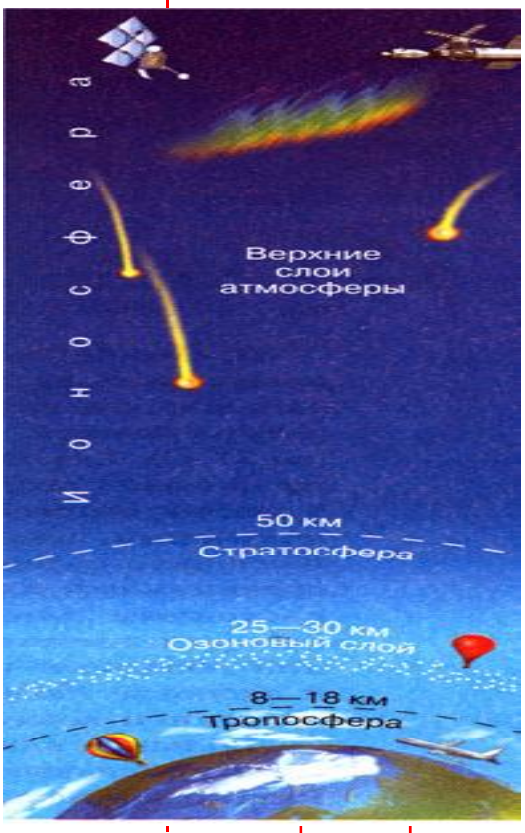
Испытания ядерного оружия начались в 1945 году. Максимальное поступление радионуклидов в окружающую среду было зарегистрировано в 1961 – 1962 годах в результате взрывов в атмосфере бомб общей мощностью 340 Мт. В 1963 году *среднегодовая коллективная эффективная доза,* полученная жителями Земли в результате проведения ядерных испытаний в атмосфере, составляла около 7 % дозы облучения от всех источников ионизирующего излучения естественного происхождения . В этот период средняя *индивидуальная доза* облучения людей от испытания ядерного оружия превышала 0,1 мЗв в год.

До сих пор в окружающей среде присутствуют радионуклиды , оставшиеся от испытаний ядерного оружия прошлых лет



Стратосфера — это слой воздуха , расположенный на высоте 10 – 50 км над поверхностью Земли

«Глобальный » — означает *«относящийся к территории всего земного шара»*



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Позднее, после подписания в 1963 году ***Договора об ограничении испытаний ядерного оружия***, обязывающего участников соглашения *не проводить подобные испытания* в атмосфере, под водой и в космическом пространстве, поступление радионуклидов в окружающую среду значительно сократилось. К началу 80-х годов XX века *коллективная эффективная доза* облучения населения Земли от радионуклидов бомбового происхождения уменьшилась в 7 раз по сравнению с 1963 годом и составляла уже лишь 1 % дозы, получаемой людьми от всех природных источников ионизирующего излучения.

До сих пор повсеместно в окружающей среде присутствуют радионуклиды, оставшиеся от атмосферных испытаний ядерного оружия в прошлые годы. В настоящее время среди них наибольший вклад в облучение человека вносят ^{14}**C**, ^{90}Sr, ^{137}Cs. *Индивидуальная эффективная доза* облучения жителей Земли от этих радионуклидов составляет, в среднем, 0,005 мЗв в год, что соответствует примерно 0,2 % дозы, получаемой от всех естественных источников ионизирующего излучения, которая составляет 2,4 мЗв в год.

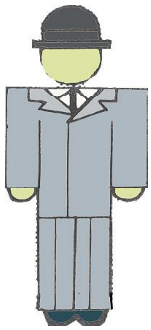
Атомная энергетика

Зарождение и развитие атомной энергетики не могло ни сказаться на величине радиационного фона. На всех этапах ядерного топливного цикла, включая добычу урана и его обогащение, изготовление ядерного топлива, работу ядерных реакторов, регенерацию топлива, хранение и захоронение радиоактивных отходов, может происходить увеличение содержания радионуклидов в окружающей среде и увеличение радиационного фона в местах расположения соответствующих предприятий.

Нормально работающие предприятия ядерного топливного цикла, в том числе атомные электростанции, практически не загрязняют окружающую среду. В целом, за исключением крупных аварий, таких как Чернобыльская, они вносят совсем небольшой вклад в формирование индивидуальной дозы облучения людей (в среднем 0,0002 мЗв в год, что составляет 0,01 % дозы от источников ионизирующих излучений природного происхождения).

При ядерных авариях количество радиоактивных веществ, поступающих в окружающую среду, может оказаться значительно больше. В этом случае дозы облучения населения заметно возрастают.

Среднегодовая индивидуальная эффективная доза жителей Земли - *2,8* ***мЗв***



Природные источники ионизирующего излучения — 2,4 ***мЗв в год***

антропогенные источники — 0,4 ***мЗв в год***

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Другие источники искусственного происхождения

К другим источникам ионизирующего излучения, влияющим на величину радиационного фона, относятся промышленные источники. Промышленные источники радиации, предназначенные для мирных целей, лишь в незначительной степени способствуют повышению радиационного фона.

В целом, по оценкам МАГАТЭ, максимальные дозы облучения людей (включая персонал, работающий с источниками излучения невоенного назначения) от попадания радионуклидов искусственного происхождения в окружающую среду не превышают 0,14 мЗв в год, что составляет менее 6 % дозы облучения от природных источников.

Изменение состава атмосферы

Во второй половине прошлого века наметились изменения в составе воздушной оболочки планеты, которые, как полагают многие ученые, обусловлены деятельностью человека и могут повлиять на способность атмосферы защищать поверхность Земли от действия космического излучения.

В последние годы отмечается тенденция к снижению содержания озона в верхних слоях атмосферы. Такое снижение может уменьшить поглощение атмосферой ультрафиолетового излучения и привести к неблагоприятным последствиям.

По оценкам специалистов, уменьшение содержания озона всего на 1 % может вызвать увеличение интенсивности ультрафиолетового излучения у поверхности Земли на 15 %. По официальным данным Организации Объединенных Наций (ООН), это может привести к дополнительным случаям заболевания жителей Земли катарактой и раком кожи.



Итак

В этой главе Вы узнали, что естественный радиационный фон у поверхности Земли формируют:

- космическое излучение, достигающее поверхности Земли,
- излучение радионуклидов земной коры.

Вы проследили за эволюцией радиационного фона Земли на протяжении геологической истории планеты. На определенном этапе развития человеческой цивилизации начались антропогенные изменения радиационного фона, связанные с деятельностью людей.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

В настоящее время *среднегодовая индивидуальная эффективная доза* жителей Земли от всех естественных и антропогенных источников излучения составляет 2,8 мЗв. Она включает:

- 2,4 мЗв — от *природных* источников,
- 0,4 мЗв — от *антропогенных* источников ионизирующего излучения.

В случае *антропогенных* источников:

- 0,005 мЗв — от испытаний ядерного оружия в атмосфере;
- 0,0002 мЗв — от деятельности предприятий ядерной энергетики;
- остальная часть дозы облучения (примерно 0,4 мЗв) обусловлена медицинскими источниками.

Дополнительная доза облучения жителей Земли в результате проведения испытаний ядерного оружия и деятельности предприятий ядерной энергетики составляет, в среднем, 0,2 % дозы от всех источников ионизирующего излучения природного происхождения.

В следующей главе Вы познакомитесь подробнее с действием ионизирующих излучений на биологические объекты, со способами проникновения радионуклидов в организм человека и их распределением внутри организма. Узнаете о том, какие опасности подстерегают человека при воздействии излучения радионуклидов на организм. Это поможет Вам оценить реальную опасность облучения и понять, как собственными силами можно уменьшить радиационный риск.

Вопросы для самоконтроля и обсуждения



1. Как формируется естественный радиационный фон той или иной местности на Земле?
2. Что такое космическое излучение и какова его роль в формировании радиационного фона на поверхности Земли?
3. Что такое *первичное* и *вторичное* космическое излучение?
4. Что Вы понимаете под радиационным фоном земной коры?
5. Какие изменения радиационного фона на поверхности планеты связаны с деятельностью человека?
6. Приведите примеры искусственных источников ионизирующего излучения.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

7. Почему тепловые электростанции , работающие на природном органическом топливе , являются источниками радиоактивного загрязнения окружающей среды?

8. Какие источники ионизирующего излучения вносят основной вклад в индивидуальную дозу облучения жителей Земли?

9. Какой вклад в формирование эффективной дозы облучения населения Земли вносят искусственные источники ионизирующего излучения, используемые в мирных целях?

10. Почему опасно проведение испытаний ядерного оружия в атмосфере?

11. Что такое глобальные радиоактивные выпадения?

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Глава 5

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Ключевые слова и словосочетания: биологические молекулы, радиочувствительность, критический орган, коэффициент всасывания, эффективный период полувыведения, кратность накопления радионуклидов, радиационная безопасность, радиационное нормирование.

С момента зарождения жизни и до появления человека космическое излучение и излучение радионуклидов земной коры играли важную роль в биологической эволюции Земли. Энергия этих излучений поддерживала и продолжает поддерживать биологический круговорот вещества и обеспечивает функционирование биосферы.

Ионизирующие излучения способны вызывать нарушения в клетках живых организмов. Однако в течение многих миллионов лет в ходе эволюции живые организмы адаптировались (приспособились) к естественным излучениям.

Деятельность человека привела к загрязнению окружающей среды радионуклидами естественного и искусственного происхождения, что способствовало увеличению вероятности возникновения радиационных эффектов в живых организмах. Нарушения, возникающие в клетках, тканях или органах, системах органов и организме человека в целом зависят от дозы и характера облучения.

С целью уменьшения негативных последствий облучения принимаются меры по снижению доз облучения людей путем введения норм на содержание радионуклидов в продуктах питания, питьевой воде, воздухе, строительных и других материалах.

Изучив главу... Вы узнаете, какую роль сыграли излучения в возникновении и поддержании жизни на Земле, познакомитесь с действием ионизирующих излучений на важнейшие биологические молекулы, клетки, на ткани, органы, системы органов и организм человека в целом. Узнаете, какие параметры используют для оценки дозы внутреннего облучения людей, которая позволяет судить об опасности радионуклидов при их попадании в организм.



5.1. *Роль радиации в зарождении и поддержании жизни на Земле*

В учебном пособии для 11 класса по курсу «Общая биология» под редакцией Н.Д. Лисова подробно рассмотрены наиболее известные гипотезы возникновения жизни, а также основные этапы эволюции растительного и животного мира.

Около четырех миллиардов лет тому назад на Земле появилась качественно новая форма организации материи под названием «жизнь», которая обладает рядом удивительных свойств. До сих пор феномен происхождения жизни до конца не разгадан. Тем не менее, существует множество гипотез возникновения жизни на нашей планете.

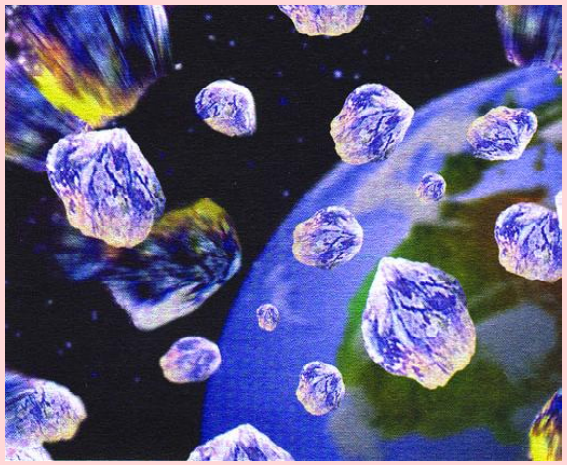
В настоящем разделе мы не задавались целью рассмотреть все существующие гипотезы происхождения жизни. Они обсуждаются во многих литературных источниках. Мы не будем касаться здесь и религиозных воззрений, хотя исторически они были первыми гипотезами о происхождении жизни.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Мы постараемся показать, что излучение, поступающее на Землю из Космоса (в первую очередь, от ближайшей к нам звезды — Солнца), и излучение радионуклидов земного вещества являются тем фактором, без которого жизнь на нашей планете, даже если бы она была занесена на Землю из других миров , никогда не смогла бы существовать.

Постепенно , по мере накопления знаний об окружающем мире и развития научного мировоззрения, менялись взгляды на происхождение жизни, выдвигались новые научные гипотезы. Среди них наиболее известны:

- гипотеза *самозарождения* (жизнь возникла из неживого вещества самопроизвольно);
- гипотеза *стационарного состояния* (жизнь существовала всегда);
- гипотеза *панспермии* (жизнь занесена на Землю с других планет);
- *биохимическая* гипотеза (жизнь возникла в условиях Земли в результате биохимической эволюции , т. е. в результате развития процессов , подчиняющихся физическим , химическим и другим законам природы).



Одна из гипотез о происхождении жизни на нашей планете предполагает, что ее занесли метеориты, которые упали на Землю миллиарды лет назад.
По мнению английского ученого Д. Бернала, первичные соединения углерода, из которых впоследствии образовались биополимеры , были занесены на Землю метеоритами. Такие утверждения основываются на том, что в некоторых метеоритах найдены органические молекулы. Однако эти гипотезы не объясняют, как возникла жизнь, и лишь указывают, как она могла быть принесена на Землю.

Среди гипотез происхождения жизни особое внимание привлекает *биохимическая гипотеза*, выдвинутая академиком А.И. Опариным в 1924 году. Ученый полагал, что определяющую роль в возникновении живой материи сыграли белковые молекулы. А.И. Опарину принадлежит и идея о возникновении биологически важных соединений (белков, нуклеиновых кислот, полисахаридов, жиров) абиогенным путем, т. е. в результате химических процессов, некогда протекавших в неживой природе. Химическая эволюция — переход от простых веществ к более сложным веществам , по мнению А.И. Опарина , предшествовала биологической эволюции. Без химической эволюции вряд ли стало бы возможным появление жизни на Земле.



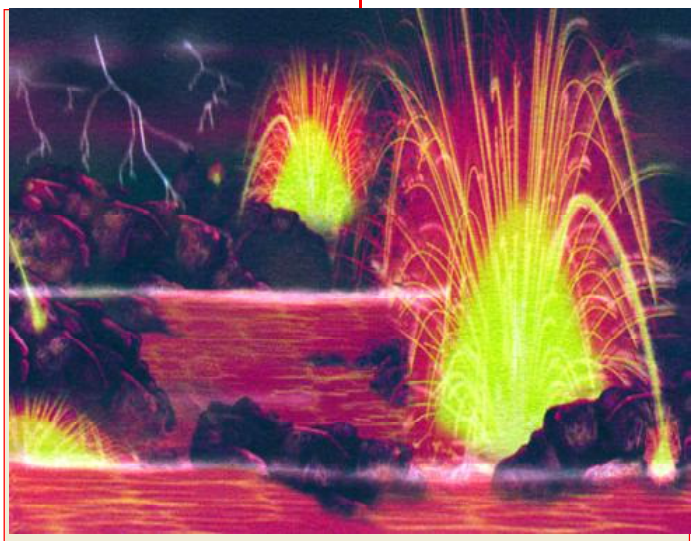
Академик А.И. Опарин (1894 - 1980)

Ученые разных стран искали подтверждение этой гипотезе. Они пытались воспроизвести те процессы, которые могли происходить на нашей планете миллиарды лет назад и доказать возможность синтеза

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

биополимеров в условиях древней Земли. Исследователи опирались на накопленные знания о составе формировавшихся в этот период земных геосфер — земной коры, древней атмосферы, гидросферы.

Активные процессы, протекавшие в земных недрах, сопровождались разломами земной коры и извержениями вулканов, что приводило к выносу огромного количества различных веществ (в том числе и радиоактивных) на поверхность планеты.



Хаотичный вид Земли в начале ее существования

В прилетавших на Землю из космоса метеоритах, болидах и других космических телах, наряду со стабильными изотопами элементов, присутствовали и радиоактивные.

Многие естественные радионуклиды с периодами полураспада более 10^8 лет (например, ^{238}U, ^{235}U, ^{232}Th, ^{40}K) и ныне присутствуют на Земле. Радионуклиды с периодами полураспада менее 10^8 лет (^{26}Al, ^{107}Pd и др.) распались, и сейчас на Земле их не обнаруживают.

В первичной атмосфере Земли практически отсутствовал кислород, однако содержались аммиак, метан, водород, водяные пары. Мощное космическое излучение (солнечное и галактическое) падало на незащищенную плотной атмосферой и озоновым слоем поверхность Земли. Очевидно, что на поверхности древней Земли не было места, свободного от излучения.

Как же могли образоваться биополимеры в условиях первобытной Земли?

Полагают, что в процессе образования биополимеров важную роль сыграло излучение. Основными источниками энергии для осуществления химических реакций при образовании биополимеров могли быть:

- космическое излучение (в основном, солнечное);
- ионизирующее излучение, сопровождавшее распад радионуклидов, присутствовавших в земных породах.

Источниками энергии могли быть и электрические разряды в первичной атмосфере Земли.

Эксперименты с воздействием разного рода излучения и электрических разрядов на простейшие неорганические и органические вещества показали, что облучение может приводить к образованию радикалов.

Исследования ученых показали, что, например, аммиак под действием излучения с длиной волны 159—170 нм образует радикалы,

$\cdot NH$ и $\cdot NH_2$,

а из метана под действием электрического разряда могут образоваться радикалы.

$\cdot CH_3$, $\cdot CH_2$, $\cdot \dot{C}H$

Свободные радикалы были обнаружены также и в углистых метеоритах

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Свободные радикалы — атомы, или атомные группировки, обладающие неспаренными электронами, отличаются высокой химической активностью и способствуют синтезу биологических молекул и биополимеров

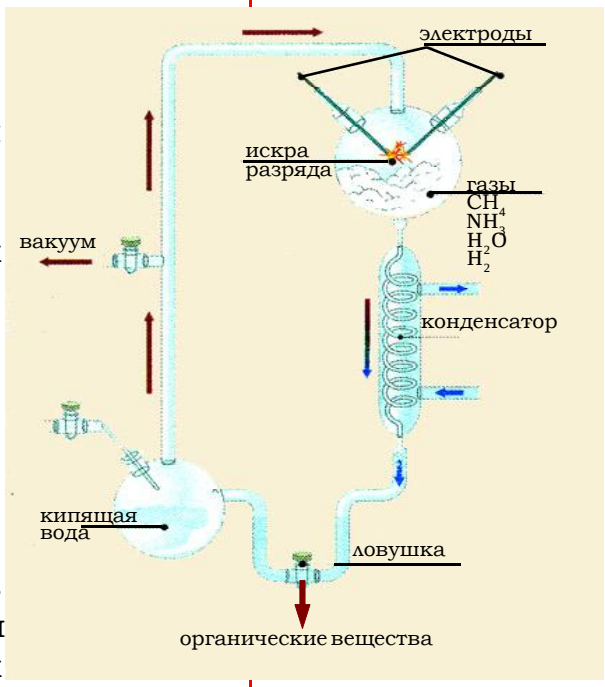
Интересны опыты М. Кальвина, показавшего, какую роль может играть излучение в синтезе биополимеров. Он облучал смесь аммиака, метана и водорода потоком *бета*-частиц. Нечто подобное, по его мнению, могло происходить и в древние времена. Источником *бета*-частиц в земной коре мог быть радиоактивный калий (^{40}K), который является одним из самых распространенных естественных *бета*–излучателей земной коры. Его содержание на Земле миллиарды лет назад было значительно выше, чем сейчас.

Бета–распад ^{40}K :

$^{40}K \rightarrow {}^{40}Ca + b^-$

$T_{1/2}(^{40}K) = 1{,}28 \cdot 10^9$ *лет*

Эксперимент Стенли Миллера



В опытах М. Кальвина и его сотрудников было получено множество соединений, среди которых были и аминокислоты. Эти эксперименты показали, что еще в добиологический период в ходе химической эволюции *аминокислоты* относительно легко могли получаться в результате химических процессов, вполне реальных для условий первобытной Земли.

Подобные опыты с использованием энергии искрового электрического разряда, ультрафиолетового и других видов излучения проводили С. Фокс, С. Миллер, А.Г. Пасынский и другие исследователи.

По предположению С. Фокса, образующиеся в природе аминокислоты в последующем, при небольшом нагревании за счет вулканического тепла или других источников тепловой энергии, могли превращаться в *полипептиды*, давая начало процессу синтеза *белковоподобных веществ*.

С. Фокс получил экспериментальное подтверждение своих предположений. Нагревая смесь аминокислот в сосуде, сделанном из остывшей вулканической лавы, он обнаружил продукты конденсации аминокислот — вещества, аналогичные белкам. Эти соединения назвали *протеноидами*.

Выяснилось, что *протеноиды* способны образовывать замкнутые полости и формировать двухслойные оболочки, напоминающие мембраны современных клеток. Отдельные молекулы протеноидов могли соединяться и образовывать цепочки.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Согласно современным представлениям, в ***химической эволюции***, которая предшествовала биологической эволюции, можно выделить следующие стадии образования веществ:

простейшие неорганические и органические вещества (H_2O, CO_2, CH_4, NH_3)

↓

аминокислоты, карбоновые кислоты, моносахариды.

↓

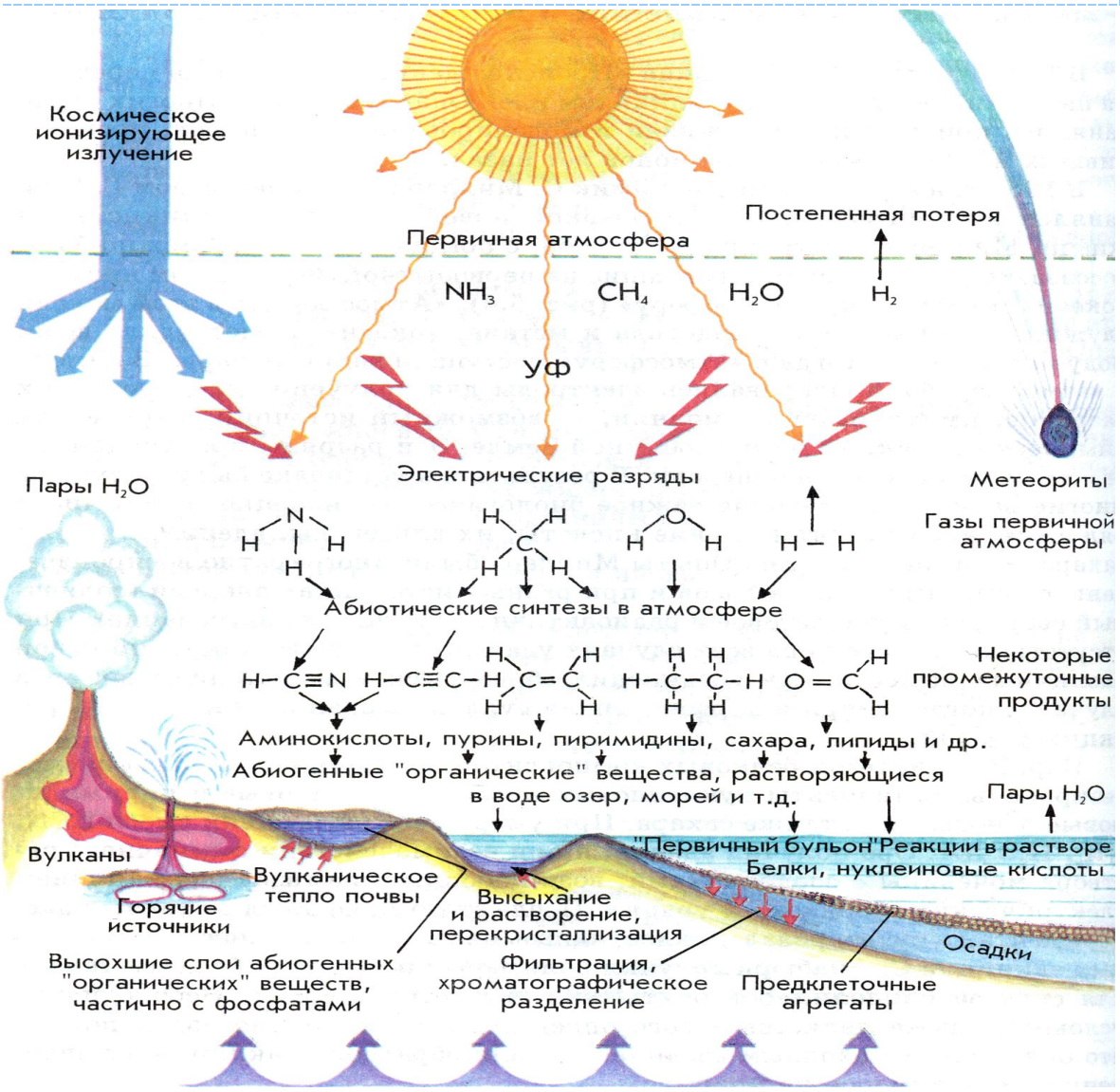
белки, нуклеотиды, полисахариды.

↓

надмолекулярные системы биополимеров

Отсутствие в атмосфере первобытной Земли кислорода (восстановительная среда) было, вероятно, необходимым условием образования *биополимеров*.

Более подробно эти стадии представлены на знакомом многим рисунке «Возможности химической эволюции на первобытной Земле»*.



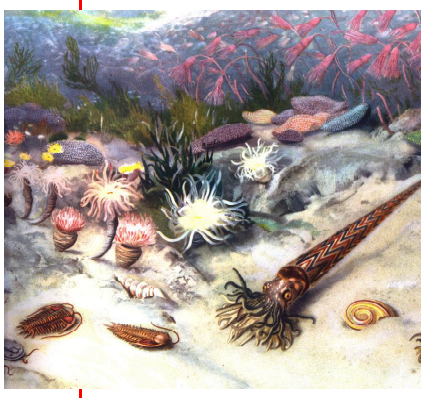
* см.[93] Приложения 3.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Появившиеся в условиях древней Земли биополимеры явились «исходным материалом» при образовании первичных форм живых организмов.

По мнению ученых, жизнь на Земле зародилась на дне мелких теплых морей. Первичные организмы могли появиться только в воде, поскольку

- водная среда не разрушала попадавшие в нее биополимеры;
- в отсутствии озонового слоя только в водной среде первичные организмы были защищены отгубительного для всего живого космического излучения высоких энергий.



Жизнь на Земле зародилась в воде

Особая роль воды для живых организмов заключается еще и в том, что

- все ткани и клетки живых организмов включают воду;
- большинство биохимических и биофизических процессов обмена веществ может протекать в живых организмах лишь при наличии воды, растворяющей минеральные и органические вещества, в том числе и газообразные.

Первичные организмы дали начало более сложным организмам, а те, в свою очередь, — еще более сложным.

Эволюция жизни на Земле происходила в условиях постоянного влияния разнообразных факторов окружающей среды (температура, влажность, газовый режим и др.). Среди множества физических и химических факторов внешней среды особое место занимали *излучения*.

Для возникновения и поддержания жизни на Земле необходимо не только наличие определенных химических веществ и физических условий (температура, давление и др.), но и существование *источника энергии* на протяжении безграничного, по человеческим меркам, промежутка времени. Космическое излучение и *излучение, сопровождающее распад радионуклидов* земных пород, обеспечивают, в основном, поступление необходимого количества энергии.



Может быть такими были первобытные леса?

Излучения играли важную роль на всех стадиях биологической эволюции.

Отметим лишь те этапы *эволюции жизни на Земле*, где роль излучений проявилась в наибольшей степени:

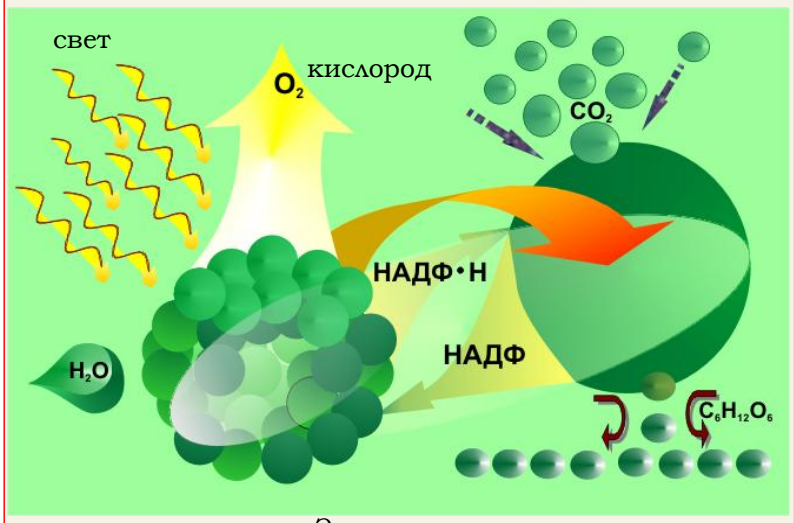
1. Важным этапом эволюции явилось *появление организмов, способных к фотосинтезу*.

Первичные организмы, появившиеся на Земле, питались готовыми органическими веществами либо

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

другими организмами. С течением времени некоторые организмы приобрели способность синтезировать питательные вещества из неорганических соединений под действием ультрафиолетового излучения Солнца (*фотосинтез*). В результате уменьшилась конкуренция живых организмов за природные источники питательных веществ.

Схема процесса фотосинтеза:



Энергия света

$$6\,CO_2 + 6\,H_2O \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

хлорофилл

2. Следующий важный этап связан с *усовершенствованием в ходе эволюции фотосинтетического аппарата у растительных организмов*. Развитие способности синтезировать органические продукты из диоксида углерода и воды под действием *солнечного излучения*, поглощаемого растительными пигментами, ознаменовало начало совершенно нового этапа в эволюции форм жизни на Земле.

3. С появлением растительных организмов, активно использующих энергию солнечного излучения для синтеза органических веществ, *началось обогащение атмосферы кислородом*. Резко изменились условия питания организмов, появились новые виды организмов, у которых обмен веществ стал протекать с участием кислорода.

В *фотосинтезе* выделяют две основные стадии: *световую* и *темновую*.

В *световой фазе* энергия солнечного света, поглощенная хлорофиллом, используется для разложения воды на водород и кислород.

Кислород выделяется в атмосферу. Водород идет на восстановление НАДФ — сложной органической молекулы, которая служит переносчиком активированного водорода в форме *НАДФ·Н*.

Энергия света запасается в *НАДФ·Н* и молекуле *АТФ* (аденозинтрифосфорной кислоты).

В *темновой фазе* образовавшиеся соединения *АТФ* и *НАДФ·Н* и запасенная в них энергия, используются, в основном, для синтеза *углеводов* ($C_6H_{12}O_6$) из углекислого газа (***CO***$_2$) и воды (H_2O).

В хлоропластах синтезируются также аминокислоты, белки, липиды и т. д.

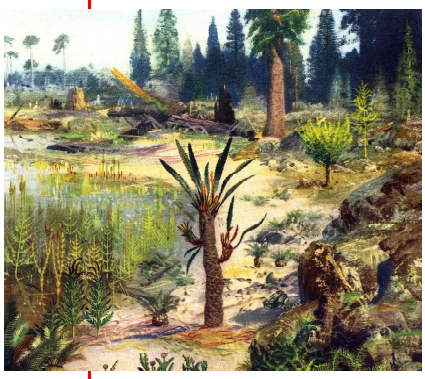
4. *Увеличение содержания свободного кислорода в атмосфере до 1 % современного уровня* (так называемая точка Пастера) привело к настоящему биологическому взрыву — массовому распространению разнообразных видов живых организмов. Растительные организмы, осуществляющие синтез первичной биологической продукции с *использованием энергии солнечного излучения*, впервые появившись в воде, стали проникать и на сушу. Однако, одним из препятствий завоевания живыми организмами суши являлось отсутствие в атмосфере защитного озонового слоя.

5. Накопление *свободного кислорода* (***O***$_2$) в атмосфере до 10 % современного уровня и образование *озона* (***O***$_3$) в верхней части атмосферы способствовали формированию озонового слоя. Этот слой надежно защитил земную поверхность от космического излучения высоких энергий. Образование озонового слоя

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

вместе с приобретением в процессе эволюции живыми организмами необходимых органов и свойств (например, формирование легких, возникновение семени, появление способности к внутреннему оплодотворению и др.) явилось предпосылкой для беспрепятственного выхода организмов на сушу. Защищая наземные организмы от губительной части космического излучения, озоновый слой способствовал формированию наземной флоры и фауны.

По мере развития планеты условия на Земле менялись. Появлялись и исчезали горы, возникали новые моря и океаны, изменялись температура и состав атмосферного воздуха. Однако постоянно существовали природные источники излучения.



Так мог выглядеть один из древних ландшафтов

На всех этапах эволюции жизни на Земле живые организмы подвергались воздействию излучения, поступавшего из Космоса, и излучения естественных радионуклидов, присутствовавших в окружающей среде.

Как мы увидим в следующих разделах, ионизирующее излучение способно повреждать определенные участки клеток живых организмов, ответственных за передачу наследуемых признаков (генетической информации). Необратимые изменения в клетках могут приводить к гибели организма или к его изменению и приспособлению к условиям существования.

В течение многих миллионов лет в ходе эволюции в клетках живых организмов выработались механизмы защиты от естественного излучения, и клетки нормально функционировали в условиях постоянного воздействия ионизирующего излучения. Эта способность закреплялась на генетическом уровне. В результате, *живые организмы адаптировались (приспособились) к естественному излучению.*

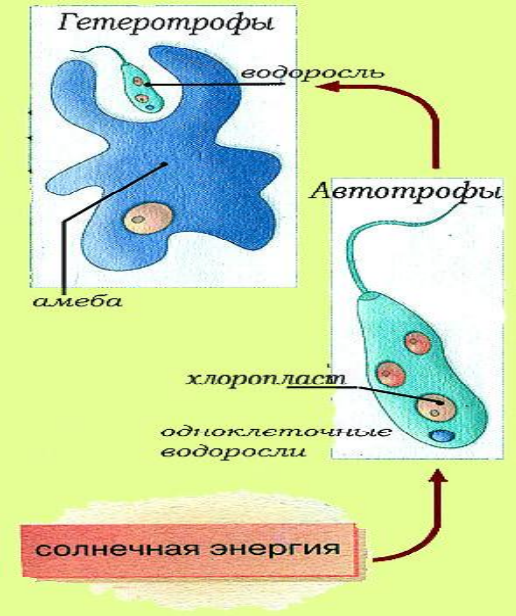
Радиоадаптация

Феномен *радиоадаптации* заключается в выработке у живых организмов в процессе эволюции устойчивости к облучению. Из популяций постепенно исчезали наименее радиоустойчивые особи. У выживших организмов появлялись признаки устойчивости к действию радиации, передающиеся по наследству.

Одним из важнейших условий, необходимых для поддержания жизни на нашей планете, является постоянное перераспределение и преобразование вещества и энергии в биосфере Земли. Важнейшую роль в этих процессах играет жизнедеятельность различных видов живых организмов.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Автотрофы и гетеротрофы



Автотрофы — организмы, способные к самостоятельному синтезу необходимых для них органических веществ за счет энергии света (*фотосинтез*) или энергии, которая выделяется при окислении неорганических веществ (*хемосинтез*).

Гетеротрофы — организмы, которые используют для питания готовые органические вещества, в том числе и произведенные автотрофами.

Можно выделить также **автогетеротрофы**, которые в зависимости от условий могут осуществлять синтез органических веществ или употреблять их в готовом виде из окружающей среды.

Можно выделить две основные группы организмов, возникших в процессе эволюции:

- ***автотрофы*** (большинство зеленых растений, ряд микроорганизмов);
- ***гетеротрофы*** (небольшая часть растений и микроорганизмов, животные, человек).

Автотрофы существуют за счет синтезированных ими же органических веществ и обеспечивают пищей все остальные живые организмы планеты.

Гетеротрофы извлекают необходимую им энергию из готовых органических веществ, поступающих с пищей. Продукты их дыхания — углекислый газ и вода могут вновь использоваться растительными организмами. В результате, в биосфере постоянно осуществляется круговорот вещества.

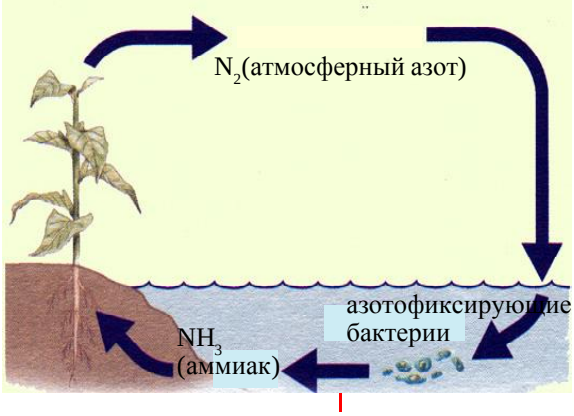
Биологический круговорот вещества — это *поступление атомов химических элементов из окружающей среды в живые организмы, преобразование их в новые соединения и возвращение атомов элементов в окружающую среду в процессе жизнедеятельности или разложения организма после отмирания.*

Важная роль в круговороте вещества принадлежит излучению.

Энергия, запасенная в потребляемой пище, не совершает круговорота. Частично она расходуется на построение новых клеток, обеспечение дыхания, обмена веществ и другие процессы. Энергия, затраченная на поддержание процессов жизнедеятельности одних организмов, не может быть использована другими. При передаче энергии по пищевой цепи часть энергии рассеивается в окружающей среде, и ее поток постепенно ослабевает. В связи с этим, для поддержания круговорота вещества необходим постоянный приток энергии извне.

Энергия непрерывно поступает на Землю из Космоса, в основном, в виде *солнечного излучения*. С помощью этой энергии поддерживается жизнедеятельность царств бактерий, растений, животных, грибов.

Круговорот азота в природе



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Кроме того, солнечное излучение существенно влияет на климатические и другие геофизические явления:

- формирование облаков;
- перемещение воздушных масс в земной атмосфере;
- перемещение водных масс в мировом океане;
- другие процессы, обеспечивающие функционирование биосферы как глобальной экосистемы планеты.

Вместе с тем, не следует забывать ту огромную роль, которую играют в поддержании теплового равновесия планеты процессы радиоактивного распада естественных радионуклидов, содержащихся в земном веществе. В процессе движения наша планета постоянно излучает энергию, которая в виде тепла рассеивается в космическом пространстве. Ядерная энергия, освобождающаяся в процессе распада земных радионуклидов, преобразуется в тепловую энергию, которая, наряду с солнечной энергией, восполняет потери энергии Земли.

Таким образом, космическое излучение и излучение, сопровождающее распад естественных радионуклидов, оказали существенное влияние на формирование и эволюцию биосферы Земли. Они обеспечивают сохранение и устойчивость биосферы.

В условиях первобытной Земли космическое излучение, а также излучение радионуклидов земной коры поставляли энергию и способствовали синтезу биополимеров. Эти сложные органические вещества стали «строительным материалом» для примитивных видов живых организмов.

Последующий этап эволюции привел к образованию у некоторых организмов фотосинтетического аппарата и получению углеводов и кислорода из углекислого газа и воды с использованием энергии солнечного излучения.

Образование в процессе фотосинтеза свободного кислорода способствовало появлению на Земле новых видов живых организмов.

Благодаря солнечной радиации из свободного кислорода был рожден и озон, из которого и сформировался озоновый слой. До сих пор этот слой служит защитным экраном для всего живого от губительного космического излучения высоких энергий.

Существование организмов и биосферы в целом, наряду с другими процессами, поддерживают:

- непрерывное поступление на Землю солнечной радиации;
- выделение ядерной энергии в виде ионизирующего излучения, сопровождающего процесс радиоактивного распада радионуклидов, входящих в состав планетного вещества.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

5.2. *Действие ионизирующего излучения на биологические молекулы и клетки*

Радиационный фактор является лишь одним из множества факторов внешней среды, воздействующих на живые организмы. Однако со второй половины XX века влияние радиационного фактора заметно возросло. Испытания ядерного оружия и аварии на ядерных производствах сопровождались значительными выбросами радионуклидов искусственного происхождения в окружающую среду, что привело к увеличению радиационного фона на планете.

Все больше искусственных источников ионизирующего излучения входит в нашу жизнь, принося пользу людям. Так, применение подобных источников для выявления причин и лечения различных заболеваний усовершенствовало медицинскую диагностику и терапию, подняв их на качественно новый уровень.

В то же время использование дополнительных источников ионизирующего излучения увеличивает воздействие радиации на человека.

Как же рост радиационного фона отражается на жизни людей, окружающей природе и биосфере в целом? Может ли жизнь продолжаться там, где природная среда загрязнена радиоактивными веществами?

Чтобы ответить на эти вопросы, прежде всего, следует выяснить, каким же образом ионизирующее излучение действует на биологические объекты на всех уровнях организации живой материи.

- *Острое* облучение — это кратковременное воздействие ионизирующего излучения на биологический объект с поглощением *большой дозы* излучения.
- *Хроническое облучение* — это продолжительное воздействие ионизирующего излучения на биологический объект. Как правило, подобное облучение происходит при поглощении небольшой *дозы излучения (не более 1 мГр в год)*.

Как оказалось, на практике большие дозы облучения люди получают чрезвычайно редко. В подавляющем большинстве случаев имеют дело не с *острым*, а с *хроническим* облучением при небольшой мощности эффективной дозы. В таких случаях радиационные эффекты проявляются чрезвычайно редко и через большой промежуток времени после облучения, что значительно затрудняет их изучение. Заболевания, инициированные облучением, немногочисленны, и по клиническим признакам практически невозможно достоверно определить, вызваны ли они облучением или другими причинами нерадиационного характера.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Большинство имеющихся данных по влиянию ионизирующего излучения на организм человека получено в результате медицинских наблюдений за группами людей, получивших *большие дозы* облучения при ядерных взрывах. Немаловажную роль играют и радиобиологические исследования животных после получения ими значительных доз облучения, вызывающих заметные биологические эффекты. Накопленные данные по влиянию больших и средних доз облучения на организм человека и животных экстраполируют (распространяют) на область *малых доз*.

Действие ионизирующего излучения на живую материю отличается от других видов воздействий. Так, тепловая энергия поглощается в биологической ткани непрерывно и распределяется относительно равномерно по всему объему ткани. Энергия же ионизирующего излучения поглощается отдельными порциями и концентрируется в определенных местах биологической ткани.

В результате воздействия ионизирующего излучения на живую материю происходят процессы, в которых можно выделить следующие этапы:

- *физический* — поглощение энергии и возникновение возбужденных и ионизированных молекул;
- *физико-химический* — перераспределение поглощенной энергии излучения возбужденными молекулами;
- *химический* — образование свободных радикалов;
- *молекулярно-биологический* — изменение в структуре биологических молекул и клеток, которые могут приводить к нарушению выполняемых ими функций.

Биологические молекулы — это органические молекулы, из которых построен живой организм и которые выполняют важную роль в жизнедеятельности организма. Различают
- *малые биомолекулы* — молекулы аминокислот, глицерола, холина, высших карбоновых кислот, моносахаридов и т. д.
- *молекулы биополимеров* — макромолекулы, состоящие из большого числа повторяющихся звеньев — *мономеров*.

К *биополимерам* относят *полисахариды, белки, нуклеиновые кислоты*. Соответствующие *мономеры* — *моносахариды*, *аминокислоты, нуклеотиды*

Каждый из этих процессов происходит спустя какое-то время после воздействия излучения на организм. Ниже перечислены основные процессы, протекающие в организме при облучении, и время, прошедшее после облучения, когда реализуются эти процессы (время проявления).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Основные процессы, протекающие при облучении организма и время их проявления

Процесс	Время проявления
Поглощение энергии фотонного (рентгеновского, *гамма*) и нейтронного излучений	10^{-24} - 10^{-4} с
Поглощение энергии корпускулярного излучения заряженных частиц (*альфа*-, *бета*-, протонного)	10^{-15} - 10^{-8} с
Перераспределение энергии. Ионизация и возбуждение молекул	10^{-12} - 10^{-8} с
Химические повреждения биологических молекул в результате их ионизации и возбуждения (*прямое действие* излучения)	10^{-7} - 10^{-5} с
Образование свободных радикалов (*косвенное действие* излучения)	Несколько часов
Изменения структуры молекул белков, нуклеиновых кислот после облучения в процессе обмена веществ (*биомолекулярные повреждения*)	От нескольких микросекунд до нескольких часов
Проявление *ранних биологических эффектов*. Возможны: • гибель клеток, • временные функциональные нарушения • гибель отдельных организмов	От нескольких минут до нескольких недель
Проявление *отдаленных биологических эффектов*. Возможны: • стойкое нарушение физиологических функций организма, • соматические эффекты (раковые заболевания), • генетические мутации, влияющие на потомство, • гибель организма.	Годы, столетия

Действие ионизирующего излучения на биологические объекты может быть *прямым* и *косвенным*.

Прямое (непосредственное) действие излучения приводит к возбуждению и ионизации биологических молекул, появлению радикалов. Становятся возможными химические реакции с участием образующихся под действием излучения ионов и радикалов. В результате, происходит химическое преобразования биологических молекул, которое может приводить к повреждению клетки.

Радикалы — атомы или атомные группировки с неспаренными электронами

Время жизни свободных радикалов составляет всего 10^{-15} с.

Косвенное действие излучения связано, главным образом, с радиолизом воды — ее химическим преобразованием под действием ионизирующего излучения.

Тело человека, в основном, состоит из воды. Ее содержание в отдельных видах клеток может достигать 90 % клеточной массы.

Под влиянием ионизирующего излучения молекула воды способна терять электрон с образованием положительно заряженного иона.

$$H_2O \longrightarrow \mathbf{H_2O^+} + \mathbf{e^-}$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Освободившийся электрон, передавая энергию окружающим молекулам воды, переводит их в возбужденное состояние ($\mathbf{H_2O^*}$). Возбужденные молекулы воды диссоциируют с образованием радикалов $\mathbf{H^\bullet}$ и $\mathbf{^\bullet OH}$:

$$\mathbf{H_2O^*} \longrightarrow \mathbf{H^\bullet} + \mathbf{^\bullet OH}$$

Образовавшиеся свободные радикалы $\mathbf{H^\bullet}$ и $\mathbf{^\bullet OH}$ химически активны и могут легко взаимодействовать друг с другом с образованием разнообразных продуктов (молекул воды, водорода и пероксида водорода):

$$\mathbf{H^\bullet} + \mathbf{^\bullet OH} \longrightarrow H_2O$$

$$\mathbf{H^\bullet} + \mathbf{H^\bullet} \longrightarrow H_2$$

$$\mathbf{^\bullet OH} + \mathbf{^\bullet OH} \longrightarrow H_2O_2$$

Свободные радикалы могут взаимодействовать и с другими веществами, присутствующими в водной среде, в том числе и с органическими молекулами. Происходящие химические преобразования органических молекул, в основном, обусловлены действием высокоактивных радикалов $\mathbf{H^\bullet}$ и $\mathbf{^\bullet OH}$, которые способны разрушать химические связи в биологических молекулах.

Если формулу органической молекулы условно представить в виде RH, где **H** – реакционноспособный атом водорода, а R – остальная часть молекулы, то взаимодействие с радикалами $\mathbf{H^\bullet}$ и $\mathbf{^\bullet OH}$ можно описать в таком виде:

$$R\mathbf{H} + \mathbf{^\bullet OH} \longrightarrow R^\bullet + H_2O$$

$$R\mathbf{H} + \mathbf{H^\bullet} \longrightarrow R^\bullet + H_2$$

Органические радикалы $R^\bullet$, так же как и свободные радикалы, образующиеся при радиолизе воды, могут вступать в реакции с другими молекулами, что, в конце концов, и приводит к *биологическим нарушениям*.

Радикалы $R^\bullet$ могут взаимодействовать и с кислородом, поступающим в организм из воздуха в процессе дыхания. При этом образуются перекисные радикалы $R\mathbf{O_2^\bullet}$:

$$R^\bullet + \mathbf{O_2} \longrightarrow R\mathbf{O_2^\bullet}$$

Перекисные радикалы также могут вызывать биологические нарушения в организме.

Таким образом, *инициированные излучением химические реакции в водных растворах происходят преимущественно с участием свободных радикалов*. Каждый из радикалов вступает в специфические реакции с макромолекулами (биополимерами), в результате чего возникают биологические молекулы с

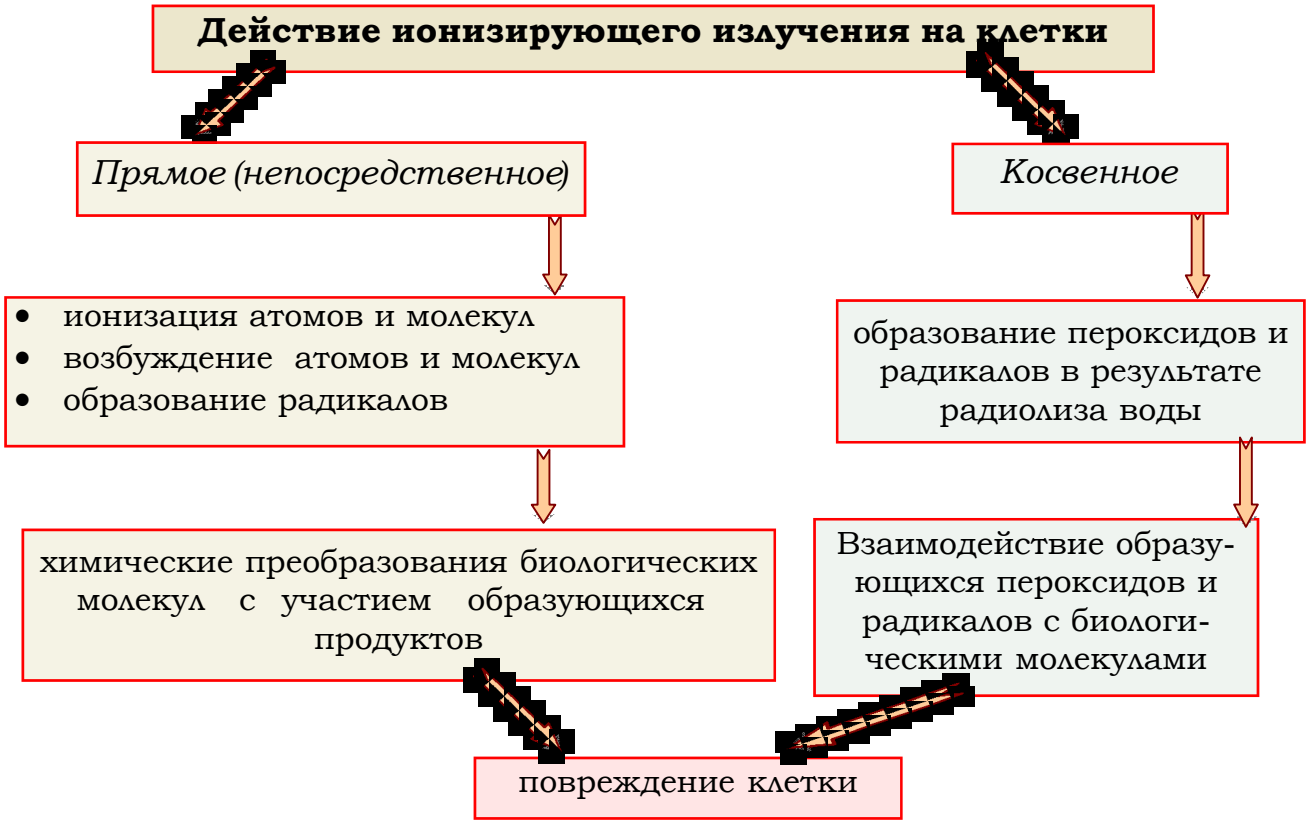
Возбужденная молекула — молекула, в которой электроны входящих в нее атомов находятся в возбужденном состоянии, однако энергии возбуждения недостаточно для отрыва электрона от молекулы

Биологические нарушения — изменения структуры и функций биологических молекул в живых клетках, которые приводят к биохимическим, физиологическим и другим изменениям в организме.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

измененными структурными и функциональными характеристиками Эти молекулы взаимодействуют друг с другом и с окружающими молекулами, что может приводить к биологическим нарушениям, вплоть до таких, которые могут стать причиной гибели клеток.

В общем виде действие ионизирующего излучения на клетки живых организмов схематически можно представить следующим образом:



Клетка являетс основной структурной единицей биологической материи. Из клеток состоят все органы и ткани живого организма.

Чтобы разобраться в том, какие изменения в клетке может вызывать ионизирующее излучение, напомним кратко строение клетки.

Строение клетки

Клетка — мельчайшая структурно-функциональная единица всех живых организмов, наделенная всеми основными признаками живой материи. Для нее характерны обмен веществ и энергии, наследственность и изменчивость. Клетка может расти и развиваться, реагировать на раздражение, размножаться, она способна к саморегуляции.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

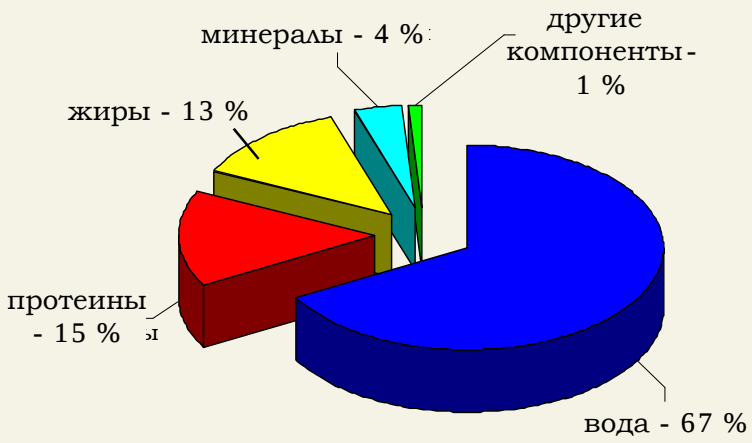
Клетка состоит из цитоплазмы и ядра, которые с помощью плазматической мембраны ограждены от внешней среды. В то же время с помощью этой мембраны осуществляется контакт между соседними клетками. Вместе цитоплазма и ядро представляют собой живое содержимое клетки — протопласт.

Ядро клетки является главным управляющим центром клетки. Оно имеет сложное строение и совсем не похоже на ядро атома. В *ядре* хранится наследственная информация.

Цитоплазма представляет собой высокоорганизованную многофазную коллоидную систему сложной структуры, расположенную между ядром и плазматической мембранной. В *цитоплазме* находятся органеллы (рибосомы, митохондрии и т. д.), выполняющие специфические функции в процессе жизнедеятельности клеток. Схема строения животной клетки с указанием функций ее основных компонентов приведена на странице 113.

В состав клеток входят: вода, минеральныевещества и биологические молекулы сложного состава. Биологические молекулы играют чрезвычайно важную роль в жизнедеятельности клетки. К числу биологических молекул относятся *белки*, *липиды*, *углеводы*, *нуклеиновые кислоты*.

Типичный состав животной клетки



Молекулы *белков* образуют основной строительный материал клетки. Они состоят из *аминокислот*. Сотни тысяч присутствующих в организме белков различаются лишь количеством и расположением составляющих их аминокислот, число которых равно 20.

Важную роль в образовании белка играют *нуклеиновые кислоты* — фосфорсодержащие биополимеры, обеспечивающие хранение и передачу наследственной информации. *Нуклеиновые кислоты* состоят из нуклеотидов — сложных веществ, в состав которых входит азотистое основание, пятиуглеродный сахар и остаток фосфорной кислоты.

В *ядрах* клеток находятся сведения о том, какие аминокислоты и в каком порядке должны содержаться в молекуле белка.

Хромосомы — "сейфы для хранения рецептов образования *белков*".

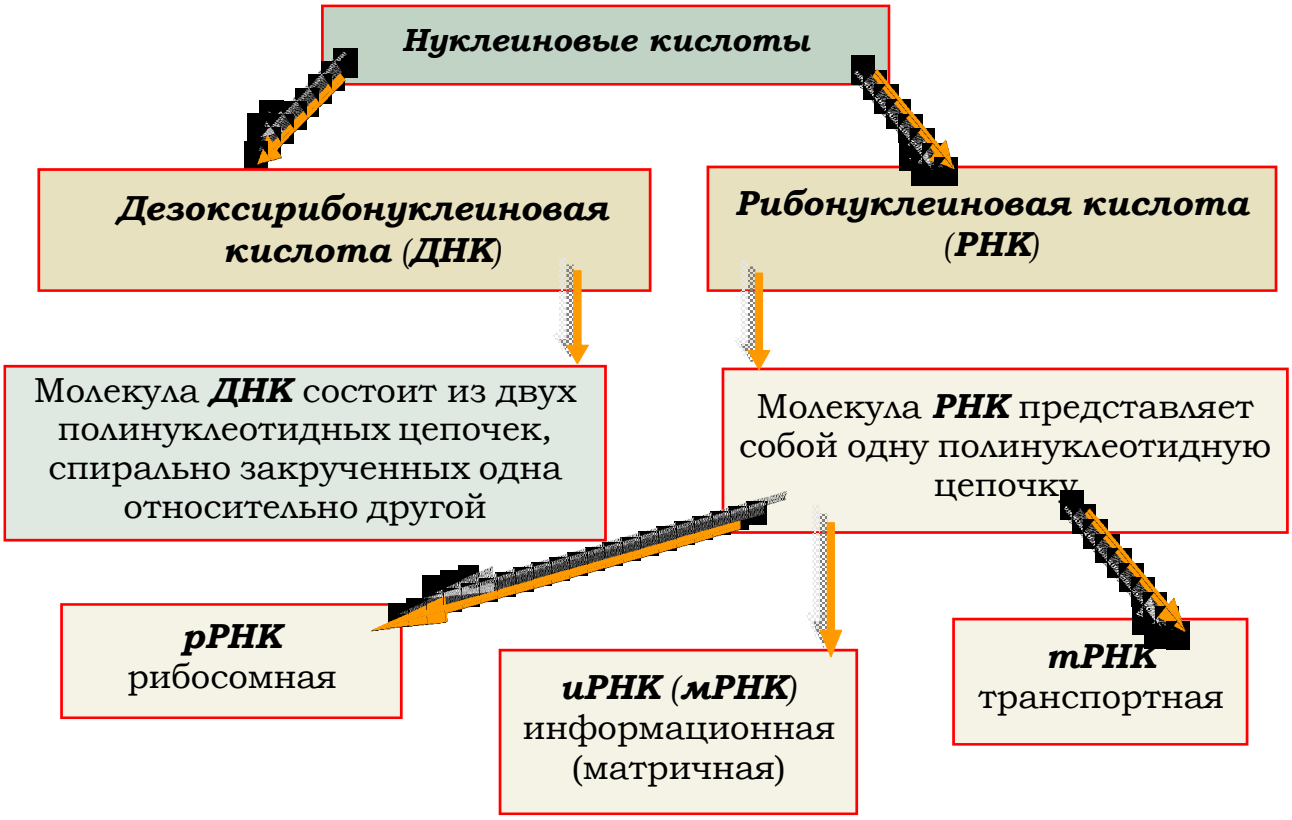
Хромосомы в закодированной форме (в виде последовательности нуклеотидов *ДНК*) содержат информацию

- о каждой клетке,
- обо всем организме, включая его индивидуальные характеристики

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Среди нуклеиновых кислот различают *дезоксирибонуклеиновую кислоту* (***ДНК***) и *рибонуклеиновую* (***РНК***).

Молекула ***ДНК*** состоит из двух полинуклеотидных цепочек, спирально закрученных одна относительно другой . Молекула ***РНК*** представляет собой одну полинуклеотидную цепочку.



Молекулы ***ДНК***, обнаруженные, в основном, в ядрах клеток, относятся к числу наиболее важных биологических молекул. По сравнению с другими биологическими молекулами, молекулы ***ДНК*** огромны.

ДНК – самые крупные биологические молекулы. Их длина в развернутом виде — *от 0,25 мм* (у некоторых бактерий) *до 40 мм* (у человека).

Масса молекулы ***ДНК*** — $6 \cdot 10^{-12}$ *г.*

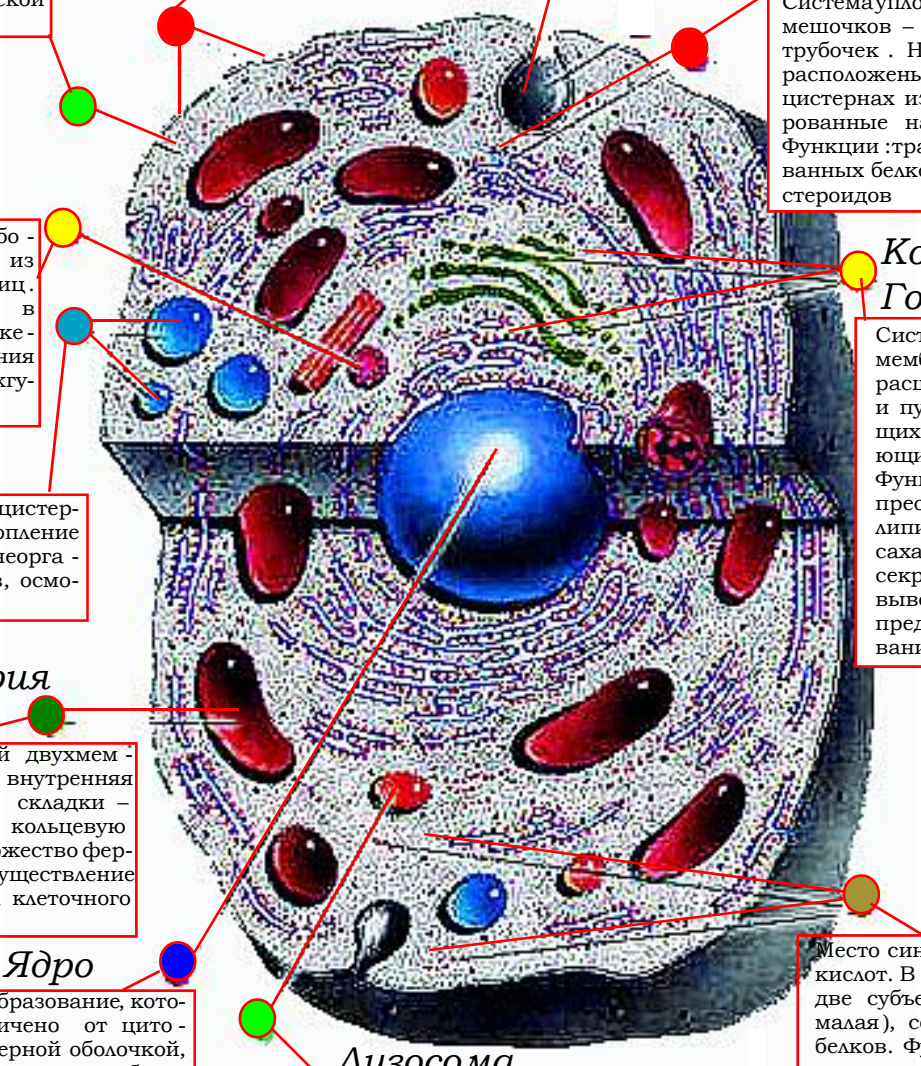
Длина самой крупной молекулы *белка* не превышает *0,0002 мм.*

Молекула ***ДНК*** контролирует структуру и функцию клетки. Она способна копировать себя. Ядро клетки , благодаря наличию в нем ***ДНК***, является информационным центром клетки, местом хранения наследственной информации, которая определяет все специфические признаки данной клетки и организма в целом.

До сих пор не до конца ясно, как именно происходит повреждение клетки ионизирующим излучением. Нарушения могут возникать в любой части клетки. Многие из повреждений , вызванных облучением , связаны с изменением структуры ***ДНК***.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Схема строения животной клетки



Плазматическая мембрана

Состоит из двойного слоя липидов с погруженными в него белками. Функции: защита клетки, осуществление избирательной регуляции обмена веществ между клеткой и внешней средой, обеспечениеконтактамежду соседними клетками

Пиноцитозные пузырьки

Одномембранные цистерны. Функции: накоплениеводы и другихнеорганических веществ, осморегуляция

Цитоплазма

Все содержимое клетки, заключенное между плазматической мембраной и ядром

Эндоплазматический ретиликум (ЭР)

Системауплощенныхмембранных мешочков – цистерн, полостей, трубочек. На шероховатом ***ЭР*** расположены рибосомы. В его цистернах изолируются синтезированные на рибосомах белки. Функции :транспорт синтезированных белков, синтез липидов и стероидов

Центриоль

Система микротрубочек, построенных из белковых субъединиц. Функции : участие в образовании цитоскелета, веретена деления клетки, ресничек и жгутиков

Комплекс Гольджи

Система плоских одномембранных цистерн, расширенных на концах, и пузырьков, отцепляющихся или присоединяющихся к цистернам. Функции : накопление, преобразование белков и липидов, синтез полисахаридов, образование секреторных пузырьков, выведение веществ за пределы клетки, образование лизосом

Вакуоль

Одномембранные цистерны. Функции: накопление воды и других неорганических веществ, осморегуляция

Митохондрия

Представляет собой двухмембранную структуру; внутренняя мембрана образует складки – кристы. Содержит кольцевую ***ДНК***, рибосомы, множество ферментов. Функции: осуществление кислородного этапа клеточного дыхания

Рибосома

Место синтеза белков из аминокислот. В состав рибосом входят две субъединицы (большая и малая), состоящие из ***рРНК*** и белков. Функция: сборка белковых молекул

Ядро

Округлое образование, которое ограничено от цитоплазмы ядерной оболочкой, состоящей из двух мембран. Внутри ядра находятся хромосомы, состоящие преимущественно из ***ДНК*** и белка. Функции: хранение и передача дочерним клеткам генетического материала в неизменном виде, регуляция клеточной активности

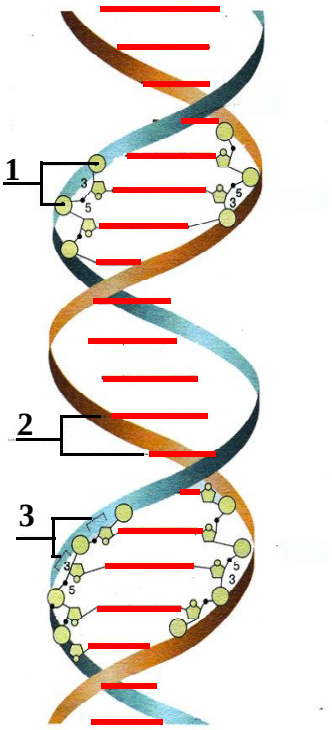
Лизосома

Одномембранные пузырьки, содержащие гидролитические ферменты. Функции : внутриклеточное переваривание, расщепление повреждённых органелл, отмерших клеток органов

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Действие ионизирующего излучения на молекулы ***ДНК***

Сегмент молекул ДНК



1- фосфаты;
2- азотистые основания;
3- дезоксирибоза

Как для любой биологической материи, существует два способа повреждения ***ДНК*** ионизирующим излучением : *прямое* и *косвенное* . При *прямом* повреждающем действии излучение может непосредственно ионизировать молекулу ***ДНК***, что и приведет к изменению ее структуры. Структура молекулы ***ДНК*** может меняться и *косвенным путем* — при взаимодействии ***ДНК*** со свободными радикалами, образующимися в результате радиолиза воды, входящей в состав клетки.

Различают следующие *виды повреждения* ***ДНК***:

- *однонитевые разрывы* — разрыв одной из цепочек ***ДНК***,
- *двунитевые разрывы* — разрыв обеих цепочек ***ДНК***,
- *изменение структуры азотистых оснований.*

Под действием ионизирующего излучения чаще всего повреждается одна нить ***ДНК***. В целом, повреждения ***ДНК*** зависят от величины поглощенной дозы. Далеко не все повреждения ***ДНК*** приводят к существенным генным и хромосомным изменениям, т. к. в клетках интенсивно идут восстановительные процессы. В ходе этих процессов до 90 % всех первичных повреждений исправляется полностью или частично.

При большой поглощенной дозе величиной в *1 Гр* в каждой облученной клетке человека повреждается до 5 000 оснований молекул ***ДНК***, возникает около 1 000 одиночных и 10 – 100 двойных разрывов .

Вероятность повреждения ***ДНК*** зависит от вида ионизирующего излучения. При воздействии на ***ДНК*** *бета-* и *гамма*-излучений вероятность повреждения обеих цепочек ***ДНК*** меньше, чем при воздействии *альфа*-излучения.

Репарация ***ДНК***

Восстановление структуры поврежденной ***ДНК*** называют *репарацией* ***ДНК***. Если ущерб нанесен только *одной цепочке* ***ДНК***, то репарация осуществляется за счет информации с неповрежденной второй цепочки. Нарушения структуры ***ДНК*** могут устраняться путем удаления части цепочки с поврежденными звеньями ***ДНК*** и использования неповрежденной цепи в качестве основы для повторного синтеза поврежденного участка ***ДНК***.

Репарация ***ДНК*** при повреждении *двух цепочек* затруднена.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Однонитевые, двунитевые разрывы ***ДНК*** и изменения *структуры* азотистых оснований могут привести к искажению либо утрате информации, хранящейся в *генах*.

Помимо изменений ***ДНК*** ионизирующее излучение может вызывать изменение и других биологических молекул.

Ген — участок молекулы ***ДНК***, ответственный за хранение информации по определенному наследуемому признаку организма

Действие ионизирующего излучения на молекулы белка

Молекулы белков отличаются огромным разнообразием. Последствия их облучения зависят от:

- типа облучаемого *белка*,
- вида и энергии излучения,
- продолжительности облучения.

Схематически изменения, которые могут происходить в белковых молекулах под действием ионизирующего излучения, представлены ниже.



Большое количество разнообразных белковых молекул и их постоянное обновление в организме позволяет организму противостоять воздействию радиации.

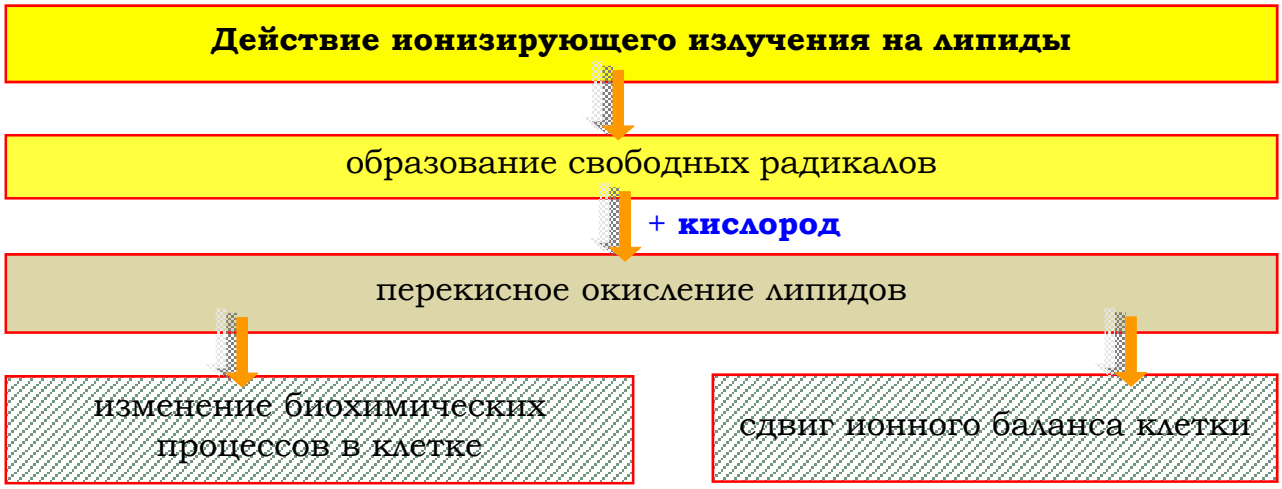
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Действие ионизирующего излучения на липиды

Липиды — жироподобные органические вещества, нерастворимые в воде. Они входят в состав биологических мембран, а также играют роль запасных питательных веществ в организме, накапливаясь в отдельных частях тела.

Липиды являются основой клеточных мембран. Многие процессы клеточного метаболизма происходят именно в мембранах. Поэтому перекисное окисление *липидов*, которое может быть вызвано облучением, влечет за собой изменение биохимических процессов в клетке, а нарушение целостности наружной мембраны — к сдвигу ионного баланса клетки.

Действие ионизирующего излучения на липиды и изменения, которые могут происходить в клетках при облучении, отражает следующая схема.



Действие ионизирующего излучения на углеводы

Углеводы (сахара) — источник энергии в организме. Как энергетический резерв, они присутствуют в организме человека в виде гликогена. Общая формула *углеводов* может быть представлена в виде $C_n(H_2O)_m$. Большинство природных углеводов — производные циклических форм моносахаридов.

Под действием излучения возможен отрыв атома водорода от молекулы *углевода*. При этом образуются свободные радикалы, а затем перекиси. В результате облучения из продуктов распада *углеводов* возможен синтез органического вещества,

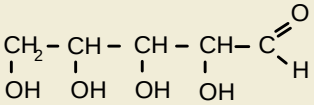
Примером моносахаридов могут служить ***пентозы***, среди которых различают

- *альдопентозы,*
- *кетопентозы,*

Альдопентозы

Все альдопентозы содержат альдегидные группы





PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

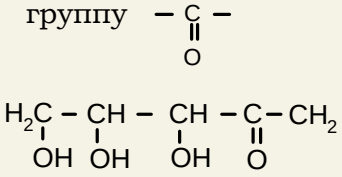
которое тормозит синтез ***ДНК*** и *белка* и подавляет деление клеток.

Разрушение *углеводов* сокращает запасы веществ, являющихся источниками энергии в организме, что может отразиться на функционировании многих жизненно важных систем организма.

Биологические молекулы образуют различные клеточные структуры. Изменения, возникающие в этих молекулах под действием ионизирующего излучения, могут приводить к повреждению клеточных мембран, ядра, митохондрий, лизосом, рибосом и, в итоге, нарушать функционированиеклетки. На следующих двух схемах показаны основные виды нарушений, которые могут возникать в результате действия ионизирующего излучения на различные составляющие клетки, там же отмечены нарушения, которые могут быть устранены путем восстановления (репарации) клеточных структур.

Кетопентозы

Все кетопентозы содержат кетонную группу $-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-$

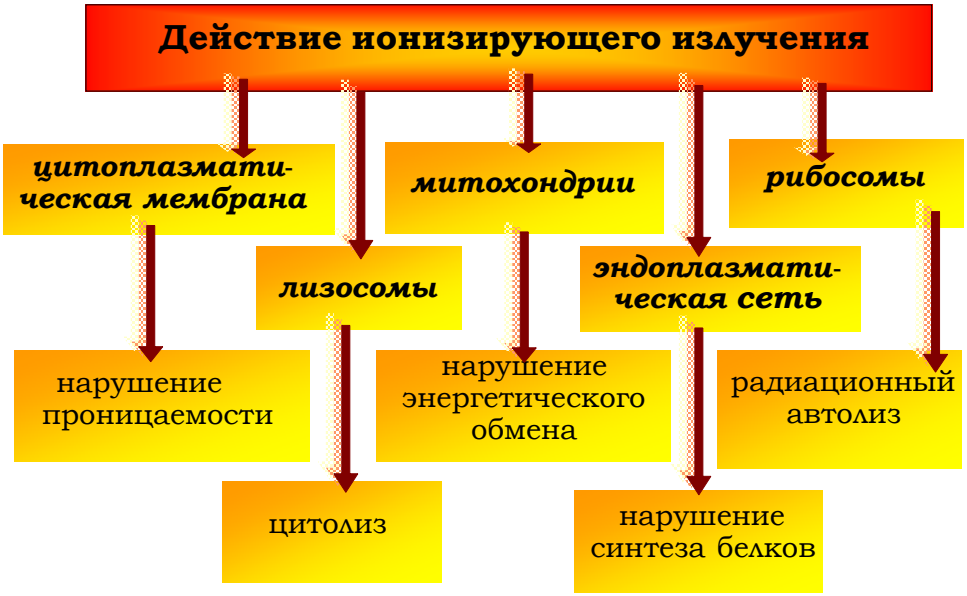




PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Автолиз – саморастворение, самопереваривание тканей, клеток или их частей под действием их собственных ферментов.

Цитолиз – полное или частичное растворение животной или растительной клетки. Происходит в норме при метаморфозе, и может также происходить при патологии.



В организме человека можно выделить множество видов *клеток*, которые выполняют самые разнообразные функции.

Различают *клетки половые* и *соматические* (клетки тела). Число *хромосом* в половых *клетках* в два раза меньше, чем в соматических.

Период существования клетки от момента ее образования путем деления материнской клетки до собственного деления или смерти называют *клеточным циклом* или *жизненным циклом клетки*.

Основные стадии клеточного цикла

Стадия клеточного цикла	Описание
Митоз	Способ деления соматических клеток. В результате митоза образуется две дочерние клетки, причем в каждой из них имеется точно такой же набор хромосом, как в родительской клетке, т. е. обеспечивается *равномерное распределение хромосом между двумя дочерними клетками*.
Интерфаза	В *делящихся клетках* эта стадия является частью клеточного цикла между двумя последовательными митозами В *неделящихся клетках* (например, нейронах) это период от последнего митоза до смерти клетки. В интерфазе происходят процессы, связанные с *ростом, подготовкой клетки к делению и репликация* ***ДНК***. Продолжительность интерфазы составляет до 90 % продолжительности всего клеточного цикла.

Митоз — основной способ деления соматических клеток. При таком способе деления образуется две дочерние клетки с набором хромосом, который аналогичен набору родительской клетки.

Мейоз — способ деления клеток, в результате которого *уменьшается число хромосом в дочерних клетках*.

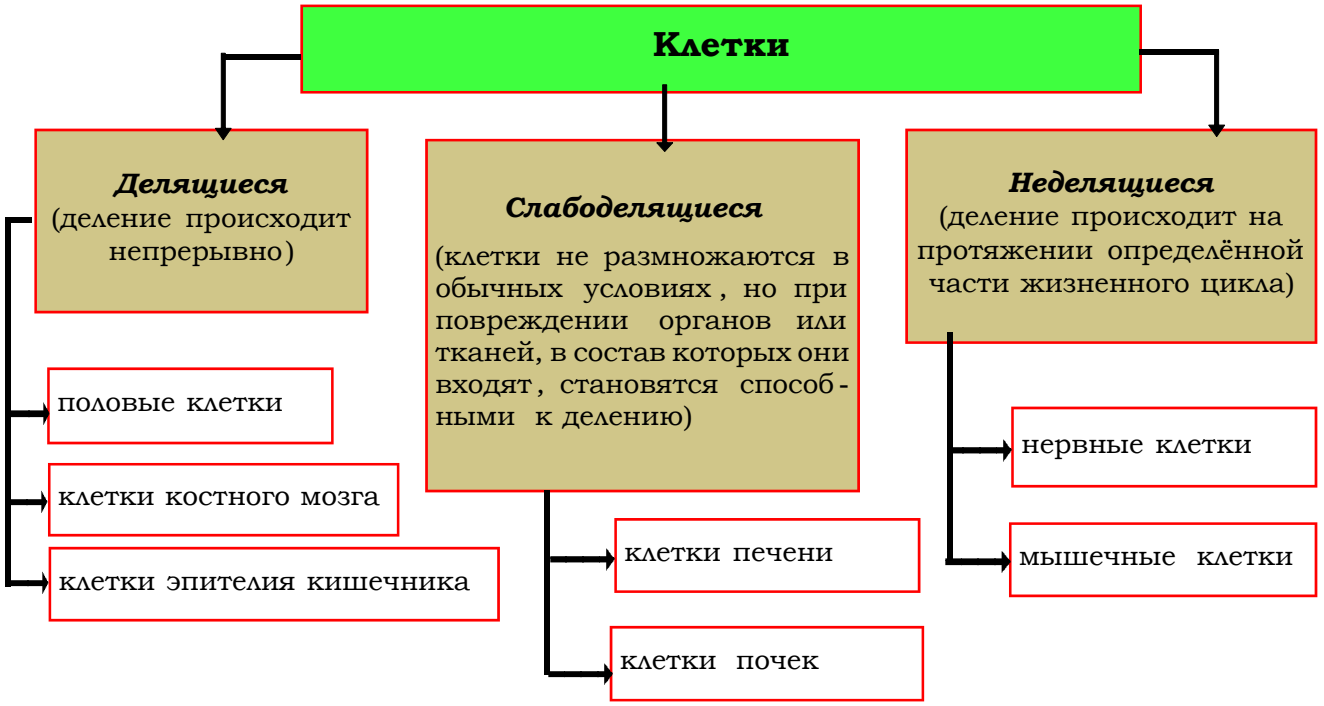
Посредством *мейоза* образуются половые клетки — *гаметы*.

После слияния половых клеток набор хромосом восстанавливается (удваивается).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Деление клеток обеспечивает непрерывное течение жизненного процесса.

По способности делиться все клетки организма человека делят на *делящиеся*, *слабоделящиеся* и *неделящиеся*.



На ранней стадии развития организма все *клетки* способны к делению. В процессе развития организма возникают различия между клетками, и часть клеток утрачивает способность делиться. Дифференцирование клеток приводит к возникновению специализированных клеток, из которых формируются специализированные ткани и органы.

Чувствительность *клеток* к ионизирующему излучению различна, но все они наиболее восприимчивы (радиочувствительны) в период деления.

Радиочувствительность — это способность биологических объектов к изменению под действием ионизирующего излучения

Делящиеся клетки менее устойчивы к действию ионизирующего излучения, чем неделящиеся.

Следовательно, растущая ткань (в детском организме) или ткань с высокой скоростью клеточного деления, более чувствительна к действию ионизирующего излучения по сравнению с другими тканями.

Если при облучении *клетки* происходит нарушение структуры молекулы ***ДНК***, может измениться генетический код. Это может приводить к прекращению синтеза ***РНК*** или к появлению аномальных молекул ***РНК***.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

При удвоении (репликации) ***ДНК*** эти изменения наследуются. В результате, могут появляться *клетки* с измененной наследственностью.

Повреждения ***ДНК*** могут проявляться в виде *мутаций* — наследуемых изменений генетического материала организма, которые при последующих делениях передаются новым образовавшимся *клеткам*.

Сильно поврежденные молекулы ***ДНК*** теряют способность к восстановлению. При этом *клетка* утрачивает способность делиться и гибнет.

Таким образом, если в результате облучения произошло повреждение генетического материала, но клетка сохранила способность к размножению, это может приводить к появлению измененного клеточного потомства.

Даже при незначительных поглощенных дозах возможна гибель отдельных клеток. Однако и при заведомо смертельных дозах отдельные клетки могут выжить.

Если клетка не способна размножаться, повреждение генетического материала может приводить к гибели *клетки*.

Первичные повреждения ***ДНК****, лежащие в основе мутаций, могут эффективно восстанавливаться с помощью репарационных систем клетки.*

Процесс репарации протекает при участии ферментативных систем *клетки*. Для репарации и поддержания последовательности оснований в ***ДНК*** расходуется значительное количество энергии клетки.

В клетках млекопитающих одиночные разрывы ***ДНК*** могут восстанавливаться в течение 15 минут.

Степень повреждения клетки зависит от величины поглощенной дозы и от ее распределения во времени.

Если при кратковременном облучении клетки поглощенная доза значительна (до *10 Грей*), в ее органеллах наблюдаются существенные изменения:

- нарушается проницаемость мембран,
- угнетается дыхание,
- происходят необратимые изменения молекул ***ДНК*** в ядре.

При *хроническом* (длительном) облучении такой же дозой наносимый клетке ущерб будет меньшим. Особенно это касается делящихся клеток.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Возможные виды реакции клеток на облучение

Митотическая (репродуктивная) ***гибель клеток***

Утрата клетками способности к размножению

Основная причина митотической гибели клеток – повреждение ее хромосомного аппарата, приводящее к нарушению синтеза ***ДНК***.

При большой дозе облучения, равной 1 Гр, в каждой клетке человека возникает до 1 000 однонитевых и до 100 двунитевых разрывов.

Радиационный блок митозов

Временная задержка деления клетки

Длительность задержки зависит от величины поглощенной дозы. На каждый Грей поглощенной дозы клетка отвечает задержкой митоза на 1 час. С увеличением дозы облучения увеличивается продолжительность деления каждой клетки. Длительность интерфазы увеличивается, что создает благоприятные условия для работы системы восстановления ***ДНК***.

В то же время, задержка деления приводит к тому, что клетки, находившиеся при облучении в интерфазе, не делятся в нужный момент.

При наступлении фазы митоза часть клеток не способна разделиться. В результате, объем клеточного материала увеличится, и образуются гигантские клетки. Из-за нарушения механической прочности мембран и изменения питания они, как правило, гибнут.

Другая часть облученных клеток, вступив в фазу митоза, способна делиться. Однако, после каждого процесса деления часть клеток может погибать. Чем больше митозов, тем больше число погибших клеток.

Клетки, которые сохранили способность к делению после 5 и более делений, считают выжившими.

Интерфазная гибель клеток

Гибель клеток в интерфазе до вступления в митоз

Для большинства соматических клеток человека гибель клеток в интерфазе регистрируется после облучения дозой в десятки и сотни Грей.

Лимфоциты, относящиеся к радиочувствительным клеткам, гибнут при значительно меньших дозах.

Ещё в начале XX века французские исследователи И. Бергонье и Л. Трибондо доказали, что ионизирующее излучение тем сильнее действует на клетки, чем интенсивнее они делятся и чем менее они дифференцированы.

Нарушения у делящихся клеток могут проявляться как непосредственно после облучения, так и по прошествии значительного периода времени после облучения.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Таким образом, в результате облучения клетки возможны следующие варианты:

- полное выживание клетки без всяких последствий,
- сохранение живой, но измененной клетки,
- гибель клетки.

В целом, степень воздействия ионизирующего излучения на клетки зависит от:

- дифференцированности клеток,
- способности клеток к делению,
- вида и энергии излучения,
- продолжительности облучения,
- состояния системы репарации ***ДНК***,
- активности ферментов, перерабатывающих продукты радиолиза,
- интенсивности окислительно-восстановительных процессов.

5.3. *Действие ионизирующего излучения на ткани, органы и системы органов*

Орган — это часть тела, имеющая определенную форму и строение и выполняющая в организме определенную функцию

Группы клеток в многоклеточном организме, сходные по происхождению, строению и функциям, вместе с межклеточным веществом образуют ткани.

У человека выделяют четыре типа тканей: *эпителиальные*, *соединительные*, *мышечные* и *нервную*. Ткани образуют органы (сердце, почки, печень, желудок и т. д.). Клетки, входящие в состав ткани или органа, зависимы друг от друга и от окружающей среды.

Системы органов (скелетная, пищеварительная, кроветворная и др.) обеспечивают жизнедеятельность организма.

Реакция ткани, органа или системы органов человека на радиационное воздействие зависит от нарушений, появляющихся в клетках, из которых они построены. Однако реакция на действие излучения не сводится только к сумме эффектов, возникающих при облучении клеток. Величина облучаемого участка тела, особенности его строения и функционирования, интенсивность кровообращения и другие факторы также влияют на радиочувствительность ткани, органа или системы органов.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Радиочувствительность органов и тканей

Радиационные повреждения, возникающие в органах и тканях, непосредственно связаны с повреждением, а иногда и с гибелью клеток, из которых они сформированы. В то же время клетки обладают уникальной способностью к самовосстановлению, и при небольших дозах облучения органы и ткани способны восстанавливать свои функции.

Относительную радиационную чувствительность органов или тканей к воздействию ионизирующих излучений учитывают с помощью *тканевых весовых множителей* W_T.

Напомним , что эти множители характеризуют относительный вклад каждого органа или биологической ткани человека в возникновение *стохастических радиационных эффектов* при равномерном облучении всего тела человека, когда эквивалентная доза для всех органов и биологических тканей организма одинакова . В этом случае сумма тканевых весовых множителей всех органов и тканей человека равна единице.

Существует зависимость между активностью деления клеток органа или ткани и подверженностью радиационным поражениям: чем выше активность деления, тем выше риск возникновения нарушений в результате воздействия ионизирующего излучения.

Наиболее чувствительны к воздействию ионизирующего излучения органы и ткани с интенсивно делящимися клетками. *Органы кроветворения* (костный мозг, лимфатические узлы, селезенка) и *пищеварения* (слизистые оболочки желудка и кишечника), *половые железы* (семенники и яичники) состоят из интенсивно делящихся клеток и относятся к наиболее радиочувствительным органам. По этой же причине сформировавшийся организм более устойчив к действию радиации, чем формирующийся организм ребенка или подростка .

Тканевые весовые множители, W_T

Ткань или орган	Весовой множитель W_T
Половые железы	0,20
Красный костный мозг	0,12
Легкие	0,12
Желудок	0,12
Толстый кишечник	0,12
Пищевод	0,05
Печень	0,05
Мочевой пузырь	0,05
Щитовидная железа	0,05
Молочные железы	0,05
Кожа	0,01
Поверхность костей	0,01
Остальные органы	0,05
Все тело	1,00

Стохастические радиационные эффекты проявляются в виде раковых и генетических заболеваний и наблюдаются при поглощенных дозах менее 1 Гр.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Большие поглощенные дозы гамма-излучения наблюдали среди:
- пострадавших от атомных бомбардировок в Хиросиме и Нагасаки,
- ликвидаторов Чернобыльской катастрофы.

При *высоких уровнях поглощенных* доз в тканях и органах человека возникают серьезные нарушения. Ниже описаны нарушения, которые, в основном, наблюдались при *высоких уровнях поглощенных* доз *гамма-* (или рентгеновского) излучения в результате ***однократного внешнего воздействия*** радиации на организм человека.

Реакция органов человека на действие *гамма-* (или рентгеновского) излучения

Орган или система органов		Доза	Эффекты
Печень		1 **Гр**	Возникновение хромосомных аберраций в 15 - 20 % клеток. Поскольку клетки печени практически не делятся, возникающие нарушения не ведут к гибели организма
		40 **Гр**	Развитие фиброза печени в течение одного месяца после облучения
Костный мозг		1 **Гр**	Возникновение хромосомных аберраций в 15 - 20 % клеток
Половые железы	***семенники***	0,1 **Гр**	Временная стерильность
		2 **Гр и выше**	Вероятность постоянной стерильности
	яичники	1 - 2 **Гр**	Возникновение временного бесплодия
		2,5 - 6 **Гр**	Развитие стойкого бесплодия
Кожа		5 **Гр**	Клетки эпидермиса (верхнего слоя кожи) могут восстанавливать повреждения
		10 **Гр**	Необратимые нарушения
Органы зрения		2 **Гр**	Появление воспалительных процессов
		2 - 6 **Гр**	Возникновение катаракты (помутнение хрусталика)
Сердце		5 - 10 **Гр**	Появление изменений в миокарде
		20 **Гр**	Поражение эндокарда и других структур сердца
Почки		30 **Гр**	Развитие нефросклероза
Легкие		50 **Гр**	100 %-ная смертность
Центральная нервная система		100 **Гр**	Гибель клеток

Хромосомные аберрации — структурные перестройки хромосом, сопровождающиеся их разрывом, за которыми обычно следует соединение разорванных концов в новых сочетаниях. При этом возможна утрата части генного материала клетки.

Из данных, приведенных в таблице, видно, что при *высоких уровнях* дозовых нагрузок в большинстве органов и систем органов возникают значительные нарушения. Все наблюдаемые радиационные эффекты

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

являются *детерминированными*. Они неизбежно возникают при указанных уровнях поглощенных доз *гамма*-(или рентгеновского) излучения (см. раздел 3.1).

Радиочувствительность органов и систем органов человека различна.

Максимальная радиочувствительность свойственна мужским половым органам. Однократное облучение семенников с поглощенной дозой 0,1 Гр приводит к временной стерильности. При поглощенной дозе от 1 до 2 Гр возможна длительная стерильность с полным восстановлением функции семенников лишь через несколько лет.

Яичники менее чувствительны к воздействию ионизирующего излучения.

Способность костного мозга и других элементов кроветворной системы нормально функционировать значительно снижается при поглощенных дозах порядка 1 Гр. Под действием ионизирующего излучения меняется проницаемость мембран эритроцитов (красных кровяных телец) и кровеносных сосудов. В результате, может нарушаться поступление кислорода и питательных веществ к клеткам различных тканей, а также удаление из них продуктов обмена. При этом возможны нарушения в развитии эритроцитов и даже гибель части эритроцитов. Недостаток же эритроцитов в организме может приводить к кислородному «голоданию» в тканях и снижению их жизнеспособности.

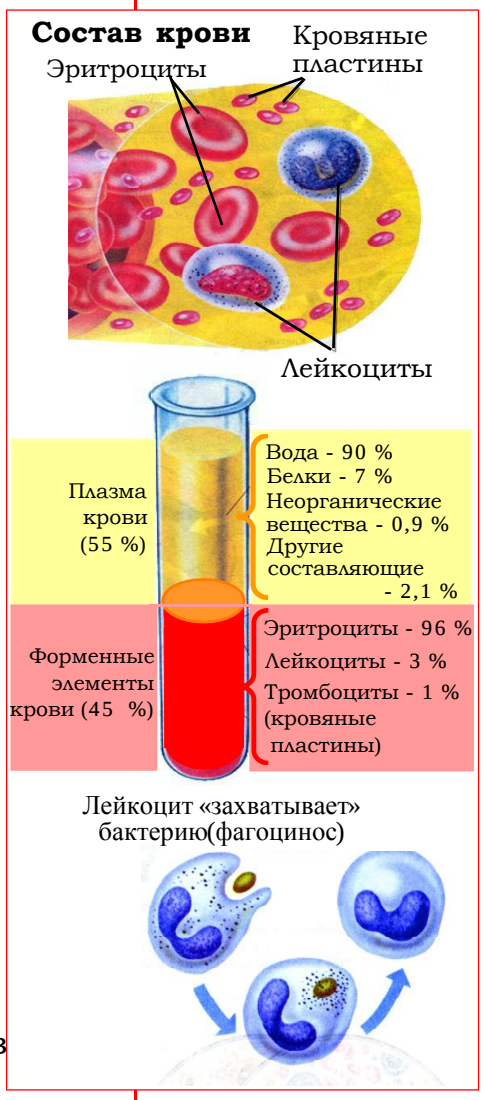
При *больших* дозах облучения могут развиваться лейкозы. Подобные заболевания онкологического характера были выявлены у ликвидаторов после Чернобыльской катастрофы (5 – 7 случаев в год на 100 000 человек в первые годы).

При *малых* дозах облучения повреждается лишь небольшая часть клеток, что иногда приводит к возникновению онкологических заболеваний кроветворных органов, однако, подобные заболевания могут и не возникать.

При *малых* дозах облучения может снижаться сопротивляемость организма к заболеваниям бактериальной и вирусной природы. Это может быть связано с уменьшением содержания или повреждением лейкоцитов и лимфоцитов, что приводит к снижению их спо-

Кровь состоит из *элементов крови* и *плазмы*.

Элементы крови – это *эритроциты*, *лейкоциты* (нейтрофилы, эозинофилы, базофилы, моноциты, лимфоциты) и *тромбоциты*.



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

собностиуничтожатьпатогенные микроорганизмы

Среди *органов пищеварения* наибольшей радиочувствительностью обладает тонкий кишечник.

Радиочувствительностьостальных органов пищеварения снижается в ряду: полость рта — язык — слюнные железы — пищевод — желудок — прямая и ободочнаякишка — поджелудочнаяжелеза — печень.

Печень более устойчива к действию радиации по сравнению с костным мозгом и кишечником, однако возникшие в ней нарушения сохраняются в течение продолжительного времени. Восстановление клеток печени происходитзначительномедленнее, чем клеток костного мозга или кишечника.

Радиочувствительность органов зависит от характера облучения (острое или хроническое, однократное или многократное).

*Острое*радиационноевоздействиевызываетболее существенные нарушения в органах и тканях, чем их *хроническое* облучение при аналогичных поглощенных дозах. Если органы или системы органов подвергаются облучению в течение длительного промежутка времени, уровни доз, при которых наблюдаются такие же нарушения, как и при остром радиационном воздействии, значительно выше. В случае хронического облучения организм располагает временем для восстановления поврежденных тканей и органов.

В органах, состоящих, в основном, из неделящихся клеток, радиационные эффекты обычно проявляются через значительный промежуток времени после облучения.

В органах или системах органов, в которых процесс деления клеток протекает интенсивно, нарушения проявляются уже в короткие сроки после облучения и при более низких уровнях доз.

При воздействии *гамма-* (или рентгеновского) излучения степень поражения органов человека уменьшается в следующей последовательности:

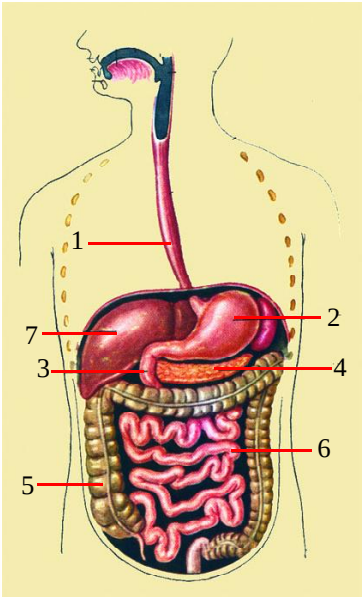
- органы кроветворения,
- половые железы,
- селезенка,
- лимфатические железы

- желудочно-кишечный тракт,
- печень,
- органы дыхания

- железы внутренней секреции:
  - Ø надпочечники,
  - Ø гипофиз,
  - Ø щитовидная железа,
  - Ø поджелудочная железа,
  - Ø паращитовидные железы

- органы выделения (почки, мочевой пузырь),
- мышечная и соединительная ткани,
- хрящи,
- нервная ткань

Пищеварительная система



1 - Пищевод
2 - Желудок
3 - Двенадцатиперстная кишка
4 - Поджелудочная железа
5 - Толстая кишка
6 - Тонкая кишка
7 - Печень

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

При достижении определенных ,как правило , высоких уровней доз облучения происходит поражение тех или иных систем организма , которое может приводить к возникновению *радиационных синдромов*.

« *Синдром* » в переводе с греческого означает «заболевание » или стадия заболевания

Радиационные синдромы

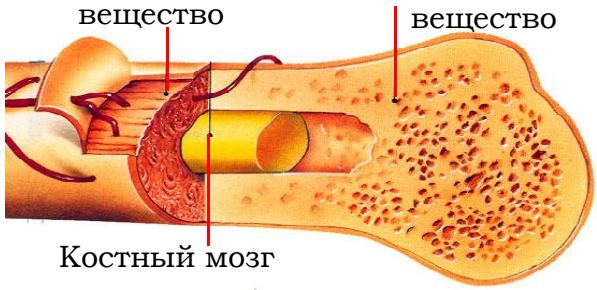
При значительных дозах ионизирующее излучение в разной степени поражает те или иные органы и ткани, но причиной гибели организма может быть поражение даже *одного* органа, называемого *критическим*.

Критическим является такой жизненно важный орган (ткань или система органов), который при равномерном облучении всего тела является наиболее радиочувствительным и первым повреждается в данном диапазоне доз.

Равномерное облучение — это облучение с одинаковой эквивалентной дозой для всех органов и тканей организма.

Радиационное поражение критического органа связано с поражением или гибелью определенной части клеток, из которых сформирован этот орган.

Строение кости



При небольших уровнях поглощенных доз, благодаря способности клеток к восстановлению, ткани и органы способны относительно быстро восстанавливать свои функции.

Если нарушения , вызванные облучением, не восстанавливаются, их называют *необратимыми* . Необратимое поражение *критического* органа (ткани или системы органов) наблюдается , как правило , *при высоких уровнях доз*. Такие нарушения приводят к гибели организма в определенные сроки после облучения.

В результате необратимого поражения определенных систем организма развиваются *радиационные синдромы*.

Радиационный синдром — это необратимое повреждение жизненно важной системы органов под действием ионизирующего излучения.

При необратимом поражении кроветворной системы развивается *костно-мозговой* (*кроветворный*) синдром, кишечника — *желудочно-кишечный*, центральной нервной системы — *церебральный*.

Кроветворная система и желудочно -кишечный тракт характеризуются большой скоростью клеточного обновления и поражаются при меньших уровнях поглощенных доз по сравнению с центральной нервной системой, клетки которой не делятся.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Краткая характеристика основных видов радиационных синдромов, которые наблюдаются у человека при определенных уровнях поглощенных доз *гамма-* (или рентгеновского) излучения, приведена на следующей схеме.



Как видно из приведенной схемы, радиационные синдромы наблюдаются при *высоких* уровнях поглощенных доз *гамма-* (или рентгеновского) излучения. При *таких дозах облучения* в кроветворной и желудочно-кишечной системах развиваются сходные изменения:

- происходит гибель молодых, делящихся клеток,
- прекращается клеточное деление и возобновление клеток.

Клетки, завершившие свой жизненный цикл, отмирают, и их количество перестает восполняться.

В результате, число зрелых клеток сокращается. Однако кроветворная система обладает способностью к регенерации. Поэтому, если доза облучения не вызывает повреждения *всех* стволовых клеток костного мозга, *функции кроветворения восстанавливаются*.

Радиационные синдромы наблюдаются лишь в исключительных случаях и, как правило, только при высоких уровнях поглощенных доз, которые на практике редко реализуются.

Находящиеся в крови клетки сами по себе не делятся. Они образуются в результате активного деления *стволовых клеток*, которые являются исходной формой всех клеток крови.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

5.4. *Действие ионизирующего излучения на организм человека*

Ионизирующее излучение может вызвать поражение и организма человека в целом. Степень и характер этого поражения определяют:

- величина поглощенной дозы,
- продолжительность облучения,
- характер облучения (внешнее или внутреннее),
- радиочувствительность тканей, органов и систем органов, подвергшихся воздействию излучения,
- индивидуальные особенности организма,
- другие факторы.

Организм каждого человека *обладает индивидуальной радиочувствительностью*.

Индивидуальная радиочувствительность организма зависит от:

- *возраста*, (определяет интенсивность процессов клеточного деления в момент облучения)
- *половой принадлежности*
- *физиологического и психо-эмоционального состояния человека*

Внешнее облучение

Последствия облучения зависят от радиочувствительности тканей, органов и систем органов, подвергшихся воздействию излучения.

Различные организмы по-разному реагируют на действие радиации. Поскольку млекопитающие по многим физиологическим параметрам близки человеку, результаты изучения биологических эффектов, вызванных действием ионизирующего излучения на этих животных, представляют чрезвычайную ценность.

Как показали исследования, большинство млекопитающих гибнет при получении поглощенной дозы *гамма*- (или рентгеновского) излучения, равной 10 Гр. Некоторые животные организмы (моллюски, дождевые черви, насекомые) могут выживать и при дозах облучения в десятки и даже сотни Грей. Среди млекопитающих также есть уникальные виды (например, длиннохвостый суслик и другие грызуны высокогорных пустынь), обладающие высокой устойчивостью к действию радиации.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Подобные различия связаны с биологическими особенностями облучаемых организмов.

При внешнем воздействии ионизирующего излучения последствия облучения человека , помимо перечисленных выше факторов, зависят от характера облучения:

Равномерное облучение

- равномерное или неравномерное,
- острое или хроническое,
- однократное или многократное.

Реакция организма человека на равномерное внешнее облучение

Поглощенная доза, Гр	Реакция организма
0 - 0,25	Отсутствие явных повреждений
0,2 - 0,5	Возможное изменение состава крови
0,5 - 1	Изменения в крови, усталость, слабая тошнота
1 - 2	Изменения в составе крови, рвота, явные патологические изменения. Развитие легкой степени лучевой болезни
2 - 4	Кровоизлияния. Временная стерильность
3 - 5	Тяжелая степень лучевой болезни. Смертность приближается к 50 %
6	Повреждения центральной нервной системы. Смертность приближается к 100 %
> 8	Смерть практически неизбежна

Лучевая болезнь

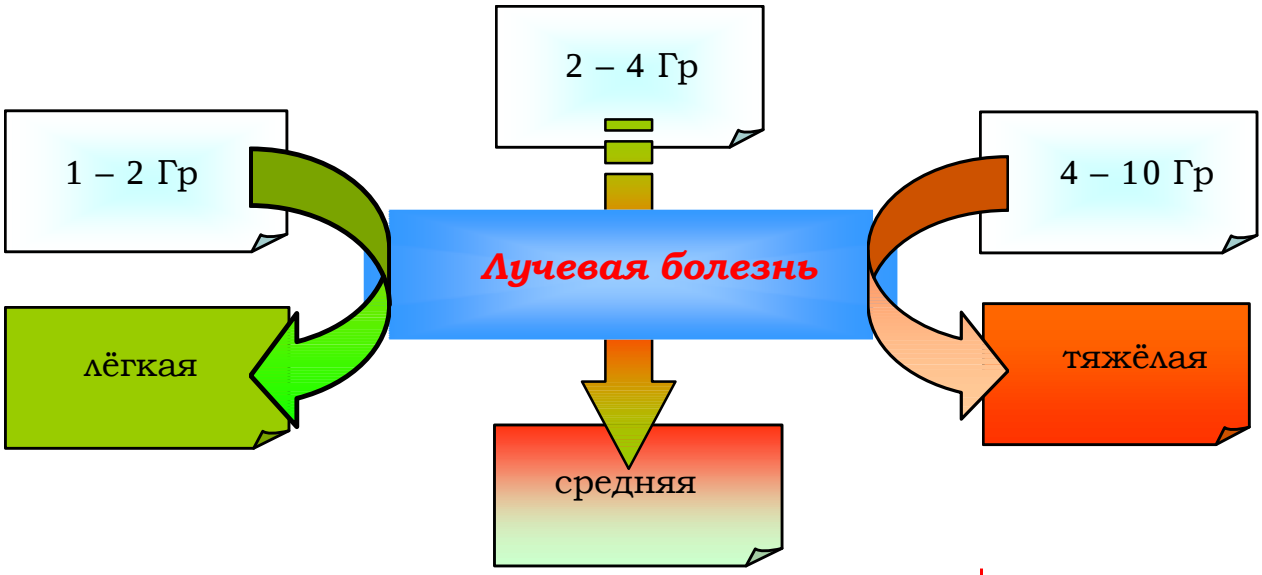
Большие дозы ионизирующего излучения приводят к *лучевой болезни.*

Лучевая болезнь — это комплексная реакция организма на большие дозы ионизирующего излучения.

Лучевая болезнь может быть острой и хронической. Кратковременное действие ионизирующего излучения в больших дозах может приводить к *острой лучевой болезни*. Например, *при однократном равномерном внешнем* облучении *острая лучевая болезнь* может возникать как реакция организма на дозу от 1 до 10 Гр и более. В зависимости от величины поглощенной дозы она может протекать в различной форме и по степени тяжести делится на легкую, среднюю и тяжелую.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Поглощенные дозы, при которых возникает острая лучевая болезнь (одократное равномерное внешнее облучение организма человека рентгеновскими или *гамма*-лучами)



При поглощенных дозах менее 1 Гр отмечаются нарушения в отдельных органах и системах организма. При дозах выше 10 Гр развивается крайне тяжелая форма болезни с очень быстрым течением и обычно завершается гибелью организма. Подобные условия облучения могут возникать при ядерных взрывах и тяжелых ядерных авариях.

Реакция организма человека на действие больших доз ионизирующего излучения

Ядерные взрывы, аварии → Равномерное внешнее облучение → *Первичная реакция*: тошнота, рвота, общая слабость, головные боли, потливость, сонливость

Фаза клинического благополучия: исчезновение всех симптомов. Изменения состава крови и костного мозга.

Фаза выраженных клинических последствий: резкое ухудшение самочувствия, слабость, повышение температуры, кровоизлияния, поражение кишечника, снижение содержания лейкоцитов и лимфоцитов в крови, анемия, ослабление иммунитета, возникновение воспалительных процессов.
Данная фаза продолжается от одной до трех недель.

Стадия раннего восстановления (в случае благоприятного исхода)

Возможность отдалённых последствий облучения

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Неравномерное облучение

При *неравномерном* или *локальном* действии ионизирующего излучения в больших дозах последствия облучения зависят от степени повреждения критических органов, тканей или систем органов, поражение которых в наибольшей степени будет влиять на жизнедеятельность организма. Например, критическими органами могут оказаться подкожные мягкие ткани, нервная ткань или отдельные части кишечника . Так, при внешнем воздействии *бета*-излучения критическим органом является кожа. Ее поражение определяет последствия облучения для организма в целом.

Подобные условия могут реализоваться при лечении раковых заболеваний (радиотерапия), когда, наряду с раковыми клетками, облучению подвергаются и здоровые клетки

Хроническая лучевая болезнь является следствием длительного облучения организма при поглощенной дозе 0,7 – 1 Гр (при ежедневном накоплении 1 – 5 мГр). Хроническая лучевая болезнь может также развиваться и в результате длительного *локального* облучения организма человека.

При хронической лучевой болезни в тканях, состоящих из активно делящихся клеток, идут интенсивные процессы клеточного обновления.

В таких системах, как нервная, сердечно-сосудистая, эндокринная, которые сформированы из неделящихся или слабоделящихся клеток, хроническое лучевое воздействие приводит к медленному нарастанию дистрофических изменений . В этом случае клиническая картина лучевой болезни определяется:

- зоной облучения,
- радиочувствительностью органов или тканей в этой зоне.

Биологические эффекты при попадании радионуклидов в организм человека

Внутреннее облучение вызывают радионуклиды , попавшие в организм
- с пищей и водой,
- с вдыхаемым воздухом,
- через кожу.

После всасывания в кровь радионуклиды разносятся по всему организму и в результате обменных процессов выводятся из организма

Внутреннее облучение человека происходит при попадании источника излучения внутрь организма.

Если в организм попадают *гамма*-излучающие радионуклиды, то значительная часть энергии излучения из-за большой проникающей способности *гамма-квантов* остается непоглощенной и выносится за пределы организма.

Бета- и альфа-излучение обладают низкой проникающей способностью, поэтому практически вся энергия *альфа- и бета*-частиц поглощается в организме. При этом поглощение энергии *альфа*-частиц происходит в очень ограниченном объеме ткани.

Попавшие в организм (инкорпорированные) радионуклиды могут накапливаться в каком-либо

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

органе. ***В этом случае критическими являются органы, избирательно накапливающие радионуклиды.***

Опасность радиоактивных веществ оценивают по следующим параметрам:

- *величине коэффициента всасывания радионуклидов в кровь (в легких, в кишечнике, через кожу),*
- *продолжительности периода полувыведения,*
- *кратности накопления радионуклидов в том или ином органе или ткани (или в организме человека в целом).*

Все перечисленные параметры необходимы для оценки доз облучения органов, тканей, систем органов и организма человека в целом, поскольку от величины этих доз зависит степень повреждения организма.

Радионуклиды могут попасть в организм ингаляционным путем, перорально и через кожу.



Важным параметром, характеризующим всасывание в кровь радионуклидов, поступивших в организм через органы дыхания, пищеварения или через кожу, является *коэффициент всасывания (резорбции)*, $K_{вс}$.

Коэффициент всасывания, $K_{вс}$

Различают *коэффициенты всасывания (резорбции)* радионуклидов в кровь

- в легких,
- в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ),
- через кожу.

Коэффициент всасывания (резорбции) — это доля радионуклидов , поступивших в кровь в одном из перечисленных органов или системе органов, от общего количества радионуклидов, поступивших в эти органы.

При *небольшом коэффициенте* всасывания радионуклиды могут и *не накапливаться* в легких, в коже, если они удаляются при откашливании или при промывании.

Небольшая величина коэффициента всасывания радиоизотопа (несколько процентов и менее) при его поступлении в кровь в *легких* или *через кожу* свидетельствует о том, что радиоизотоп плохо всасывается в кровь. В этом случае в соответствующем органе (легких, коже) может происходить накопление радиоизотопа, причем тем в большей степени, чем меньше коэффициент его всасывания.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Небольшая величина коэффициента всасывания радиоизотопа (несколько процентов и менее) при его всасывании в кровь в ЖКТ (при поступлении радиоактивных веществ с пищей и водой) означает, что радиоизотоп не накапливается в организме. Он проходит через ЖКТ транзитом и выводится с калом.

Чем выше величина коэффициента $K_{вс}$ радиоизотопа в ЖКТ, тем в большей степени он всасывается в кровь и с кровотоком перераспределяется по организму человека.

Период биологического полувыведения, $T_Б$

Период биологического полувыведения ($T_Б$) — это промежуток времени, в течение которого активность накопленного в организме (или в отдельном органе) радиоизотопа сокращается наполовину в результате естественных биологических процессов.

Величина периода биологического полувыведения зависит от метаболической активности ткани и свойств самих радионуклидов. Продолжительность этого периода может составлять от нескольких часов до сотен и тысяч лет, т. е. значительно превышать продолжительность жизни человека.

Период биологического полувыведения ^{137}Cs у человека меняется
от ***30 суток*** — в детском возрасте
до ***90 суток*** — в пре-клонном возрасте.

Время, в течение которого органы и ткани подвергаются облучению, зависит не только от величины биологического периода полувыведения. С течением времени содержание попавших в организм радионуклидов уменьшается и в результате их радиоактивного распада.

Снижение содержания радионуклидов в организме за счет протекания биологических процессов, способствующих их выведению из организма, и в результате радиоактивного распада радионуклидов, учитывают с помощью *эффективного периода полувыведения*.

Эффективный период полувыведения, $T_{эф.}$

Эффективный период полувыведения — это промежуток времени, в течение которого активность радиоизотопа в организме уменьшается вдвое за счет процессов биологического выведения и радиоактивного распада радиоизотопа:

$$T_{эф} = \frac{T_{1/2} \cdot T_Б}{T_{1/2} + T_Б},$$

где $T_{эф}$ — эффективный период полувыведения,
$T_{1/2}$ — период полураспада радиоизотопа,
$T_Б$ — период биологического полувыведения радиоизотопа.

Эффективный период полувыведения ($T_{эф}$)
^{137}Cs — *70* ***суток***
^{90}Sr — *18* ***лет***
$^{239,240}Pu$ — *до 198* ***лет***

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Чем больше величина эффективного периода полувыведения, тем дольше радиоизотоп остается в организме и тем больше эффективная доза внутреннего облучения организма.

Для оценки содержания радионуклидов в определенном органе (ткани) или в организме в целом используют еще один показатель — *кратность накопления* радионуклидов.

Кратность накопления, ***КН***

Кратность накопления радионуклидов (***КН***) — это отношение максимально накопленного количества радионуклидов в органе (ткани) или в организме в целом к количеству радионуклидов, ежесуточно поступающих в организм.

Если кратность накопления превышает единицу (***КН*** > *1*), в органе (ткани) или в организме в целом происходит накопление радионуклидов. При кратности накопления, равной единице (***КН*** = *1*), содержание радионуклидов остается постоянным. При кратности накопления меньше единицы (***КН*** < *1*) радионуклиды выводятся из органа (ткани) или организма.

Рассмотрим более подробно основные пути поступления радионуклидов в организм человека.

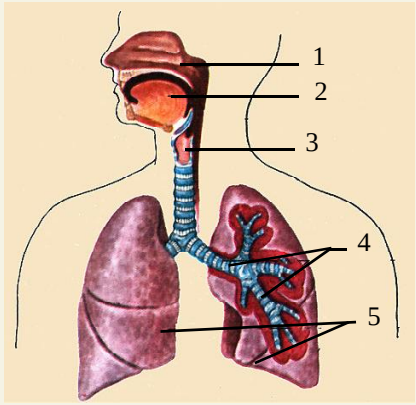
Ингаляционное поступление

Поступление радионуклидов в организм ингаляционным путем возможно, если в воздухе присутствуют радиоактивные газы или радиоактивные аэрозоли в виде пыли, тумана, дыма. Из-за большого объема воздуха, проходящего через органы дыхания, этот путь наиболее опасен. Биологические процессы с участием радионуклидов при их поступлении в легкие с вдыхаемым воздухом определяют:

- размеры частиц аэрозолей, с которыми связаны радиоактивные вещества,
- физико-химические свойства аэрозолей и соединений, из которых состоят радиоактивные частицы;
- транспортабельность аэрозолей и соединений радионуклидов в организме.

Эти же характеристики определяют пути и скорость выведения радионуклидов из легких.

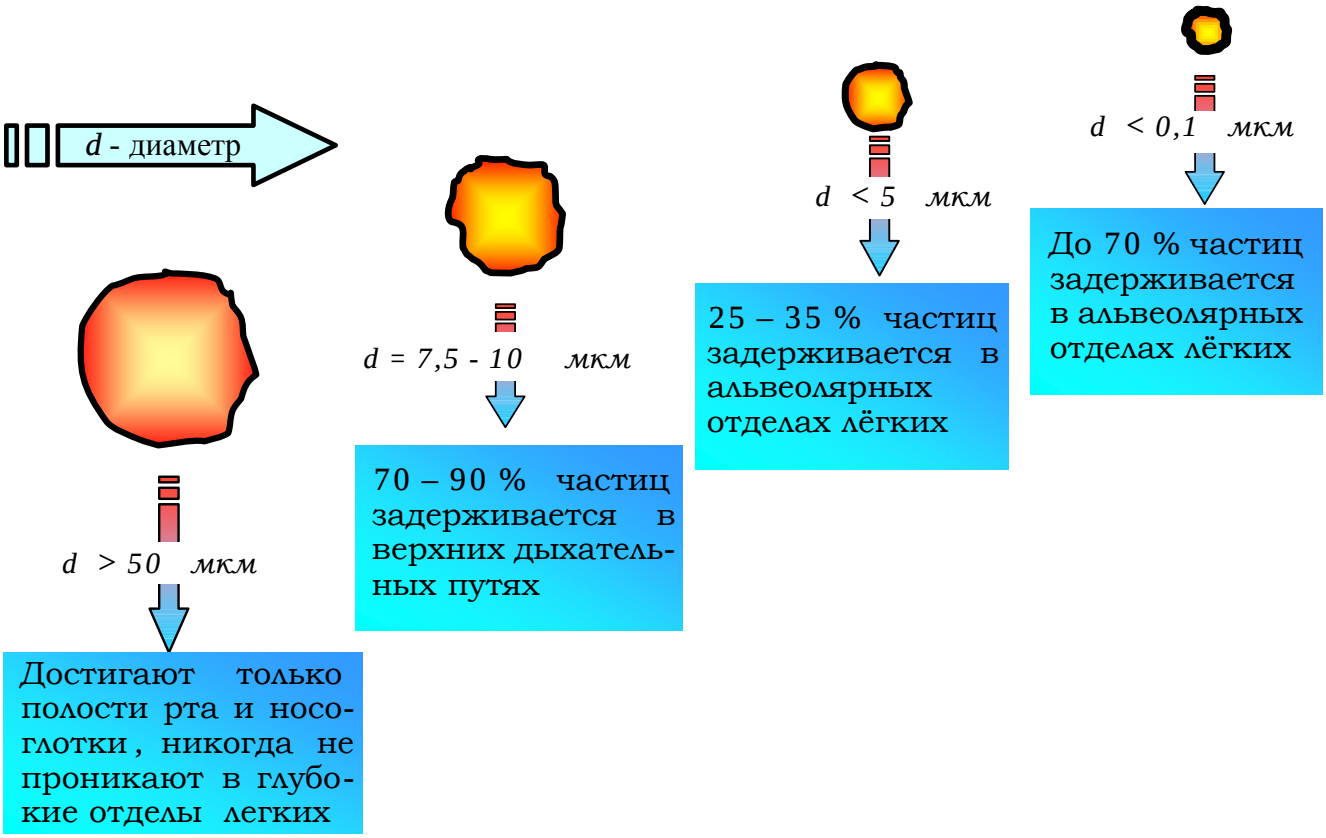
Система органов дыхания



1 — Полость носа
2 — Полость рта
3 — Гортань
4 — Бронхи
5 — Легкие

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Поведение радиоактивных частиц в зависимости от их размера



Судьба частиц, паров, газов и аэрозолей, вдыхаемых и задерживаемых в разных отделах дыхательного тракта, неодинакова.

Хорошо растворимые вещества еще в процессе дыхания могут очень быстро проникать в кровь. Широко развитая в органах дыхания сеть капилляров, через которую осуществляется газообмен, способствует этому процессу.

Поступление радионуклидов в кровь характеризуют с помощью *коэффициента всасывания (резорбции).*

После проникновения в кровь радионуклиды либо выводятся из организма, либо накапливаются в определенных органах или тканях.

Малорастворимые и практически нерастворимые вещества из верхних дыхательных путей удаляются вместе со слизью и могут попасть в желудочно-кишечный тракт. Если радиоактивные частицы задерживаются легкими, то органы дыхания становятся критическими по дозовой нагрузке.

Транспортабельность

Существует классификация радионуклидов в соответствии со скоростью их выведения из легких (транспортабельностью).

Все радионуклиды и их соединения разделяют по скорости выведения из легких на *три класса* — ***Д***, ***Н*** и ***Г***.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Классификация радионуклидов по скорости выведения из легких (транспортабельности)

Класс транспортабельности	Биологический период полувыведения из легких	Описание
Д	дни	Соединения радионуклидов, у которых коэффициент всасывания в легких максимален: 0,75 (75 %) - 1,0 (100 %). Это соединения элементов главной подгруппы I группы и элементов I, II и, отчасти, III периодов Периодической системы. Соединения этих элементов, как правило, хорошо растворимы и быстро всасываются в кровь. В эту группу входят соединения калия (*K*), цезия (*Cs*), стронция (*Sr*).
Н	недели	Все соединения иттрия (*Y*), кроме оксидов, соединения отдельных представителей лантанидов (оксиды лантана (*La*), соединения гадолиния (*Gd*) и др.
Г	годы	Соединения отдельных представителей лантанидов и актинидов: оксиды церия (***Ce***), урана (*U*), плутония (*Pu*), америция (*Am*) оксиды иттрия (*Y*), соединения циркония (*Zr*) и др.

Пероральное поступление

Пероральный (с пищей и водой) — второй по значимости путь поступления радионуклидов в организм человека.

Растворимые соединения

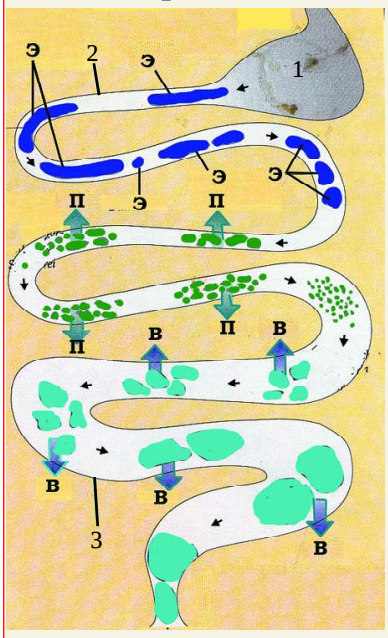
Радионуклиды, которые входят в состав хорошо *растворимых* соединений и хорошо всасываются в кровь в легких, хорошо всасываются в нее и в кишечнике. При этом в кишечнике радионуклиды всасываются даже лучше, чем в легких. Количество радионуклидов, поступающих в кровь в легких, составляет порядка 75 % от количества радионуклидов, поступающих в кровь в кишечнике. Это связано с тем, что в процессе дыхания часть радионуклидов успевает покинуть организм вместе с выдыхаемым воздухом.

Малорастворимые и практически нерастворимые соединения

Радионуклиды, входящие в состав *малорастворимых* и *практически нерастворимых* соединений, ведут себя иначе. В этом случае в легких общее количество всасываемых в кровь радионуклидов в десятки и сотни раз больше, чем в кишечнике. И это несмотря на то, что процесс растворения после отложения в верхних дыхательных путях, на слизистой трахеи и средостения протекает очень медленно. Ещё медленнее происходит поступление этих радионуклидов в кровеносные сосуды. Большее всасывание в кровь радионуклидов, поступивших через органы

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Схема прохождения пищи через желудочно-кишечный тракт



1 — Желудок
2 — Тонкий кишечник
3 — Толстый кишечник
Э — Энзимы, перерабатывающие пищу
П — Питательные вещества, всасываемые в кровь в тонком кишечнике
В — Вода, всасываемая в кровь в толстом кишечнике

Строение кожи человека



Э — Эпидермис
Д — Дерма
П — Подкожный слой

дыхания, объясняется тем, что время их пребывания в легких в сотни раз превышает время нахождения радионуклидов в кишечнике.

Радиоактивные вещества, попавшие в организм с продуктами питания, всасываются практически на всем протяжении желудочно-кишечного тракта. Минимальное количество радионуклидов всасывается в желудке, двенадцатиперстной и слепой кишках, максимальное — в тонком кишечнике. Интенсивность всасывания зависит от физиологического состояния организма и химических особенностей элемента (состава, формы его соединений и др.).

Полностью всасываются в пищеварительном тракте соединения калия, цезия, элементов II периода (за исключением бериллия). Несколько хуже всасываются соединения кальция, стронция. Плохо всасываются соединения трансурановых элементов (урана, плутония, америция).

Соединения радионуклидов, коэффициент всасывания которых в пищеварительном тракте составляет менее 1 % (соединения циркония, ниобия, редкоземельных элементов), очень быстро, в течение 1 – 4 суток, выводятся с калом из организма. Поскольку соединения, содержащие в своем составе эти элементы, непродолжительное время контактируют с организмом (только в период прохождения радионуклидов через желудочно-кишечный тракт), получаемые организмом дозы облучения незначительны. Энергия *альфа*- и *бета*-излучений радионуклидов этой группы поглощается преимущественно содержимым желудочно-кишечного тракта и в значительно меньшей степени — кишечной стенкой.

Поступление радионуклидов через кожу

Радионуклиды могут проникнуть в организм через всевозможные ссадины и порезы и даже через неповрежденную кожу.

При проникновении радиоактивных веществ через кожу важную роль играют те же факторы, которые определяют проницаемость кишечной стенки и легочной ткани. Различия заключаются лишь в размерах поверхности кожи, более значительной ее толщине и наличии рогового и блестящего слоев эпидермиса.

Если вещество проникло через эти слои, то остальные участки эпидермиса и дермы (слоя, расположенного под эпидермисом) практически не препятствуют дальнейшему продвижению соединений радионуклидов.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Радиоактивные вещества довольно быстро всасываются из кожи в кровь. Скорость их всасывания сравнима со скоростью всасывания в кишечнике. При поверхностном загрязнении радиоактивные вещества попадают в микротрещины, ссадины, потовые, сальные железы или волосяные фолликулы кожи. Там они могут либо достаточно долго оставаться, либо в результате диффузии достигать кровеносных и лимфатических сосудов и с током крови перераспределяться в организме.

Распределение радионуклидов в организме человека



При пероральном и ингаляционном поступлении *легко всасывающихся* соединений радионуклидов *кратность накопления* (**КН**) *радионуклидов в организме* одинакова. С уменьшением всасывания кратность накопления радионуклидов при ингаляционном поступлении увеличивается , а при пероральном снижается.

При хроническом пероральном поступлении подавляющее большинство радионуклидов не накапливается в организме (**КН** у них меньше единицы). Высокая кратность накопления в организме характерна для ^{45}Ca, ^{89}Sr, ^{90}Sr и всех изотопов радия (Ra).

При ингаляционном поступлении в организм человека (особенно при хроническом) радионуклиды могут накапливаться в легких. В этом случае кратность накопления радионуклидов в легких может значительно превышать единицу. Самая высокая кратность накопления в легких (108 – 116) отмечена для оксидов урана (U), плутония (Pu), тория (Th), палладия (Pd) и калифорния (Cf).

Максимальная *кратность накопления в отдельном органе* зарегистрирована для радиоактивного йода в щитовидной железе, независимо от способа поступления элемента в организм человека.

^{90}Sr в значительной степени накапливается в костной ткани (кратность накопления — 91).

Йод
- при любом поступлении в организм активно накапливается в щитовидной железе
- участвует в тех же метаболических процессах в организме, что и стабильный йод

Стронций
- по химическим свойствам близок к кальцию (является его химическим аналогом)
- при поступлении в организм включается в обмен веществ совместно с кальцием

Цезий
- по своим свойствам близок к калию (является его химическим аналогом)
- хорошо всасывается в кровь независимо от путей поступления в организм
- достаточно равномерно распределяется по различным органам и тканям

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Плутоний и америций
- могут поступать в организм как при дыхании, так и через желудочно-кишечный тракт и кожу
- попав в легкие в составе малорастворимых радиоактивных частиц, могут оставаться там на долгие годы
- поступив в кровь, в основном, откладываются в печени и скелете

^{137}Cs в небольшой степени накапливается в мышцах (кратность накопления — 2,6).

Кратностьнакоплениярадионуклидовв организме в целом или в конкретном органе зависит от периода полураспада и может быть различной для изотопов одного и того же химическогоэлемента. Например, при поступлении в организм радиоактивного йода кратность накопления в щитовидной железе ^{129}I, период полураспада которого составляет $1{,}57 \cdot 10^7$ лет, может достигать 3 000, а при поступлении ^{131}I, имеющего период полураспада 8,0 суток, —около 160. Это означает, что ^{129}I значительно в большей степени накапливается в щитовидной железе по сравнению с ^{131}I.

Далее приведены некоторые характеристики основных дозообразующих радионуклидов чернобыльского выброса.

Коэффициентывсасывания, периоды полураспадаи полувыведения основныхдозообразующихчернобыльскихрадионуклидов

Изотоп	Коэффициент всасывания		Период полураспада	Период биологического полувыведения
	ЖКТ	легкие		
^{131}I	1,0 (100 %)	0,75 (75 %)	8,0 суток	138 суток
^{137}Cs	1,0 (100 %)	0,75 (75%)	30,17 лет	70 суток
^{90}Sr	0,3 (30 %)	0,45 (45%)	28,5 лет	49,3 года
^{239}Pu	0,002 (0,2 %)	0,25 (25 %)	24 100 лет	до 200 лет
^{241}Am			432,7 года	

К основным факторам, влияющим на величину поглощенной дозы в тканях и органах при внутреннем облучении организма, относятся:

- способ поступления радионуклидов в организм,
- продолжительность поступления радионуклидов,
- распределение радионуклидов в организме,
- время пребывания радионуклидов в организме (продолжительность эффективного периода полувыведения),
- вид ионизирующего излучения, испускаемого при радиоактивном распаде радионуклидов,
- содержание радионуклидов в органе или ткани,
- масса облучаемой ткани,
- отношение массы облучаемой ткани к массе всего тела.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Анализ всех этих факторов позволяет определить дозы облучения отдельных органов и тканей при поступлении радионуклидов в организм с вдыхаемым воздухом, потребляемыми продуктами питания и питьевой водой.

5.5. *Последствия облучения организма человека*

Действие ионизирующего излучения на организм человека может приводить к *острым* и *отдаленным последствиям*.

Острые последствия являются результатом кратковременного поглощения большой дозы ионизирующего излучения при облучении значительной части тела или местном облучении критических органов, тканей или систем органов, повреждение которых будет в наибольшей степени влиять на жизнедеятельность организма.

Острые последствия

Острые последствия проявляются сразу или в короткие сроки после облучения (в течение нескольких часов, дней, недель).

Полученная практически мгновенно большая поглощенная доза (порядка 5 Гр и более) при воздействии ионизирующего излучения на все тело человека с большой степенью вероятности приведет к летальному исходу в течение нескольких недель. Это связано с тем, что подобное облучение приводит к серьезным нарушениям костного мозга и пищеварительной системы.

Усилиями врачей можно спасти жизнь человека, получившего дозу до 5 Гр. Однако, если поглощенная организмом доза достигает нескольких десятков Грей (например , 60 Гр), никакие усилия медицинского персонала не помогут человеку избежать летального исхода.

Острые последствия облучения обычно проявляются в органах и тканях с *быстро делящимися клетками* и в большинстве случаев приводят к гибели значительного числа клеток.

Эпителий кишечника, костный мозг состоят из *быстро делящихся* клеток

Легкие, сердце, почки, печень, соединительная, нервная и костная ткани состоят из *медленно делящихся и неделящихся* клеток

В органах и тканях, сформированных из медленно делящихся и неделящихся клеток , в результате *кратковременного поглощения большой дозы ионизирующего излучения* происходят изменения, которые могут привести к заболеваниям через значительный промежуток времени (иногда через 10 – 20 лет) после облучения. Подобные эффекты называют *отдаленными последствиями облучения*.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Отдаленные последствия

Отдаленные последствия облучения — это заболевания, вызванные действием ионизирующего излучения на организм и возникающие спустя длительное время после облучения.

Последствием дополнительного облучения организма человека, сверх облучения от естественного радиационного фона в обычной среде его обитания, как правило, является сокращение жизни человека. Основанием для такого заключения послужили результаты наблюдений за подопытными животными, которые по многим физиологическим параметрам близки человеку.

Оценка, сделанная на основе результатов исследования подобного эффекта у мышей (с поправкой на особенности организма человека), показала, что при *однократном* внешнем облучении каждые 0,01 Гр поглощенной дозы *гамма*-излучения сокращают жизнь человека на 1 – 15 суток, а при *хроническом* облучении – на 0,08 суток.

Заболеваемость или *частота заболеваний* — число заболевших людей в группе определенной численности. *Например*, 2 заболевания на 100 000 человек

Чтобы выяснить, к каким последствиям может приводить действие ионизирующего излучения на организм человека, проводили медицинские наблюдения в больших группах облученных людей. В основном это были жертвы атомных бомбардировок в Хиросиме и Нагасаки. Наблюдали также за состоянием здоровья шахтеров урановых рудников, жертвами радиационных аварий и катастроф, включая участников ликвидации последствий Чернобыльской катастрофы, больными, которые подвергались терапевтическому облучению, работниками атомной энергетики и промышленности.

Кроме того, проводили радиобиологические исследования животных, которых подвергали облучению в лабораторных условиях. Такие же наблюдения велись в контрольных группах, члены которых не подвергались облучению. По численности и составу группы облученных и необлученных людей или животных были максимально близки. Результаты наблюдений по заболеваемости в тех и других группах сравнивали между собой.

Латентный период — промежуток времени после облучения, в течении которого нет никаких видимых признаков заболевания

Как показали наблюдения, сокращение жизни, в основном, связано с увеличения частоты заболеваний крови (лейкозов) и раковых заболеваний отдельных органов и тканей. Первое место в этой группе заболеваний занимают лейкозы. Так, при медицинском обследовании выживших после бомбардировок в Хиросиме и Нагасаки, после двухлетнего скрытого (латентного) периода наблюдали развитие лейкозов, а, в среднем, через 6 – 7 лет после облучения регистрировали максимальную частоту лейкозов.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Действие ионизирующего излучения на человека может также вызывать рак молочной и щитовидной желез. Попадание радионуклидов с воздухом в организм человека может приводить к развитию рака легких. Облучение может вызывать и рак кожи. Все эти заболевания, вызванные действием ионизирующего излучения на организм человека, являются *отдаленными последствиями облучения*.

Радиационные эффекты, возникающие в результате действия ионизирующего излучения на организм человека, разделяют на *детерминированные* (предопределенные, закономерные) и *стохастические* (случайные, вероятностные).

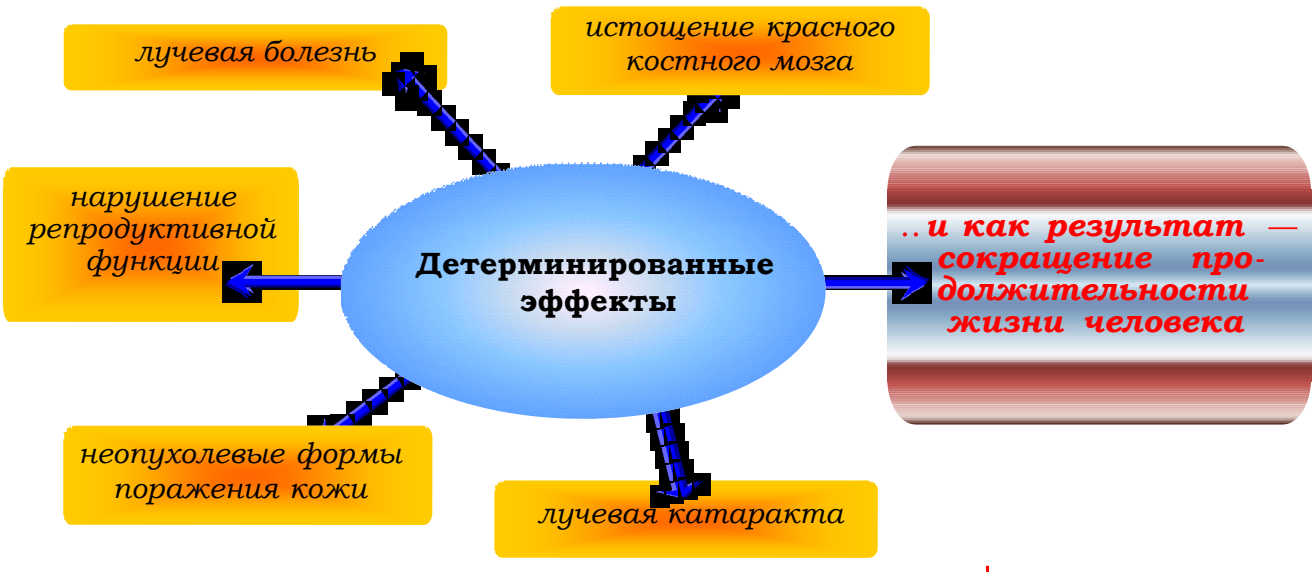
Детерминированные эффекты

Детерминированные эффекты неизбежно возникают при превышении определенных дозовых уровней и характерны для больших поглощенных доз ионизирующего излучения (чаще всего *1 Гр и выше*).

К *детерминированным эффектам* относятся все острые последствия облучения (радиационные ожоги, лучевая болезнь и др.).

Детерминированные эффекты возникают в том случае, когда количество погибших клеток в отдельном органе или ткани превышает число вновь образующихся. Если серьезно повреждена ткань, играющая важную роль в жизнедеятельности организма, то конечным результатом может стать смерть человека. *Детерминированные эффекты* наблюдаются при облучении всего тела человека или локальном облучении критических органов.

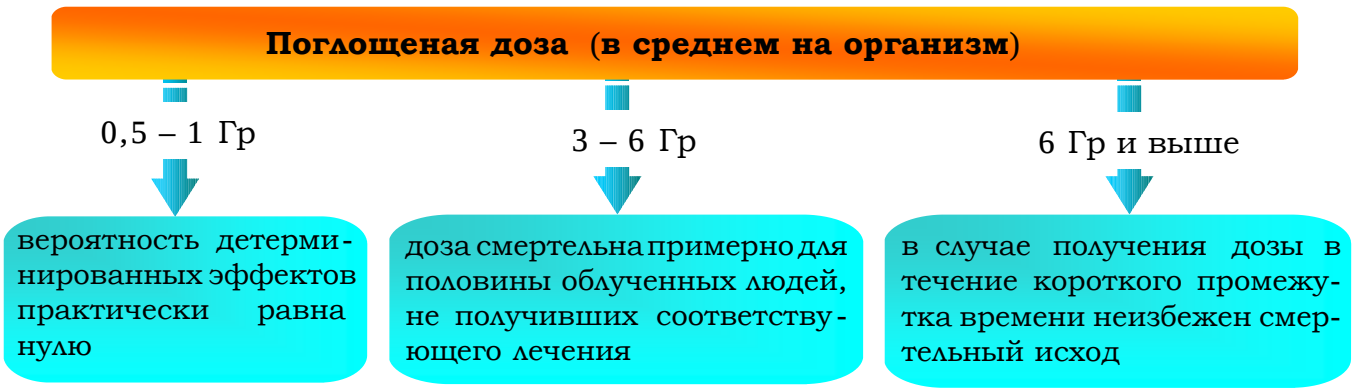
Детерминированные эффекты могут вызывать следующие нарушения в организме человека:



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Каждому человеку свойственна индивидуальная чувствительность к действию ионизирующего излучения. У людей с неодинаковой радиочувствительностью исходные детерминированные эффекты могут проявляться при разных дозах облучения.

С увеличением дозы облучения вероятность возникновения любого *детерминированного эффекта* возрастает, а при поглощенной дозе, превышающей определенный пороговый уровень, достигает 100 % для всех облученных лиц.



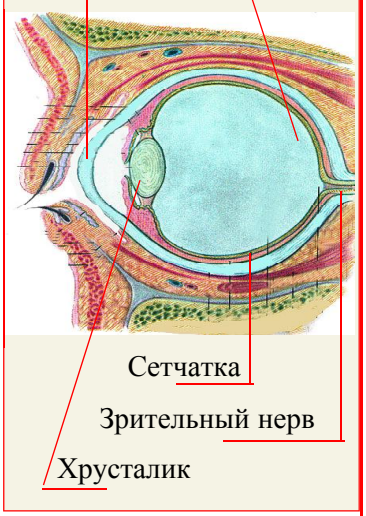
Если облучение проводится многократно, поглощенные дозы суммируются, однако величина дозы (порог), при которой вероятность детерминированного эффекта достигает 100 %, возрастает. Это свидетельствует о том, что за период времени между облучениями организм человека способен устранять нарушения, вызванные облучением. Благодаря этому, организм может ликвидировать негативные последствия облучения. Правда, компенсация бывает неполной, и после многократного облучения в организме могут накапливаться необратимые изменения.

В результате, человек, получивший большую дозу облучения, спустя некоторое время после выздоровления может вновь заболеть (отдаленные последствия облучения).

К *детерминированным эффектам* относится и катаракта , вызванная действием ионизирующего излучения на органы зрения (глаза), несмотря на то, что обычно она возникает через продолжительный период времени после облучения. Облучение глазного яблока может привести к повреждению клеточных волокон, составляющих хрусталик. В результате, может произойти помутнение хрусталика и, как следствие, ухудшение зрения.

Возникновение катаракты наблюдается при превышении определенного порогового уровня дозы облучения. При однократном воздействии *гамма*-излучения минимальная доза, вызывающая помутнение хрусталика, сос-

Строение глаза



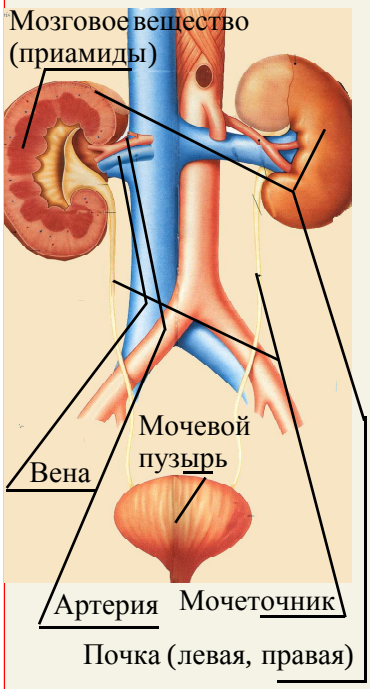
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

тавляет 2 Гр. Если получение дозы растянуто во времени, то заболеваемость катарактой сокращается. При поглощенной дозе *гамма*-излучения, равной 6 Гр, катаракта возникает у большинства облученных людей.

В процессе выведения радионуклидов из организма сосуды почек и почечная ткань подвергаются облучению. При больших поглощенных дозах в органах выделения возможно возникновение нефросклероза, когда пораженные участки утрачивают функциональную активность и заменяются соединительной тканью.

Ионизирующее излучение может снижать естественную сопротивляемость организма инфекциям. Основной причиной подавления иммунитета является радиационное поражение костного мозга и, как следствие, сокращение числа лейкоцитов крови, изменение их свойств. Ослабление иммунитета может наблюдаться и при хроническом облучении малыми дозами. При больших дозах одновременно гибнет большое число клеток, при малых дозах резкого сокращения клеток крови не происходит.

Органы выделения



Стохастические эффекты

Стохастические эффекты характерны для средних (*от 0,2 до 1 Гр*) и малых (*менее 0,2 Гр*) поглощенных доз облучения. Они проявляются в виде раковых и генетических (наследственных) заболеваний и могут возникать через значительный период времени после облучения.

Стохастические эффекты — это эффекты, о которых невозможно определенно сказать реализуются они или нет. Можно лишь оценить вероятность их возникновения, пользуясь *статистическими методами*

Известно, что даже единичный акт ионизации способен вызвать нарушение биологических процессов в клетке. Это событие носит вероятностный (случайный) характер. К каким последствиям приведет единичный акт ионизации практически невозможно предсказать.

Стохастические эффекты возникают в том случае, когда облученная клетка не гибнет, а *изменяется*. Изменившаяся, но жизнеспособная клетка может дать в результате деления новое поколение измененных клеток. Если эти клетки не будут уничтожены защитной системой организма, то после продолжительного латентного периода может развиться раковое заболевание. При изменениях в половых клетках могут проявиться генетические (наследственные) нарушения.

Статистические методы — математические методы, позволяющие

- анализировать случайные массовые явления
- оценивать надежность и точность выводов, сделанных на основе ограниченного числа данных.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Латентный (скрытый) период, когда заболевание никаким образом не проявляется, может быть различным. Тяжесть заболевания не зависит от величины полученной дозы, но по мере увеличения дозы возрастает вероятность возникновения заболевания.

Медицинское обследование тех, кто пережил атомные бомбардировки Японии в 1945 году, показало, что ионизирующее излучение обязательно вызывает рак или генетические нарушения в организме человека лишь при эффективных дозах, превышающих 1 Зв. Однако иногда подобные эффекты могут возникать и при значительно меньших дозах.

В настоящее время полагают, что *стохастические эффекты* (в отличие от детерминированных эффектов) являются *беспороговыми*, т. е. могут возникать при любых сколь угодно малых дозах облучения. Это означает, что изменения в клеточных структурах, лежащие в основе возникновения злокачественных новообразований и генетических нарушений, возможны и при малых дозах облучения.

У персонала, работавшего с источниками ионизирующих излучений и получавшего в течение многих лет эффективные дозы до 50 мЗв в год, не было выявлено каких-либо соматических заболеваний. Это вовсе не означает, что подобные эффекты при малых дозах не имеют места. Просто ощутимые изменения в состоянии здоровья не возникают сразу. Они могут проявиться спустя многие годы после облучения, хотя могут и вовсе не проявиться

Пока у ученых нет убедительных доказательств того, что риск заболеваний раком возрастает или снижается при малых дозах облучения организма человека. Несколько случаев заболеваний раком, наблюдаемых в большой группе исследуемых, растворяются в большом количестве случаев аналогичных заболеваний, вызванных другими причинами. Тем не менее, в настоящее время полагают, что при малых дозах облучения нельзя полностью исключить возможность возникновения отдаленных *стохастических эффектов* в виде раковых и генетических заболеваний.

Таким образом, действие ионизирующего излучения на организм человека может приводить к *острым* и *отдаленным последствиям*.

Острые последствия являются результатом кратковременного поглощения большой дозы ионизирующего излучения при облучении значительной части тела или локальном облучении критического органа человека и проявляются сразу или в течение нескольких часов, дней, недель после облучения.

Отдаленные последствия — это заболевания, вызванные действием ионизирующего излучения на организм человека и возникающие спустя длительное время (иногда многие годы) после облучения.

Радиационные эффекты, возникающие в результате действия ионизирующего излучения на организм человека, разделяют на *детерминированные* и *стохастические*.

Детерминированные эффекты (предопределенные, закономерные) неизбежно возникают при *превышении определенных (пороговых) уровней поглощенных доз* и приводят к различным заболеваниям (радиационные ожо-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

ги, лучевая болезнь, радиационная катаракта и др.). Детерминированные эффекты характерны для больших доз облучения (обычно *1 Гр и выше*). К детерминированным эффектам относят все *острые последствия* облучения.

Детерминированным эффектом является и радиационная катаракта, несмотря на то, что, как правило, она возникает через большой период времени после облучения, когда превышен пороговый уровень поглощенной дозы облучения глазного хрусталика.

Стохастические эффекты (случайные, вероятностные) проявляются в виде раковых и генетических заболеваний и могут возникать через значительный период времени после облучения. Подобные эффекты не являются неизбежными. Можно говорить лишь о вероятности их проявления в течение жизни человека. *Стохастические эффекты* могут и вовсе не проявиться. Они характерны для средних (*от 0,2 до 1 Гр*) и малых (*менее 0,2 Гр*) поглощенных доз ионизирующего излучения.

5.6. *Принципы радиационной безопасности*

Антропогенные изменения в природной среде привели к радиоактивному загрязнению биосферы, т. е. к увеличению концентрации радионуклидов природного и искусственного происхождения в живых организмах и среде их обитания. Массовое получение радионуклидов в искусственных условиях началось лишь в XX веке в связи с развитием ядерных технологий военного и гражданского назначения. При этом многие из искусственно полученных человеком радионуклидов практически не встречались ранее в природной среде и чужеродны живым организмам.



На протяжении всей истории существования человека как биологического вида его организм постоянно подвергался воздействию ионизирующего излучения естественного происхождения . За сотни тысяч лет пребывания на Земле человек приспособился к жизни в подобных условиях, и его организм выработал определенные механизмы защиты от естественной радиации.

Однако за относительно короткий период жизни в атомном веке, организм человека не успел приспособиться к действию повышенных доз ионизирующего излучения. Поэтому искусственно созданные человеком источники ионизирующего излучения, которые широко применяются в современной жизни, могут представлять определенную опасность для здоровья и жизни людей. Использование человеком подобных источников требует постоянного совершенствования средств и способов защиты от их излучения.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Радиационная безопасность может быть обеспечена комплексом научно обоснованных мероприятий, защищающих человека и объекты окружающей среды от вредного воздействия ионизирующего излучения.

Радиационная безопасность населения определяется степенью защищенности настоящего и будущего поколений людей от вредного для их здоровья действия ионизирующего излучения.

Главная цель радиационной безопасности — охрана здоровья людей (включая и тех, кто работает с источниками ионизирующего излучения) от вредного воздействия ионизирующего излучения. Эта цель достигается путем введения определенных пределов (норм) на облучение людей, выше которых не допускается использование источников излучения. При этом избегают необоснованных ограничений на применение источников излучения в хозяйственной деятельности, науке и медицине.

Персонал —
- профессиональные работники, постоянно или временно работающие с источниками ионизирующего излучения,
- лица, по условиям работы находящиеся в зоне воздействия ионизирующего излучения.

Население — все лица, включая персонал, вне работы с источниками ионизирующего излучения.

Специалисты в области радиационной безопасности разрабатывают научные рекомендации по использованию источников ионизирующего излучения с учетом отечественного опыта и опыта других стран, применяющих подобные источники.

Радиационная защита — это комплекс методов и средств, направленных на обеспечение безопасных условий труда персонала и жизни населения в условиях возможного воздействия ионизирующего излучения.

Цель радиационной защиты:

- предупредить возникновение *детерминированных эффектов* путем поддержания доз ниже соответствующих пороговых уровней,
- обеспечить приемлемые меры для уменьшения вероятности возникновения *стохастических радиационных эффектов* при осуществлении *необходимых* видов деятельности, которые могут привести к облучению.

Концепция о предотвращении детерминированных эффектов

До конца 70-х годов XX века в основе радиационного нормирования лежала *концепция о предотвращении детерминированных эффектов* облучения. Эта концепция опиралась на гипотезу *порогового действия* ионизирующего излучения. Гипотеза порогового действия излучения предполагает, что существует

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

определенный уровень дозовой нагрузки, ниже которого в организме человека радиационные эффекты не возникают.

С 40-х по 60-е годы XX века происходило бурное развитие исследований, связанных, главным образом, с разработкой ядерных технологий военного назначения. Недостаток знаний о биологическом действии ионизирующего излучения и несовершенство ядерных технологий приводили тогда к облучению людей в значительных дозах.

По мере развития атомной энергетики и других направлений использования искусственных источников ионизирующего излучения, с расширением знаний о биологическом действии радиации, возникла потребность в новых подходах к обеспечению радиационной безопасности.

В конце 70-х годов XX века в основу радиационного нормирования была положена *концепция ограничения вероятности преждевременной смерти вследствие возникновения стохастических радиационных эффектов*. Эта концепция опиралась на гипотезу о *беспороговом* действии излучения, т. е. представлении об отсутствии в области малых доз определенного уровня дозы, ниже которого стохастические радиационные эффекты не возникают. Эта гипотеза допускает возникновение стохастических радиационных эффектов при любых сколь угодно малых дозах облучения.

Концепция ограничения вероятности преждевременной смерти вследствие возникновения стохастических радиационных эффектов

При *больших* дозах облучения в организме человека одновременно гибнет большое число клеток, и это стимулирует процесс размножения неповрежденных клеток. Однако ускоренное размножение клеток увеличивает опасность развития раковых заболеваний.

При *малых* дозах в короткие сроки после облучения ускоренного размножения клеток не происходит. Вместе с тем, с уменьшением эффективной дозы и ее мощности опасность возникновения раковых заболеваний не устраняется, *увеличивается лишь скрытый период до проявления заболевания*, и заболевание может не проявиться за оставшуюся часть жизни человека.

Принятие концепции о *беспороговом* действии излучения на организм человека означает отказ от представления об *абсолютной безвредности облучения* в области малых доз

В настоящее время установлено, что вероятность возникновения *стохастических радиационных эффектов* зависит от величины дозы облучения. Однако до сих пор достоверно не известно, как вероятность возникновения стохастических эффектов облучения зависит от величины поглощенной дозы в диапазоне *малых* доз.

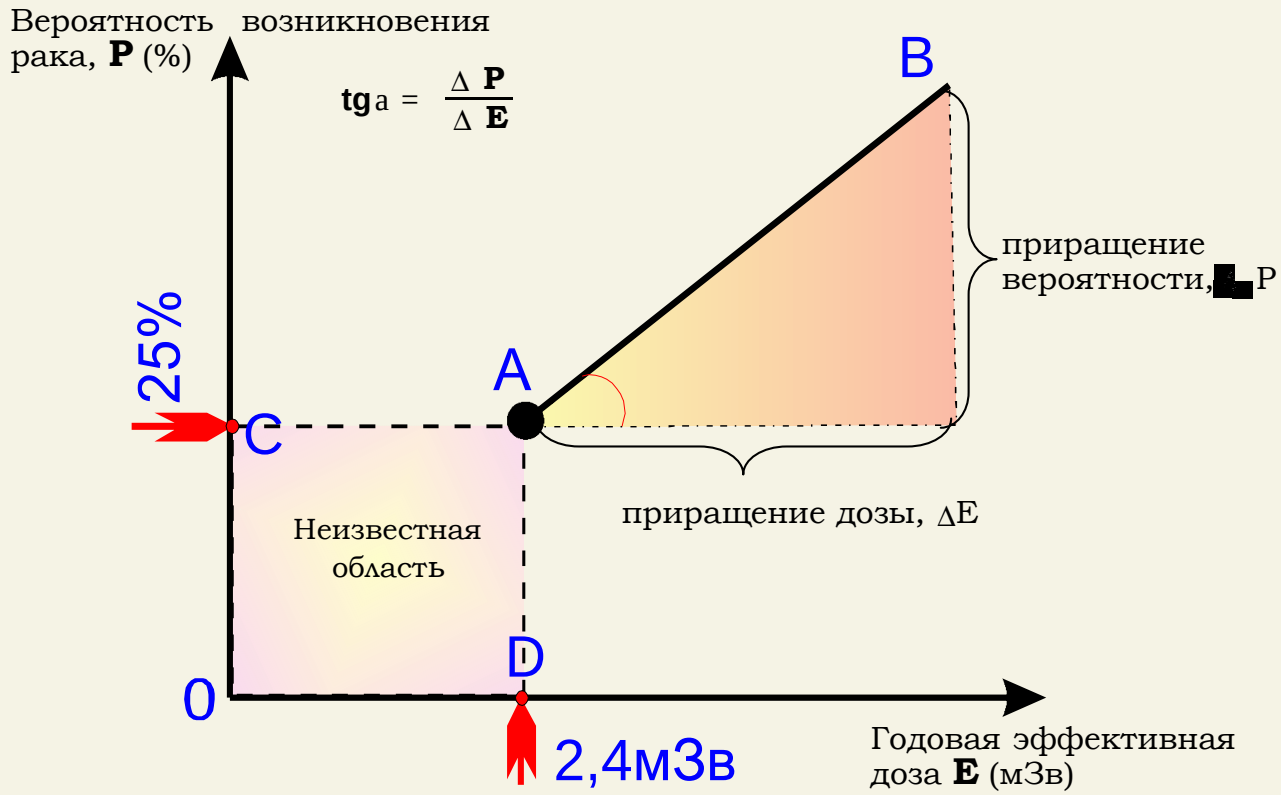
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

МКРЗ — Международная комиссия по радиологической защите

Линейно-беспороговая гипотеза

Для описания этой зависимости МКРЗ была предложена так называемая *линейно-беспороговая гипотеза* возникновения стохастических радиационных эффектов. Согласно этой гипотезе существует линейная зависимость между вероятностью возникновения *стохастических радиационных эффектов* и величиной эффективной дозы облучения человека (линейная модель) вплоть до уровня доз, получаемых жителями Земли от естественного радиационного фона.

Предполагаемая линейная зависимость вероятности возникновения раковых заболеваний от величины эффективной дозы, принятая МКРЗ в настоящее время



C — Вероятность возникновения заболевания раком от естественного радиационного фона (25%)

D — Годовая эффективная доза от естественного радиационного фона (2,4 мЗв)

Как видно из рисунка, при эффективной дозе облучения от естественного радиационного фона, равной, в среднем, 2,4 мЗв в год, вероятность возникновения раковых заболеваний у людей равна 25 %. Ниже этого уровня находится область, где не известно, как вероятность возникновения раковых заболеваний зависит от величины эффективной дозы облучения человека.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

В 2000 году НКДАР проанализировал все имеющиеся данные по биологическим эффектам при низких дозах ионизирующего излучения. Комитет пришел к заключению , что *линейно - беспороговая гипотеза* является наиболее научно обоснованной современной гипотезой, которая согласуется с имеющимися данными по возникновению раковых заболеваний у человека.

НКДР — научный комитет по действию атомной радиации, образованный Генеральной Ассамблеей ООН в 1955 году

По характеру представленной линейной зависимости, построенной на основе данных, которые получены при *средних* и *высоких* эффективных дозах, можно оценивать вероятность возникновения раковых и генетических заболеваний при облучении в области *малых* доз.

В то же время, поскольку количество данных в области малых доз до сих пор остается ограниченным, то, по мнению НКДАР, существующие неопределенности не позволяют считать, что линейная зависимость имеет место абсолютно во всех случаях.

Так, при облучении организма *альфа*-частицами линейная модель позволяет адекватно оценивать риск возникновения раковых заболеваний у человека.

В случае же *бета*- и *гамма*-излучений линейная модель, по-видимому, ведет к завышенной оценке риска для большинства видов рака у человека. Однако эта модель может быть использована для определения верхнего предела риска возникновения раковых заболеваний в результате воздействия *бета*- и *гамма*-излучений.

С 90- х годов XX века в основу нормирования положена *концепция ограничения ущерба* в результате возникновения стохастических радиационных эффектов , которая также опирается на гипотезу о беспороговом действии ионизирующего излучения.

Концепция ограничения ущерба

«Ущерб» — это сложное понятие, которое в данном случае рассматривается только как вред, нанесенный здоровью людей и их потомству в результате облучения. Ущерб учитывает:

- вероятность возникновения радиационных эффектов,
- степень тяжести радиационных эффектов,
- время их проявления.

Полагают , что при получении населением дозы облучения, равной *1 мЗв*, дополнительно к дозе от естественного радиационного фона, продолжительность жизни человека, в среднем, сокращается на 0,4 дня

Ущерб выражают количеством лет полноценной жизни человека, утраченных в результате заболевания или преждевременной смерти, вызванных облучением.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Сведения о стохастических эффектах облучения получены в результате обследования:
- людей, переживших ядерные атаки в Хиросиме и Нагасаки,
- пациентов, подвергшихся облучению при лечении и диагностике,
- групп лиц, подвергшихся облучению во время работы.

При определении ущерба учитывают:

- вероятность преждевременной смерти в результате смертельного рака за оставшееся время жизни человека (это время зависит от возраста человека);
- вероятность тяжелого генетического нарушения, которое приводит к преждевременной гибели потомков облученных людей в первых двух поколениях;
- вероятность несмертельных (излечиваемых) случаев рака.

При исследовании *отдаленных последствий* облучения человека самой многочисленной наблюдаемой группой была группа лиц, пострадавших от атомных бомбардировок в Японии. Она включала 280 000 человек.

Более 50 лет назад при взрыве атомных бомб в Хиросиме и Нагасаки люди, находившиеся неподалеку от места взрыва, в доли секунды получили смертельные дозы в тысячи Зиверт. Около 90 тыс. людей, находившихся вдали от места взрыва, получили дозу до 1 Зв и выжили. Их до сих пор наблюдают в японских клиниках. У многих из них обнаружены радиационные ожоги, катаракты, поражения половой системы. Однако до настоящего времени не было зарегистрировано ни одного случая появления генетических дефектов в последующих поколениях.

Тем не менее, окончательные выводы делать еще рано, поскольку генетические изменения могут накапливаться в виде мутаций, усиливаясь с каждым новым поколением. В конце концов, их постепенное накопление может привести к такому сочетанию мутантных генов, которое может проявиться в виде генетических нарушений в последующих поколениях.

Нормы радиационной безопасности

При разработке и утверждении *норм радиационной безопасности* Национальная комиссия по радиологической защите Республики Беларусь исходила из принятых международных норм по радиационной безопасности и основных принципов радиационной защиты. При этом учитывался опыт стран, достигших высокого уровня радиационной защиты населения, и отечественный опыт.

Основой радиационного нормирования является регламентирование дозовых нагрузок.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Основные принципы регламентирования дозовых нагрузок

Принцип оптимизации	Принцип оправданности практической деятельности	Принцип нормирования
Дозы облучения должны поддерживаться на разумных уровнях, достижимых с учетом существующих экономических и социальных факторов.	Ионизирующее излучение не должно использоваться в практической деятельности, если оно не приносит реальной пользы.	Эффективная доза облучения отдельных лиц не должна превышать предела, рекомендуемого для соответствующих условий.

Нормы радиационной безопасности в Республике Беларусь установлены для *персонала* и *населения*. Для каждой из этих категорий облучаемых лиц установлен *предел дозы облучения*.

Предел дозы

Предел дозы (ПД) — величина годовой эффективной или эквивалентной дозы техногенного облучения, которая не должна превышаться в условиях нормальной работы источников ионизирующего излучения.

При соблюдении предела годовой дозы предотвращается возникновение детерминированных эффектов, а вероятность стохастических эффектов сохраняется на приемлемом уровне.

При установлении предела дозы выбирается такой уровень эффективной дозы, при котором равномерное облучение тела человека (с одинаковой эквивалентной дозой во всех органах и тканях) не может вызвать неблагоприятных изменений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами

- для персонала — в течение 50 лет трудовой деятельности,
- для населения — в течение 70 лет жизни.

При этом пределы доз (**ПД**) не должны быть превышены ни в одном критическом органе организма человека.

В качестве нормируемой величины при поступлении радионуклида внутрь организма человека вводят такую характеристику как *предел годового поступления радионуклида*.

Эффективная доза облучения
не должна превышать:
- для *населения*:
  - Ø *1 мЗв в год,*
  - Ø *70 мЗв* — за период жизни *70 лет;*
- для *персонала* в нормальных условиях эксплуатации источников ионизирующего излучения:
  - Ø *20 мЗв в* год,
  - Ø *1 000 мЗв* — за период трудовой деятельности *50 лет* дополнительно к эффективной дозе облучения от естественного радиационного фона

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Предел годового поступления (ПГП) радионуклидов — это суммарная активность радионуклидов (в Беккерелях), поступление которых в организм условного человека в течение года может привести к получению эффективной дозы, равной пределу годовой дозы.

Пределы годового поступления радионуклидов в организм человека с пищевыми продуктами для *населения* составляют:

77 кБк для ^{137}Cs
13 кБк для ^{90}Sr
2,4 кБк для $^{239,240}Pu$
2,7 кБк для $^{239,240}Am$

Пределы годового поступления радионуклидов устанавливают на основе принятых пределов доз.

Согласно закону Республики Беларусь «О социальной защите граждан, пострадавших от катастрофы на Чернобыльской АЭС», на территории, где трудовая деятельность не требует никаких ограничений, средняя годовая эффективная доза облучения населения от Чернобыльских радионуклидов может превышать соответствующую дозу облучения от естественного радиационного фона не более, чем на 1 мЗв, в среднем, за любые 5 лет, но не более 5 мЗв за год.

Допустимые уровни содержания радионуклидов в пищевых продуктах и питьевой воде Вы найдете в главе 8.

Целью регламентирования содержания радионуклидов в продуктах питания и воде является снижение дозы внутреннего облучения населения республики.

Для лиц, проживающих на одной и той же загрязненной территории, дозы облучения могут быть различными в зависимости от возраста, образа жизни и т. д. Поэтому при радиационном контроле оценка эффективной дозы облучения населения, проживающего в загрязненной зоне, проводится по группе лиц, которые могут получить *максимальную дозу* облучения. Дозовые нагрузки, получаемые всем населением рассматриваемой зоны, характеризуют с помощью этой максимальной дозы. Если среднегодовая доза облучения населения превышает установленные пределы доз, на радиоактивно загрязненной территории должны проводиться защитные мероприятия, вплоть до отселения людей.

Чтобы ограничить облучение населения от промышленных источников ионизирующего излучения, предпринимают меры, обеспечивающие:

- сохранность источников излучения,
- контроль за их применением.

При облучении населения в процессе проведения медицинских исследований, контроль доз является обязательным.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Ограничения на облучение населения введены так же и в случае отдельных природных источников излучения.

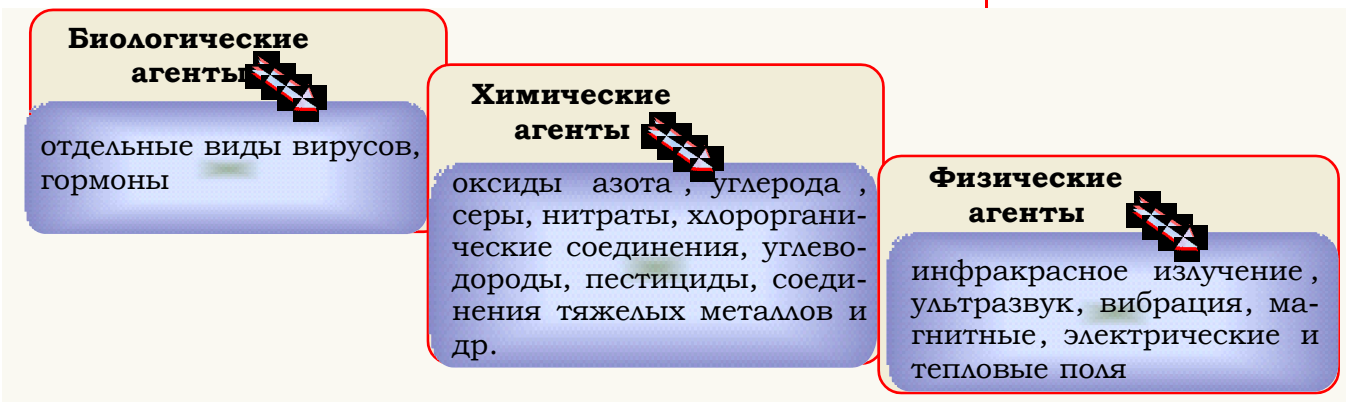
Нормируется:

- содержание радона и продуктов его распада в помещениях жилого и производственного назначения,
- содержание некоторых природных радионуклидов (^{238}U или ^{226}Ra, ^{232}Th) в
  - Ø строительных материалах,
  - Ø фосфорных удобрениях,
  - Ø мелиорантах.

Мелиоранты — вещества, способствующие улучшению агрохимических показателей почв и получению устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур

Установленные нормы позволяют оценивать существующий уровень радиационной безопасности. Кроме того, нормирование служит основой для принятия мер, обеспечивающих создание условий, при которых радиационное воздействие на человека будет ниже допустимого уровня.

Радиационное воздействие может сочетаться с воздействием физических, химических и биологических агентов.



Следует отметить, что сочетание радиационного и других факторов может ослаблять (антагонизм) или усиливать (синергизм) воздействие ионизирующего излучения на организм человека.

Итак

В настоящей главе Вы узнали, что

- Энергия космического излучения и излучения радионуклидов, входящих в состав земного вещества, поддерживает биологический круговорот вещества и обеспечивает функционирование биосферы планеты.
- Вместе с тем, ионизирующее излучение способно вызывать нарушения структуры биологических молекул в клетках, из которых сформированы ткани, органы человека, препятствуя их нормальному функционированию



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- В процессе эволюции на клеточном уровне в организмах выработались механизмы защиты от повреждающего действия естественного излучения. Дополнительное облучение, связанное с поступлением в окружающую среду радионуклидов искусственного происхождения, увеличивает вероятность возникновения радиационных эффектов, проявляющихся в виде различного рода заболеваний.
- Степень повреждения организма зависит от величины дозы и характера облучения.
- С целью уменьшения негативных последствий действия ионизирующего излучения на организм человека устанавливают верхний предел *эффективной дозы облучения* дополнительно к облучению от естественного радиационного фона. В Республике Беларусь величина этой *эффективной дозы составляет:*
  - Ø *1* ***мЗв в год***,
  - Ø *70* ***мЗв — за период жизни*** *70* ***лет***.
- На основе установленной величины предела годовой эффективной дозы регламентируют пределы годового поступления радионуклидов в организм человека с продуктами питания, водой и вдыхаемым воздухом.
- Регламентировано содержание *радионуклидов цезия и стронция* в продуктах питания и воде («*Республиканские допустимые уровни*» — РДУ-99), что является основой
  - Ø контроля радиологического качества пищевых продуктов;
  - Ø снижения эффективной дозы внутреннего облучения людей за счет потребления пищевых продуктов и питьевой воды.



Вопросы для самопроверки и обсуждения:

1. Какова, согласно современным гипотезам, роль естественного излучения в образовании первых на Земле биологических молекул и биополимеров?
2. Где на Земле, по мнению ученых, могли возникнуть первичные организмы? Как Вы думаете, почему?
3. Какова роль солнечного излучения в поддержании жизни на нашей планете?

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

4. Что такое острое и хроническое облучение живых организмов?
5. Как может действовать ионизирующее излучение на клетки живых организмов?
6. Чем отличается прямое действие ионизирующего излучения на биологические объекты от его косвенного действия?
7. Какие изменения могут происходить в белковых молекулах под действием ионизирующего излучения?
8. Какие изменения в ядре живой клетки может вызывать ионизирующее излучение?
9. Что такое репарация клеточных структур?
10. Какие органы и ткани более чувствительны к действию радиации?
11. Каким способом радионуклиды могут попадать в организм человека?
12. Какие параметры используют для оценки опасности радионуклидов при их попадании в организм человека?
13. Что такое детерминированные и стохастические эффекты облучения? Приведите примеры тех и других.
14. Что такое радиационная защита населения, каковы ее цели?
15. Какая предельная величина годовой эффективной дозы облучения населения установлена в Республике Беларусь?
16. Что такое предел годового поступления радионуклидов?
17. Какие нормативные документы регламентируют содержание радионуклидов в продуктах питания и в питьевой воде?

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Глава 6

РАДИАЦИЯ НА СЛУЖБЕ У ЧЕЛОВЕКА

Ключевые слова и словосочетания: радиоактивные изотопы, ядерное деление, ядерный реактор, ядерное топливо, атомная электростанция, тепловыделяющие элементы, радиоактивные отходы, ядерная авария

Достигая новых вершин научного знания и используя достижения технического прогресса, изобретательный ум человека открывает новые возможности применения источников ионизирующего излучения, получения и использования ядерной энергии. Одним из наиболее важных достижений научно-технического прогресса является разработка способов получения и использования ядерной энергии в мирных целях. Благодаря источникам ионизирующего излучения, можно вовремя распознать и эффективно лечить болезни, укротив энергию ядерного деления, обеспечить свет и тепло в домах людей, с помощью радиоактивных нуклидов — изучать протекание самых разнообразных процессов. Источники ионизирующего излучения помогают получать уникальную промышленную продукцию, повышать и сохранять урожай сельскохозяйственных культур.

Изучив главу...



Вы познакомитесь с применением радионуклидов и других источников ионизирующего излучения в медицине, науке, промышленности, сельском хозяйстве. Вы узнаете, что такое ядерный топливный цикл, как устроен и действует ядерный реактор, каким образом получают электрическую энергию на атомной электростанции. Вы также узнаете, с какими проблемами приходится сталкиваться в ядерной энергетике.

6.1. *Использование источников ионизирующего излучения в медицине, промышленности, науке и сельском хозяйстве*

Изотопы химического элемента отличаются друг от друга числом нейтронов в атомном ядре. При одинаковом количестве протонов в ядре и одинаковом строении электронных оболочек стабильные и радиоактивные изотопы одного и того же химического элемента практически одинаковы в химическом отношении. При этом, в отличие от стабильных, радиоактивные изотопы элементов в процессе радиоактивного распада испускают излучение, характерное для каждого радиоактивного изотопа, и имеют определенные величины периода полураспада. Современные методы детектирования ионизирующего излучения позволяют определять ничтожно малые количества радионуклидов путем измерения интенсивности их излучения.

Химическое сходство стабильных и радиоактивных изотопов химического элемента и высокая чувствительность методов определения радиоактивных нуклидов позволяют использовать их для изучения поведения атомов химических элементов в различных процессах.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Это открывает широкие возможности для применения радионуклидов в медицине, науке, промышленности, сельскомхозяйстве.

Радиоактивные изотопы, используемые для изучения поведения атомов химических элементов в различных процессах, называют *радиоактивными индикаторами*, а метод, основанный на их применении, *методом «меченых» атомов*.

Факторы, определяющиевозможностьприменениярадионуклидов и других источниковионизирующегоизлучения

- Одинаковые химические свойства стабильныхи радиоактивныхизотопов химическогоэлемента
- Определеннаяпродолжительностьи постоянство периода полураспада конкретногорадиоизотопа
- Определенный вид излучения, испускаемого при радиоактивном распадекаждогорадиоизотопа
- Наличие приборов, регистрирующих предельно малые количества радионуклидовпо их излучению
- Различная степень поглощения излученияв средахразногосостава и плотности
- Высокая проникающая способность *гамма*- и рентгеновского излучений

Особенности радионуклидов позволяют с высокой точностью определить их количество и места нахождения. Особенности ионизирующего излучения позволяют изменять физические и химические свойства веществ при облучении.

Медицина

Источники ионизирующего излучения широко используются в медицине. Можно выделить следующие области их применения:

- лучевая диагностика;
- радиоизотопная диагностика;
- радиационная терапия.

Эффективные дозы облучения жителей Земли от источников ионизирующего излучения, применяемых в медицине, составляют, в среднем, *0,4 мЗв в год*.

Доза облучения, получаемая человеком при *рентгенографии грудной клетки*, — *0,1 мЗв*

Лучевая диагностика

Ежегодно большая часть населения проходит рентгенологическое обследование. Рентгеновские лучи обладают высокой проникающей способностью и дают возможность врачам «заглянуть» внутрь организма. При прохождении через тело рентгеновские лучи в большей степени поглощаются плотным веществом костной ткани и значительно слабее — мягкими тканями.

Если позади тела расположить фотоматериал, чувствительный к действию рентгеновских лучей, по

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

интенсивности потемнения фотопленки после проявления можно судить о внутреннем строении органов, которые «просвечиваются» рентгеновскими лучами. Степень потемнения фотоматериала зависит от интенсивности рентгеновских лучей, прошедших через организм. На рентгеновском снимке кости, пропускающие меньшую часть рентгеновского излучения, выглядят светлыми, а мягкие ткани, через которые проходит большая часть излучения, — темными.

С помощью рентгеновского снимка можно выявить трещины и переломы костей, обнаружить камни в почках или желчном пузыре, выявить опухоли в органах и тканях.

Компьютерный томограф представляет собой куб, внутри которого находится кольцо с источником рентгеновского излучения и детекторами излучения. При томографическом анализе через окно внутрь вращающегося кольца медленно перемещается горизонтальная плоскость, на которой лежит пациент.

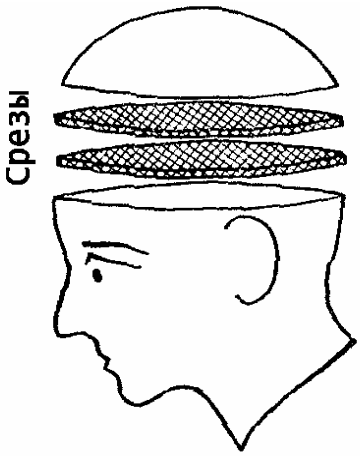


Величайшим достижением явилась разработка такого метода диагностики заболеваний, как компьютерная томография. В 1979 году А. Кормаку и Г. Хаунсфильду, создателям метода компьютерной томографии, была присуждена Нобелевская премия.

Томография — метод неразрушающего послойного исследования внутренней структуры объекта посредством просвечивания его в различных направлениях (так называемое «сканирующее просвечивание»).

Первоначально компьютерный рентгеновский томограф был разработан для исследования головного мозга. Вся процедура компьютерной томографии занимает несколько минут. Рентгеновский аппарат вращается вокруг головы пациента и узкий пучок лучей многократно проходит через головной мозг, пересекая его в различных направлениях. После прохождения через голову пациента рентгеновские лучи поступают на кристаллический детектор, вызывая ионизацию материала детектора. Это приводит к возникновению электрического сигнала в регистрирующей системе, частью которой является детектор.

Компьютерная томография позволяет
- обнаруживать невидимые на обычных рентгеновских снимках детали анатомического строения органов,
- выявить патологические изменения в организме (травмы, опухоли, поражение лимфатических узлов, расширение сосудов), которые при обычном рентгеновском обследовании не удается установить.



С помощью компьютера получают изображение внутренней структуры головного мозга. На изображении можно детально рассмотреть определенные участки мозга

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Электрические сигналы считываются и информация поступает в компьютер. В результате, с помощью компьютерной обработки получают изображение тонких слоев головного мозга на экране дисплея. Одновременно получают и общий вид исследуемой области с указанием положения отдельных слоев.

При использовании метода компьютерной томографии пациенты получают в 10 раз более высокие дозы облучения, чем при обычной рентгенографии, поэтому ее используют лишь тогда, когда обычная рентгенография неэффективна.

В настоящее время существует несколько разновидностей метода томографии:

- рентгеновская,
- магнитная (ЯМР),
- протонная,
- ультразвуковая,
- *гамма*-томография.

Ядерный магнитный резонанс (ЯМР) — резонансное поглощение *электромагнитного излучения*, возникающего при переходах атомных ядер между определенными энергетическими состояниями.

Постоянно разрабатываются новые усовершенствованные модели томографических установок. Современные томографы позволяют получать изображение тонких слоев любой части человеческого тела. У врачей появилась возможность исследовать анатомическую структуру внутренних органов и частей тела человека размером до нескольких миллиметров.

Радиоизотопная диагностика

Радиоактивные изотопы широко используются в медицине в диагностических целях. Радиоизотопная диагностика основана на регистрации излучения от введенных в организм человека радиоактивных препаратов (*in vivo*) или радиометрии взятых у пациента биологических проб при добавлении к ним радиоактивных веществ (*in vitro*).

Эффективная доза облучения пациента при некоторых *диагностических* процедурах может достигать ~ *10 мЗв*

В диагностических целях используют радионуклиды, наименее опасные для организма человека и обладающие непродолжительным периодом полураспада.

Диагностика in vivo

Диагностика in vivo может быть использована для определения состояния различных органов и тканей, их функций, а также для изучения протекания важных биологических процессов в организме человека. Благодаря высокой чувствительности современных детекторов ионизирующего излучения, обследования проводятся при введении в организм человека небольших количеств радиоактивных веществ (около 1мкг), что обуславливает получение относительно низких доз облучения органами или тканями.

Радиоактивные изотопы отличаются от стабильных изотопов данного химического элемента не только атомной массой, но и испусканием излучения, что позволяет детектировать даже ничтожно малые количества радиоактивных изотопов.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Использование радионуклидов для диагностики *in vivo*

Радионуклиды	Что помогает установить?
^{131}I	Состояние щитовидной железы
^{75}Se	Функционирование поджелудочной железы
^{24}Na	Скорость кровотока и проницаемость кровеносных сосудов
^{42}K	Нарушения биологических процессов с участием калия
^{99m}Tc	Опухоли головного мозга, патологию слюнных желез, крупных сосудов, скелета, почек, печени, сердца

Диагностика in vitro

Диагностика in vitro основана на радиометрии биологических проб пациента (образцов крови, желудочного сока, тканей и т. п.). Широкое распространение приобрел *радиоиммунный анализ* — высокочувствительный метод определения содержания в организме человека самых разнообразных гормонов (поджелудочной железы, щитовидной железы, гипофиза и др.), белков сыворотки крови и ферментов.

При проведении радиоиммунного анализа используется радиоактивное вещество, которое не вводят в организм человека, а добавляют к исследуемому биологическому образцу.

При осуществлении радиоимунного анализа

- пациент не подвергается риску облучения,
- тест можно многократно повторять с целью наблюдения за эффективностью лечения.

Метод позволяет диагностировать заболевания, связанные с нарушением гормонального обмена и деятельности иммунной системы.

Ионизирующее излучение используют в медицине для стерилизации

- хирургических инструментов
- систем переливания крови
- аппаратов «сердце», «легкие», «искусственная почка» и др.

Метод основан на способности ионизирующего излучения убивать болезнетворные микроорганизмы.

Радиационная терапия

Широкое распространение получила лучевая терапия в онкологии. Терапевтическое действие радиации основано на способности ионизирующего излучения угнетать процессы деления клеток и, в конце концов, приводить к их гибели, что используется для уничтожения раковых клеток в организме пациента.

Облучение злокачественных новообразований с помощью *гамма-* и рентгеновских лучей, ускоренных электронов, протонов, *альфа*-частиц позволило добиться хороших результатов при лечении онкологических заболеваний.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Часто облучение опухолей осуществляют с помощью кобальтовой «пушки», которая является источником *гамма*-квантов высокой энергии. *Гамма*-кванты непосредственно излучает радиоактивный изотоп кобальта (^{60}Co), помещенный в свинцовый сферический контейнер, который служит радиационной защитой прибора.

Поглощенные дозы при терапевтических процедурах достигают 20 – 60 Гр. Чтобы убить только раковые клетки, необходимо очень точно оценивать требуемые дозы и облучать только места локализации раковых клеток. В противном случае радиотерапия может привести к лучевой болезни

Иногда в качестве излучателей используют радиоактивные источники в виде

- металлической проволоки, содержащей радиоактивный йод (^{132}I);
- зерен, содержащих изотоп ^{125}I;
- игл, содержащих изотоп ^{226}Ra.

В радиационной терапии радионуклиды нередко вводят и внутрь организма. Так, при хирургическом удалении опухолей в организме может оставаться пораженная ткань. Чтобы избежать появления метастазов (разрастания раковых клеток), в организм вводят радиоактивные изотопы, которые концентрируются в больном органе, вызывая гибель раковых клеток.

Ионизирующее излучение применяют также при лечении других заболеваний. Так, для лечения заболеваний суставов и нервной системы используют радоновые ванны. Кожные и глазные болезни лечат с помощью аппликаторов, содержащих радиоактивный стронций (^{85}Sr).

Промышленность

Источники ионизирующего излучения применяют в горнодобывающей промышленности, строительстве, машиностроении, химическом производстве, металлургии, целлюлозно-бумажной, стекольной промышленности и других отраслях производства.

Радиоактивные тулий (^{170}Tm) или европий (^{155}Eu) применяют для обнаружения алмазов в кимберлитовой породе. Под влиянием гамма-излучения этих радионуклидов увеличивается блеск алмазных кристаллов, и они отчетливо выделяются на фоне пустой породы, что облегчает их извлечение.

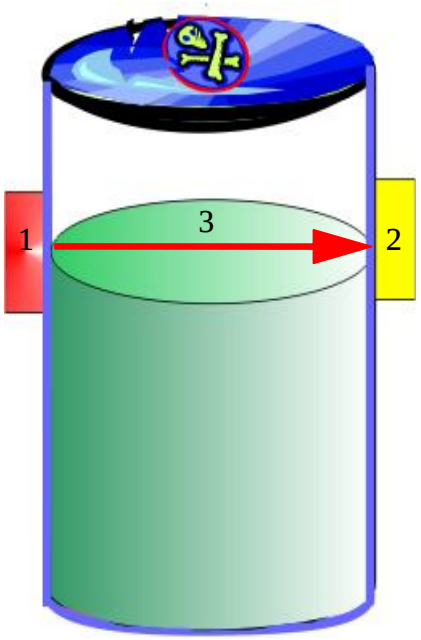
Примеры использования источников ионизирующего излучения в промышленности

- Обнаружение дефектов в промышленных изделиях.
- Контроль толщины различных материалов.
- Определение уровня жидкости в резервуарах.
- Контроль качества полупроводниковых кристаллов.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- Синтез новых веществ:
  - Ø фенола из бензола,
  - Ø бромэтилена из этилена и бромистого водорода.
- Изменение структуры и свойств материалов:
  - Ø получение композиционныхматериалов(древо-, бетоно-, стекло-, цементополимеров);
  - Ø вулканизация полибутадиена и других эластомеров при производстве шин и резинотехнических изделий;
  - Ø нанесение лакокрасочных покрытий на бумагу, дерево, металл, шифер, полимерные пленки;
  - Ø имплантирование (внедрение) примесей в монокристаллы кремния с целью получения полупроводниковых материалов с заданными свойствами.
- Контроль распределения легирующих добавок в сплавах.
- Определение равномерности распределения добавок при варке стекла.
- Контроль утечки токсичных и ядовитых веществ.
- Определениестепенииносаметаллическихдеталей и истиранияповерхностеймеханическихустройств.

Схема устройства для контроля уровня токсичных жидкостей в замкнутых резервуарах



1 — Источник излучения
2 — Детектор
3 — Уровень жидкости

При заполнении емкостей токсичными веществами на химических предприятиях для контроля уровня жидкости в замкнутых резервуарах используют источники ионизирующего излучения. Для осуществления контроля источник излучения и детектор устанавливают на внешней стороне емкости друг против друга. Как только жидкость поднимается выше определенного уровня, интенсивность излучения из-за поглощения жидкостью резко падает и заполнение резервуара автоматически прекращается.

Радиоактивные нуклиды применяют и для определения герметичности емкостей, заполняемых ядовитыми веществами. В случае утечки ядовитых веществ, детекторы регистрируют их по излучению радиоактивных добавок, внесенных в ядовитое вещество.

Радиоактивные изотопы широко используют для контроля производственных технологических процессов. Так, в стекольномпроизводствепроцесс варки стекла контролируют с помощью радио-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

активного изотопа ^{24}Na, добавляемого в исходное сырье.

Обнаружение дефектов в промышленных изделиях и контроль толщины материалов также осуществляют с помощью источников ионизирующего излучения.

Обнаружение дефектов в промышленных изделиях

Радиационная дефектоскопия — метод обнаружения дефектов структуры в промышленных изделиях, основанный на способности ионизирующего излучения неодинаково поглощаться в местах расположения дефектов и на участках с ненарушенной структурой.

При контроле излучение источника направляют на анализируемый объект, за которым помещают фотоматериал, чувствительный к используемому излучению.

Радиационная дефектоскопия позволяет

- обнаруживать местонахождение внутренних дефектов,
- определять форму и размеры дефектов,
- получать изображение дефектов с помощью фотоматериалов

Дефекты стальных конструкций, крупных металлических отливок и качество сварных швов трубопроводов контролируют с помощью источников *гамма*-излучения.

Контроль толщины материалов

Степень поглощения излучения изделием зависит от:

- *природы излучения,*
- *состава и структуры материала, из которого состоит изделие,*
- *толщины изделия.*

Чтобы контролировать в процессе производства толщину бумаги, пластика, металлической фольги, жести и др. материалов, источник излучения устанавливают под движущимся транспортером, несущим изделие, а над транспортером располагают детектор излучения. По степени поглощения излучения определяют толщину изделия с точностью до нескольких микрон.

При контроле толщины *тонких* гальванических покрытий и других пленок в качестве источника излучения обычно используют *бета*-излучающий изотоп талия ^{204}Tl.

Толщину более *толстых* материалов (жести, горячего проката) контролируют с помощью *гамма*-излучения.

С помощью источников ионизирующего излучения можно изменять свойства материалов (полимеров, лаковых покрытий, резины) и синтезировать новые вещества.

Можно привести множество примеров радиационной обработки материалов с целью изменения их свойств.

- Облучение повышает термостойкость полиэтилена. Температура его размягчения поднимается от ~ 373 до 623 К, что позволяет использовать трубы из облученного полиэтилена в системе горячего водоснабжения.
- Радиационная обработка при вулканизации полибутадиена и других эластомеров используется в производствешин и резинотехническихизделий с целью увеличения их прочности и износостойкости.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

В облученных материалах могут происходить *химические изменения*:
• образование поперечных связей между молекулами
• деструкция (разрушение) макромолекул
• появляются «перекрестные» химические связи и образуется своеобразная сетчатая структура.
Это приводит к увеличению механической прочности, теплостойкости и др. полезным изменениям свойств материалов.

- Источники ионизирующего излучения применяют для улучшения качества композиционных материалов. Метод заключается в способности ионизирующего излучения вызывать полимеризацию мономеров, пропитывающих пористые материалы. Таким способом получают древо-, бетоно-, стекло- и цементополимеры, обладающие повышенной прочностью, упругостью, водо- и морозоустойчивостью.
- Радиационную полимеризацию применяют для увеличения адгезии при нанесении лакокрасочных покрытий на бумагу, дерево, металл, стекло, шифер и полимерные пленки.

Научные исследования

Рентгеноструктурный анализ

Примером использования ионизирующего излучения в прикладных исследованиях является *рентгеноструктурный анализ*, в ходе которого с помощью рентгеновского излучения определяют особенности структуры кристаллических веществ.

Активационный анализ

Широкое применение в геологии, геохимии, космохимии имеет *активационный анализ*. О присутствии атомов различных элементов в веществе (без нарушения целостности образца) судят по так называемой *наведенной активности* образца, которая возникает при его облучении. Например, при воздействии *гамма*-излучения ядра стабильных атомов золота становятся радиоактивными и испускают *гамма*-кванты определенной энергии, которые можно регистрировать с помощью радиометра или спектрометра и тем самым судить о содержании золота в породе.

Метод *активационного анализа* позволяет определить содержание золота в золотоносных рудах порядка 10^{-4} %. Созданы также установки для экспресс-анализа веществ на содержание серебра, алюминия, меди, кремния и других элементов.

Геологические часы

По содержанию долгоживущих радионуклидов естественного происхождения и продуктов их распада определяют возраст природных образований. В этом случае радионуклиды используют в качестве «геологических часов». Для определения возраста природных образований используются *свинцово-урановый*, *калиево-аргоновый*, *радиоуглеродный* и другие методы.

Свинцово-урановый метод заключается в определении содержания в горной породе ^{238}U и стабильного изотопа свинца ^{206}Pb, являющегося конечным продук-

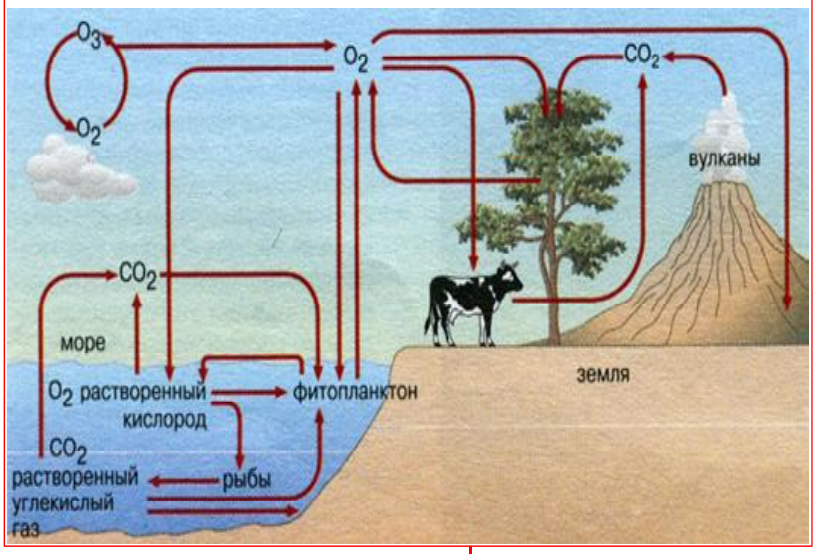
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

том его распада. Период полураспада ^{238}U составляет около $4{,}47 \cdot 10^{9}$ лет. Чем больше ^{206}Pb накопилось в урансодержащей горной породе, тем больше ее возраст.

Калиево-аргоновый метод состоит в определении соотношения радиоактивного калия ($^{40}\boldsymbol{K}$) природного происхождения и стабильного изотопа аргона (^{40}Ar), являющегося продуктом его распада. Период полураспада $^{40}\boldsymbol{K}$ составляет $1{,}28 \cdot 10^{9}$ лет. Этот метод позволяет оценить возраст минералов, содержащих относительно большие количества калия, таких, как например, слюда и полевой шпат.

Радиоуглеродный метод основан на определении содержания радиоактивного изотопа углерода $^{14}\boldsymbol{C}$ в образцах органического происхождения. Период полураспада изотопа $^{14}\boldsymbol{C}$ составляет 5 730 лет. Радиоактивный углерод $^{14}\boldsymbol{C}$ постоянно образуется в верхних слоях атмосферы и вместе со стабильными изотопами $^{12}\boldsymbol{C}$ и $^{13}\boldsymbol{C}$ участвует в природном круговороте углерода. На протяжении последних 50 000 лет содержание изотопа $^{14}\boldsymbol{C}$ в атмосфере сохраняется относительно постоянным.

Круговорот кислорода и углерода
Оба элемента постоянно циркулируют в биосфере



Изотопы углерода, в основном, присутствуют в атмосфере в виде диоксида углерода ($\boldsymbol{CO_2}$) и в результате процесса фотосинтеза переходят в состав более сложных углеродсодержащих органических молекул растительных организмов. Далее по пищевой цепи углерод попадает в организмы животных и человека.

На протяжении жизни концентрация радиоактивного углерода в тканях растений и животных остается такой же, как в атмосфере, поскольку уменьшение содержания изотопа $^{14}\boldsymbol{C}$ вследствие радиоактивного распада компенсируется его поступлением из окружающей среды. Однако со смертью организма поступление углерода прекращается, и содержание изотопа $^{14}\boldsymbol{C}$ непрерывно уменьшается.

По изменению в образце содержания радиоактивного углерода определяют промежуток времени, прошедший с момента гибели организма. Этот проме-

С помощью *свинцово-уранового метода* показано:

- наиболее древние породы нашей планеты существуют около ~4 ***млрд. лет***
- возраст Земли составляет порядка ~4,6 ***млрд. лет***.

Удельная активность образца растительной ткани по изотопу $^{14}\boldsymbol{C}$ в среднем составляет 0,2 **Бк/г**

Современный радиоуглеродный метод позволяет

- учитывать небольшие изменения во времени содержания изотопа $^{14}\boldsymbol{C}$ в атмосфере
- определять возраст образцов органического происхождения вплоть до *50 000 лет*

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

жуток времени и считают возрастом органического материала, который когда-то был живым организмом.

Метод «меченных» атомов

Радиоактивные изотопы широко используют в научных исследованиях в качестве радиоактивных индикаторов (метод «меченых» атомов).

Применение метода «меченых» атомов

Область научных знаний	Что исследуется?
Физика и химия	Строение химических соединений Механизмы и скорость химических реакций Растворимость веществ Процессы испарения, диффузии, сорбции
Биохимия	Обмен веществ в живом организме Строение и механизмы синтеза белков, нуклеиновых кислот, жиров и углеводов Скорость протекания биохимических реакций
Физиология	Процессы кровообращения, всасывания питательных веществ из желудочно-кишечного тракта, перераспределения различных соединений по организму Выявление роли микроэлементов в физиологических процессах
Фармакология и токсикология	Механизмы всасывания лекарственных препаратов, токсических веществ и их накопление в различных органах и тканях
Микробиология, иммунология и вирусология	Биохимические особенности жизнедеятельности микроорганизмов Механизмы протекания ферментативных и иммунологических реакций
Экология	Процессы миграции веществ в экосистемах

Сельское хозяйство

В сельском хозяйстве ионизирующее излучение от источников искусственного происхождения используют для

- повышения урожайности сельскохозяйственных культур;
- выведения новых сортов растений — радиоселекции;
- радиационной стерилизации продуктов питания;
- обеззараживания стоков животноводческих комплексов.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Гамма-излучение применяют для выведения новых сортов пшеницы, фасоли, овса, картофеля, гречихи, фруктовых деревьев, чая, декоративных цветов и др. Новые сорта растений, полученные путем *искусственно вызванных мутаций* в растительном организме под действием облучения, относят к генетически модифицированным.

В последнее время все более широкое распространение приобретает радиационная обработка пищевых продуктов с целью уничтожения бактерий, грибков, насекомых -вредителей , предупреждения порчи и уменьшения потерь продуктов при длительном хранении.

Традиционные методы стерилизации основаны на нагревании и химической обработке продуктов, что зачастую приводит к разрушению витаминов, ухудшению вкусовых качеств. Радиационная стерилизация обладает высокой эффективностью, может проводиться для упакованного продукта, не меняет его цвета, запаха, вкуса. Поэтому облучение используют для продления сроков хранения мяса, рыбы, фруктов, овощей, грибов, ягод, приправ и специй. Благодаря радиационной стерилизации, жители северных районов мира могут наслаждаться экзотическими фруктами из тропической Африки.

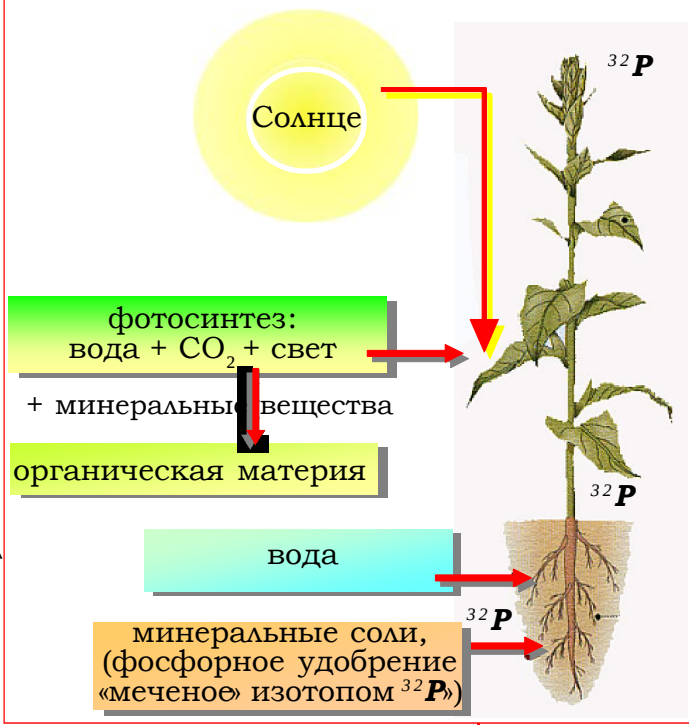
Радиационная стерилизация насекомых, разведенных в неволе, и их внедрение в «дикую» популяцию приводит к потере способности насекомых к размножению. Подобный метод был применен против средиземноморской плодовой мухи.

К проведению радиационной стерилизации подходят осторожно. Доказательства безвредности облученных продуктов всегда предшествуют применению на практике подобного способа обработки. Многочисленные исследования свидетельствуют о безопасности для человека пищевых продуктов, подвергнутых радиационной стерилизации.

Кроме использования внешнего облучения, в сельском хозяйстве применяют метод «меченых» атомов. Особенно широко его используют в науке. С помощью этого метода изучают:

- распределение элементов питания в растительных и животных организмах;

Использование изотопа ^{32}P для изучения распределения фосфора в растении



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- влияние удобрений на развитие растений в зависимости от состава, формы и времени их внесения.

Например, чтобы выяснить, из каких фосфорных удобрений фосфор лучше усваивается растениями, удобрения «помечают» радиоактивным фосфором, добавляя в них изотоп ^{32}P. Исследуя затем содержание изотопа ^{32}P в растениях, подкормленных разными удобрениями, можно судить о количестве усвоенного ими фосфора.

6.2. Принцип действия ядерных реакторов и их типы



Отто Ган
(1879 - 1968)



Фриц Штрассман
(1902 - 1980)

Из истории открытия деления ядер

1938 **год**

Выдающиеся немецкие радиохимики *Отто Ганн и Фриц Штрассман*

- облучая уран медленными нейтронами, обнаружили барий, который мог быть только продуктом деления ядер ^{235}U. Фактически, они открыли, что
- ядра ^{235}U под действием нейтронов способны делиться
- реакция деления сопровождается выделением огромного количества энергии.

Ядерное деление

Помимо рассмотренных ранее ядерных превращений, сопровождающихся *альфа-*, *бета-* и *гамма-*излучениями, возможны ядерные реакции, при которых происходит *деление тяжелых атомных ядер*.

Способность ядра делиться зависит от соотношения кулоновских сил отталкивания положительно заряженных протонов и ядерных сил связывания нуклонов (протонов и нейтронов) в ядре, которые действуют лишь на ограниченном расстоянии (*0,2 – 1,4 ф*) и не зависят от заряда нуклонов.

В ядрах тяжелых нуклидов с атомными номерами более 82 силы кулоновского отталкивания возрастают настолько, что ядра становятся крайне неустойчивыми. Подобные ядра подвержены *альфа*-распаду с выделением энергии до 10 МэВ. Однако в некоторых случаях тяжелому ядру энергетически выгоднее не подвергаться *альфа*-распаду, а разделиться на ядра меньших размеров, поскольку при этом выделяется значительно больше энергии — до 200 МэВ.

Деление атомного ядра — это вид ядерной реакции, в результате которой тяжелое атомное ядро делится на более легкие ядра, называемые осколками деления.

Существует *критический размер* ядра, при достижении которого ядро становится способным к самопроизвольному (спонтанному) делению. Критический размер характерен для ядер, содержащих ~ 110 – 120 протонов. Подобные сверхтяжелые ядра практически мгновенно делятся и не могут существовать в природных условиях. Несмотря на то, что постоянно проводятся эксперименты по их искусственному полу-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

чению, до сих пор Периодическая система завершается элементом с атомным номером 106.

Критического размера могут достигать тяжелые ядра и с меньшим количеством протонов, если они получают дополнительное количество энергии и переходят в возбужденное состояние. Возбуждение ядер приводит к увеличению их размеров.

Получить дополнительную энергию, необходимую для возбуждения, тяжелые ядра с размером меньше критического могут при захвате ядерной частицы или кванта электромагнитного излучения.

Некоторые виды ядер (^{235}U, ^{238}U, ^{232}Th и др.) приобретают способность делиться при облучении нейтронами, протонами, дейтронами, *альфа*-частицами, *гамма*- и даже рентгеновскими лучами.

Из всех реакций ядерного деления наиболее широкое применение нашла реакция деления, вызываемая *нейтронами*. Это связано с тем, что при столкновении с тяжелыми положительно заряженными ядрами нейтронам не приходится преодолевать кулоновскоеотталкиваниепротонов. Им легче проникать в ядра атомов тяжелых элементов и инициировать их деление.

Ядро, поглотившеенейтрон, переходитв возбужденное состояние. Оно увеличивается в размере, меняет форму и может разделиться. Чаще всего, в процессе деления тяжелое атомное ядро распадается на 2 неодинаковых ядра-осколка разной массы. Гораздо реже образуется 3 или 4 осколка деления.

В процессе ядерного деления и сопровождающих его других ядерных превращений образуется множество разнообразных продуктов.

Типичным примером реакции ядерного деления является расщепление ядра ^{235}U на ядро криптона (^{92}Kr) и бария (^{141}Ba):

$$^{235}U + {}^{1}n = {}^{92}Kr + {}^{141}Ba + 2\,{}^{1}n + g$$

Однако это не единственный способ деления ядра ^{235}U. В результате деления ядра ^{235}U образуются и другие осколочные ядра атомов элементов с порядковыми номерами от 30 (цинк) до 65 (тербий).

Часть ядер ^{235}U и ядер атомов других тяжелых элементов, образующихся в зоне реакции за счет захвата

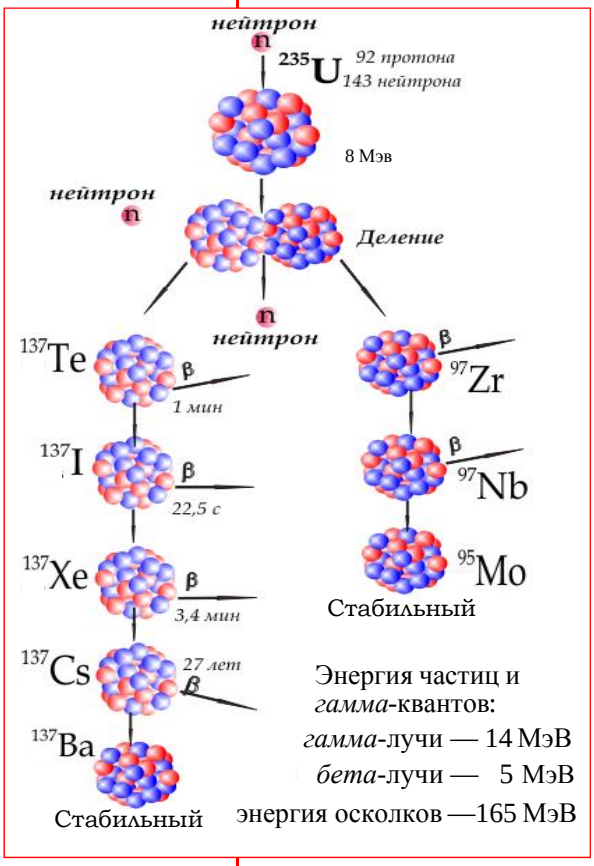
Из истории открытия деления ядер

1939 ***год***

Фредерик Жолио-Кюри и его коллеги, *Лео Сцилард* и *Энрико Ферми* доказали:

- при распаде атомного ядра ^{235}U освобождается несколько нейтронов
- каждый из этих нейтронов способен расщеплять ядра соседних атомов ^{235}U
- при определенных условиях возможна цепная реакция деления ядер ^{235}U.

Одна из наиболее вероятных схем деления ^{235}U



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

свободных нейтронов, подвергается не только делению, но и *альфа*-распаду.

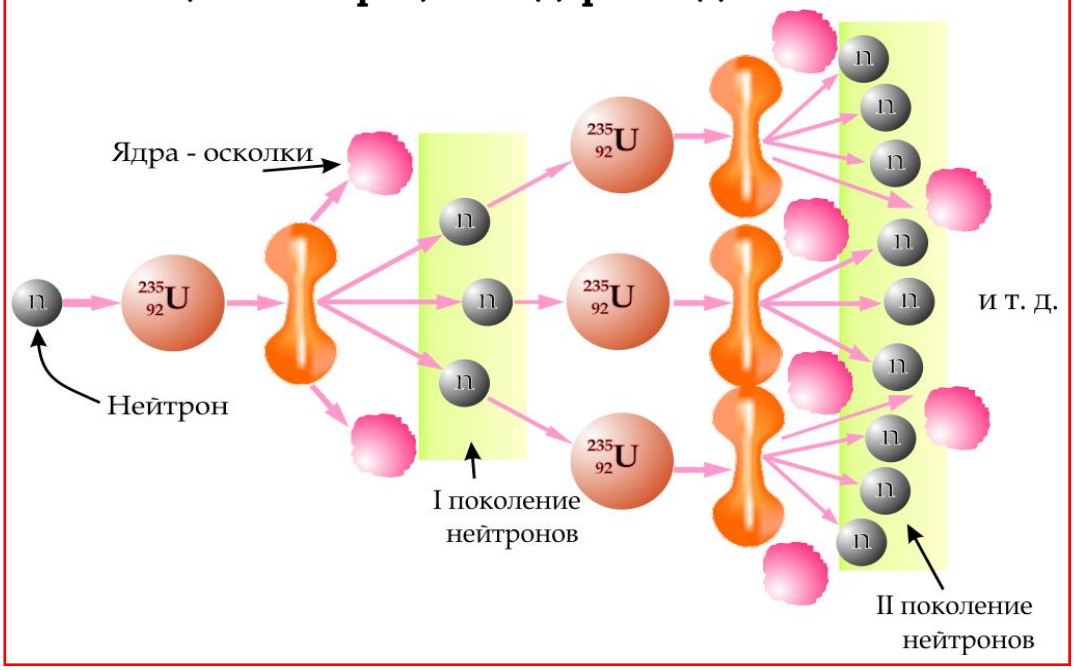
Ядра-осколки, которые образуются при делении ядер атомов тяжелых элементов, как правило, содержат избыточные нейтроны и поэтому неустойчивы (радиоактивны). Они переходят в устойчивое состояние посредством последовательных *бета*-распадов, причем цепочка *бета*-распадов продолжается вплоть до образования стабильных атомных ядер.

Реакция названа *цепной* по аналогии с цепными химическими реакциями, в которых продукты, образующиеся в результате химического превращения, могут взаимодействовать с другими молекулами исходных веществ.

Процессы ядерного деления, ядерных превращений осколков деления и других продуктов сопровождаются также выделением энергии в виде *гамма*-излучения.

Каждый акт деления ядер ^{235}U происходит с освобождением 2 – 3 нейтронов. Эти нейтроны могут взаимодействовать с другими ядрами ^{235}U и, в свою очередь, вызывать их деление. В результате, число актов деления возрастает и становится возможным протекание *цепной реакции* ядерного деления.

Схема цепного процесса ядерного деления



Если бы процесс деления протекал в таких условиях, когда каждый образующийся нейтрон вызывал деление другого тяжелого ядра, через пятьдесят последовательных актов деления, вместо одного нейтрона, начавшего процесс деления, образовалось бы порядка 10^{25} свободных нейтронов.

В действительности, не все свободные нейтроны способны вызывать деление тяжелых ядер.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- Только нейтроны определенных энергий могут приводить к делению ядер. Например, ядра ^{238}U могут делиться только при взаимодействии с быстрыми нейтронами, энергия которых выше 1100 эВ, тогда как ядра ^{235}U могут делиться при взаимодействии с медленными (так называемыми *тепловыми*) нейтронами, энергия которых ниже 1 эВ.
- Часть нейтронов может захватываться атомными ядрами, не способными к делению, но присутствующими в том месте, где протекает реакция деления.
- Часть нейтронов вылетает за пределы пространства, где возможно столкновение с ядром, способным делиться.

Область пространства, где происходит цепная реакция ядерного деления, называют активной зоной.

Развитие цепной реакции ядерного деления зависит от:

- количества нейтронов, освобождающихся в каждом акте деления;
- размеров активной зоны;
- количества взаимодействий свободных нейтронов с тяжелыми ядрами, приводящих к ядерному делению;
- количества взаимодействий свободных нейтронов с неделящимися ядрами примесей.

Для поддержания цепной реакции необходимо, чтобы, в среднем, по крайней мере, один нейтрон, образовавшийся в процессе деления, вызывал расщепление другого тяжелого ядра.

О возможности протекания цепной реакции деления можно судить по величине *коэффициента размножения нейтронов* (***K***).

Коэффициент размножения нейтронов — это отношение количества нейтронов, освобождающихся в актах деления на определенном этапе развития цепного процесса, к количеству нейтронов, освобождающихся в актах деления предшествующего этапа

- Если **K** < 1, то цепная реакция ядерного деления невозможна;
- при ***K*** = *1* возможна самоподдерживающаяся цепная реакция деления, которая протекает с постоянной скоростью;
- если ***K*** > *1*, то число свободных нейтронов и число актов деления возрастает с каждым новым поколением нейтронов, освобождающихся при де-

Цепная реакция ядерного деления возможна при условии ***K*** ≥ *1*

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

лении ядер. Это приводит к быстрому развитию цепного процесса деления, который протекает с нарастающей скоростью.

Условием, необходимым для осуществления цепной реакции ядерного деления, является наличие определенной массы делящегося вещества.

Минимальная масса делящегося вещества, при которой возможно развитие цепной реакции ядерного деления, называется критической массой делящегося вещества

Если масса делящегося вещества *меньше критической* (*подкритическая масса*), то часть освобождающихся в процессе ядерного деления нейтронов может вылетать за пределы делящегося вещества прежде, чем сталкиваться с другими ядрами, способными делиться. В этом случае количество нейтронов, покидающих делящееся вещество, превосходит количество нейтронов, освобождающихся в новых актах деления, и *цепная реакция ядерного деления прекращается*.

Если масса делящегося вещества *больше критической* (*надкритическая масса*), число нейтронов в последующих актах деления быстро увеличивается, и процесс *деления развивается лавинообразно*. Подобный процесс характеризуется большим коэффициентом размножения нейтронов и завершается *взрывом* огромной силы с выделением колоссального количества энергии. В этом случае реакция ядерного деления является *неуправляемой (нерегулируемой)*.

Неуправляемая цепная реакция деления

Реакция подобного типа лежит в основе действия ядерного оружия.

Управление цепной реакцией ядерного деления заключается в регулировании скорости ее протекания, т. е. *в регулировании числа актов ядерного деления в единицу времени*

Управляемая цепная реакция деления

Управляемая цепная реакция деления осуществляется в специальных устройствах — ядерных реакторах, где поддерживаются условия, при которых коэффициент размножения нейтронов **K** = 1. Реакцию этого типа используют для получения энергии в промышленных масштабах.

Ядерная энергия выделяется при любом самопроизвольном ядерном распаде. Однако для получения тепловой и электрической энергии в промышленных масштабах используют лишь *управляемые цепные реакции ядерного деления*. Это связано с тем, что

- в результате реакции деления выделяется зна-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

чительно больше энергии, чем при самопроизвольном ядерном распаде;

- при проведении реакции деления в специально сконструированных устройствах количество свободных нейтронов и их энергию можно регулировать;
- поддерживая количество вызывающих деление нейтронов на определенном уровне, можно сохранять цепной характер процесса, т. е. его непрерывное протекание;
- ядерная энергия, выделяющаяся в результате процесса деления, может быть преобразована в тепловую энергию.

Способностью спонтанно (самопроизвольно) делиться обладают ядра ^{233}U, ^{235}U, ^{239}Pu, ^{241}Pu и некоторых других трансурановых элементов.

Природный уран является смесью изотопов ^{238}U (99,28 %), ^{235}U (0,71 %) и ^{234}U (0,006 %)

^{235}U встречается в природе. При бомбардировке природной смеси атомов урана нейтронами цепной процесс ядерного деления не происходит, поскольку не достигается критическая масса природного изотопа урана ^{235}U, способного подвергаться делению тепловыми нейтронами, всегда присутствующими в природном уране.

Наличие критической массы необходимое, но не достаточное условие для осуществления реакции деления с целью получении энергии. Не умея управлять цепной ядерной реакцией деления, вместо тепла и электрической энергии можно получить атомную бомбу.

В конечном итоге, управление цепной реакцией деления сводится к регулированию коэффициента размножения нейтронов, т.е. поддержанию в активной зоне реакции определенного количества нейтронов, способных вызывать ядерное деление.

В результате реакции деления тяжелое атомное ядро распадается на ядра-осколки, которые уносят основную часть энергии, выделяющейся в процессе деления. Например, осколки деления ядер ^{235}U обладают кинетической энергией ($E_к$) ~ *200 МэВ* на каждый акт ядерного деления.

Ядра-осколки в столкновениях с другими ядрами передают им часть своей энергии, при этом кинетическая энергия осколков ($\boldsymbol{E_к}$) преобразуется в тепловую энергию ($\boldsymbol{E_т}$).

Полная энергия, выделяющаяся в процессе ядерного деления, включает:

- кинетическую энергию осколков ядерного деления;
- энергию *гамма*-излучения, сопровождающего деление ядер;

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- кинетическую энергию нейтронов, освобождающихся в результате ядерного деления;
- энергию *гамма-*, *бета-* и *альфа-*излучений, сопровождающих распад осколков деления и ядерные превращения исходных и промежуточных продуктов деления.

Энергию, выделяющуюся в процессе ядерного деления, можно преобразовать в тепловую и электрическую.

Практическое использование ядерной энергии в мирных целях стало возможным лишь после создания ядерных реакторов.

Основные элементы ядерных реакторов

В ядерном реакторе происходит преобразование ядерной энергии, освобождающейся в процессе регулируемой цепной реакции деления ядер атомов тяжелых элементов, в тепловую энергию.

Основными элементами ядерного реактора являются:

- *активная зона,*
- *замедлитель,*
- *управляющие (контрольные) стержни,*
- *отражатель,*
- *теплоноситель.*

Активная зона

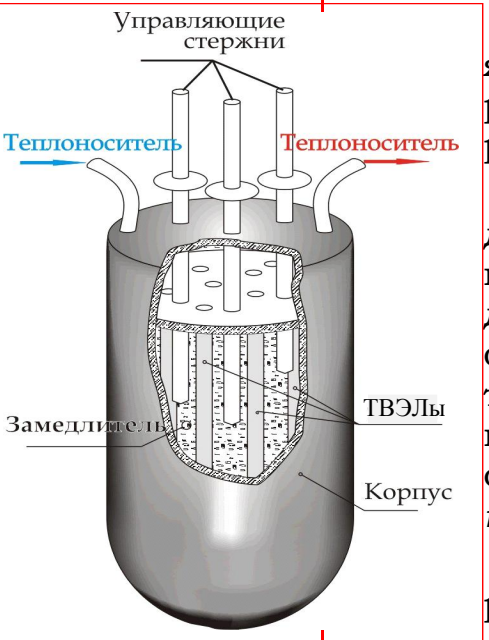


Схема гетерогенного ядерного реактора

Активной зоной в ядерных реакторах является та его часть, в которой происходит реакция ядерного деления. В этой части реактора размещается ядерное топливо.

По способу размещения топлива реакторы делят на *гетерогенные* и *гомогенные*. В гетерогенных реакторах ядерное топливо распределено по активной зоне неравномерно—в виде отдельных блоков. Топливо находится в герметичной защитной оболочке из термостойкого циркониевого сплава. Такие элементы конструкции получили название *тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов)*.

В гомогенных реакторах ядерное топливо равномерно распределяется по активной зоне.

Ядерное топливо представляет собой смесь веществ, содержащих как делящиеся ядра (чаще всего ^{235}U), так и ядра ^{238}U или ^{232}Th, которые в результате взаимодействия с нейтронами могут образовывать делящиеся ядра ^{233}U или ^{239}Pu.

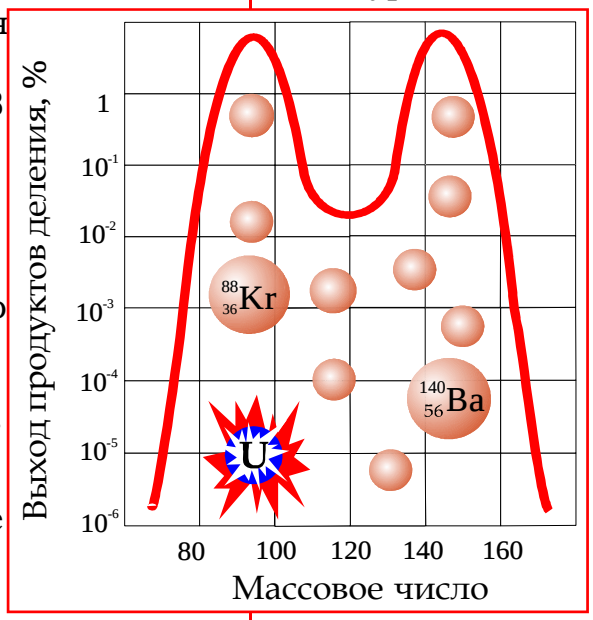
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Исследования показали, что наиболее целесообразно использовать в качестве ядерного горючего ^{235}U, делящийся при взаимодействии с тепловыми нейтронами, получить которые технически несложно. Однако для обеспечения *цепного* процесса необходимо, чтобы содержание ^{235}U в природном уране было повышено, по крайней мере, до 2 %.

Ядерное топливо

В настоящее время в качестве топлива для ядерных реакторов, в основном, используют урановое топливо в виде диоксида урана (UO_2), в котором содержание ^{235}U достигает 2 – 4 %.

Продукты деления урана



Осколки деления: ^{90}Sr, ^{91}Kr, ^{126}I, ^{137}Cs, ^{133}Xe, ^{103}Ru, ^{91}Y и др.

В процессе работы реактора образуется около 200 осколочных радионуклидов, преимущественно с атомными массами от 88 до 110 и от 125 до 150. Под действием нейтронного потока, помимо ядерного деления, происходят и другие виды радиоактивных превращений ядер атомов тяжелых элементов, входящих в состав ядерного топлива. Образуются неустойчивые атомные ядра плутония, америция, кюрия. В результате, *состав ядерного топлива в реакторе постоянно меняется*.

Нейтроны, образующиеся в результате процесса ядерного деления уранового топлива, в зависимости от величины их энергии ($E_н$) делят на:

- *тепловые* — $E_н$ менее 1 эВ;
- *промежуточные* — $E_н$ от 1 эВ до 10 000 эВ;
- *быстрые* — $E_н$ более 10 000 эВ.

Делящиеся ядра ^{235}U наиболее эффективно захватывают тепловые нейтроны. Чтобы получать тепловые нейтроны в количестве, достаточном для поддержания цепной реакции деления урана, в реакторе применяют *замедлители*.

Замедлители

Замедлители — это вещества, которым *быстрые* высокоэнергетические нейтроны и *промежуточные* нейтроны средних энергий передают часть своей кинетической энергии, превращаясь в медленные *тепловые* нейтроны.

В качестве замедлителей используют графит (***C***), воду (***H***$_2$***O***) и тяжелую воду, в которой атомы обычного водорода — протия (^{1}***H***) заменены атомами тяжелого водорода дейтерия (^2D). В гетерогенных реакторах замедлитель располагают между ТВЭЛами. В гомогенных реакторах замедлитель смешан с ядерным топливом и равномерно распределен по активной зоне.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

В зависимости от состава используемого замедлителя реакторы подразделяют на

- *графитовые*,
- *водные*,
- *тяжеловодные*.

Управляющие стержни

Управляющие (контрольные) стержни состоят из веществ, которые хорошо поглощают нейтроны. С их помощью регулируют процесс ядерного деления. Они поддерживают определенное содержание нейтронов в активной зоне, обеспечивая протекание цепной реакции деления, препятствуя чрезмерно активному прохождению процесса ядерного деления и перегреву активной зоны реактора, который может привести к серьезной аварии.

В качестве *материалов, поглощающих нейтроны* используют *бор, кадмий, карбид бора*

Отражатели

Отражатели применяют для уменьшения потерь нейтронов, участвующих в делении. Отражатели изготавливают из тяжелых металлов и располагают по периферии активной зоны. Они возвращают *нейтроны* в *активную зону*, увеличивая число нейтронов, участвующих в делении.

Пластины-отражатели изготавливают из тяжелых металлов (*урана, тория и др.*)

Теплоносители

Теплоноситель используют для отвода из активной зоны реактора тепловой энергии, в которую преобразуется энергия ядерного деления и сопутствующих ядерных превращений. В качестве теплоносителей применяют воду, жидкие металлы (калий, натрий и др.), газы (воздух, азот, диоксид углерода, гелий и др.), различные органические вещества. В зависимости от *типа теплоносителя* реакторы подразделяют на:

- *водяные*,
- *жидкометаллические*,
- *газовые*,
- *органические*.

В процессе работы ядерного реактора вода и графит, которые применяют в качестве замедлителей, облучаются нейтронами. В результате, образуются тритий (^{3}T) и радиоактивный углерод (^{14}C). Ядерные превращения под действием нейтронов претерпевают и атомы элементов, которые входят в состав конструкционных материалов реактора.

Поскольку все происходящие в реакторе ядерные превращения сопровождаются *гамма*-излучением, любой реактор является источником проникающей радиации. Чтобы обеспечить безопасность персонала и нормальное функционирование контрольно-измерительной аппаратуры, ядерный реактор имеет систему защиты от излучения.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Система защиты ядерного реактора выполняет следующие функции:

- снижает мощность излучения до уровня, допустимого для работы персонала (*биологическая защита*);
- предохраняет ответственные элементы конструкции ядерного реактора от чрезмерного перегрева и радиационных повреждений (*радиационно-тепловая защита*).

Ниже приведена классификация реакторов в зависимости от их назначения, типа используемого топлива, активной зоны, замедлителя, теплоносителя, величины энергии нейтронов, вносящих основной вклад в общее число ядерных делений.

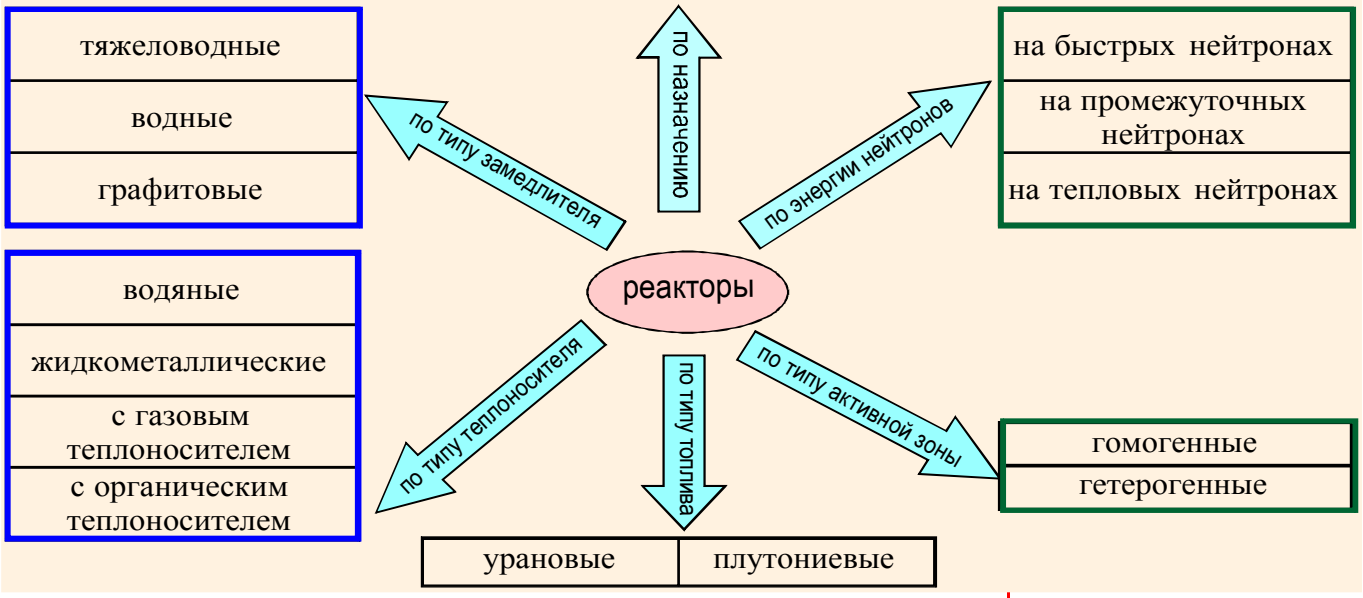
Система защиты

В качестве материала *биологической защиты* используют жаропрочный бетон

Радиационно-тепловая защита корпуса может быть выполнена из чугуна или стали

Типы ядерных реакторов

Энергетические	Размножители	Экспериментальные	Исследовательские
для получения электроэнергии, теплофикации, работы силовых установок	*для производства ядерного топлива*	*для изучения физических процессов с целью проектирования и эксплуатации реакторов*	*для исследований в ядерной физике, физике твердого тела, радиационной химии, биологии и т.д.*



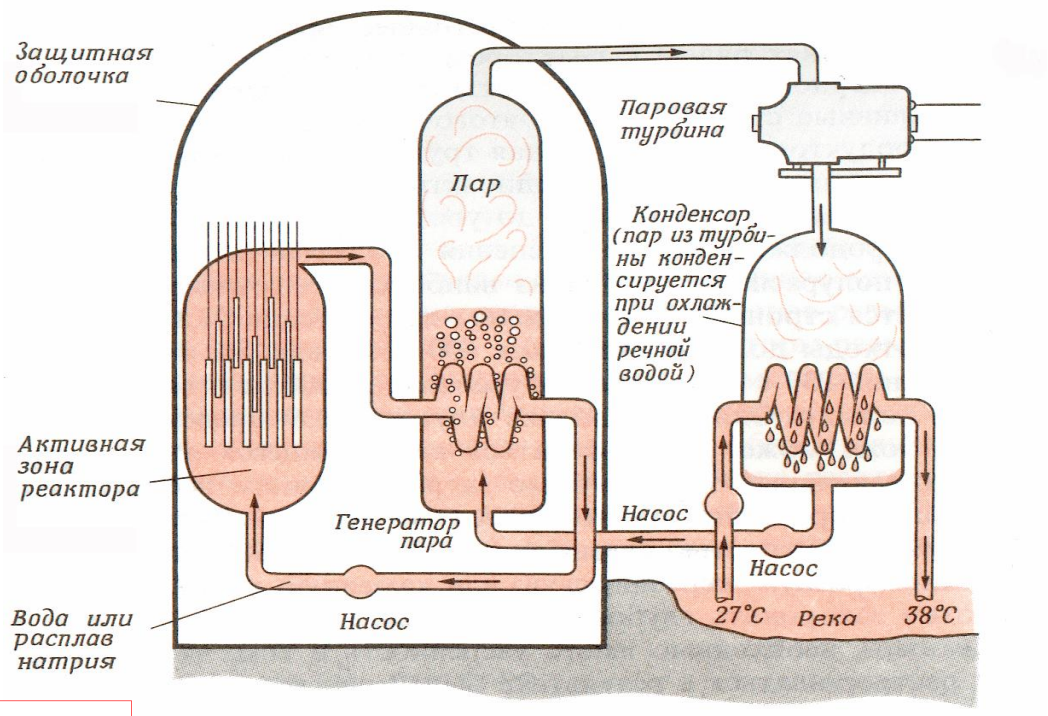
6.3. *Атомные электростанции*

При современном уровне потребления энергии невосполняемые запасы органического топлива (угля, нефти, природного газа, торфа, сланцев) интенсивно сокращаются. Энергетические установки, потребляющие возобновляемые ресурсы — энергию солнца, ветра, воды (гидроэнергию), тепловую энергию земных недр (геотермальную) и другие виды энергии, пока не могут решить энергетическую проблему в глобальном

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

масштабе. Если человечество не освоит альтернативные источники энергии, его ожидает энергетический голод. Одной из современных отраслей энергетики является ядерная энергетика, основанная на использовании энергии ядерных превращений для получения тепла и электроэнергии на атомных электростанциях (АЭС).

Принципиальная схема атомной электростанции



Первая в мире атомная электростанция, созданная в г. Обнинске Калужской области в 1954 году, стала символом новой эры в истории человечества. Ее мощность была всего 5 МВт

1 МВт = 1•10 6 Вт

1 ГВт = 1•10⁹ Вт

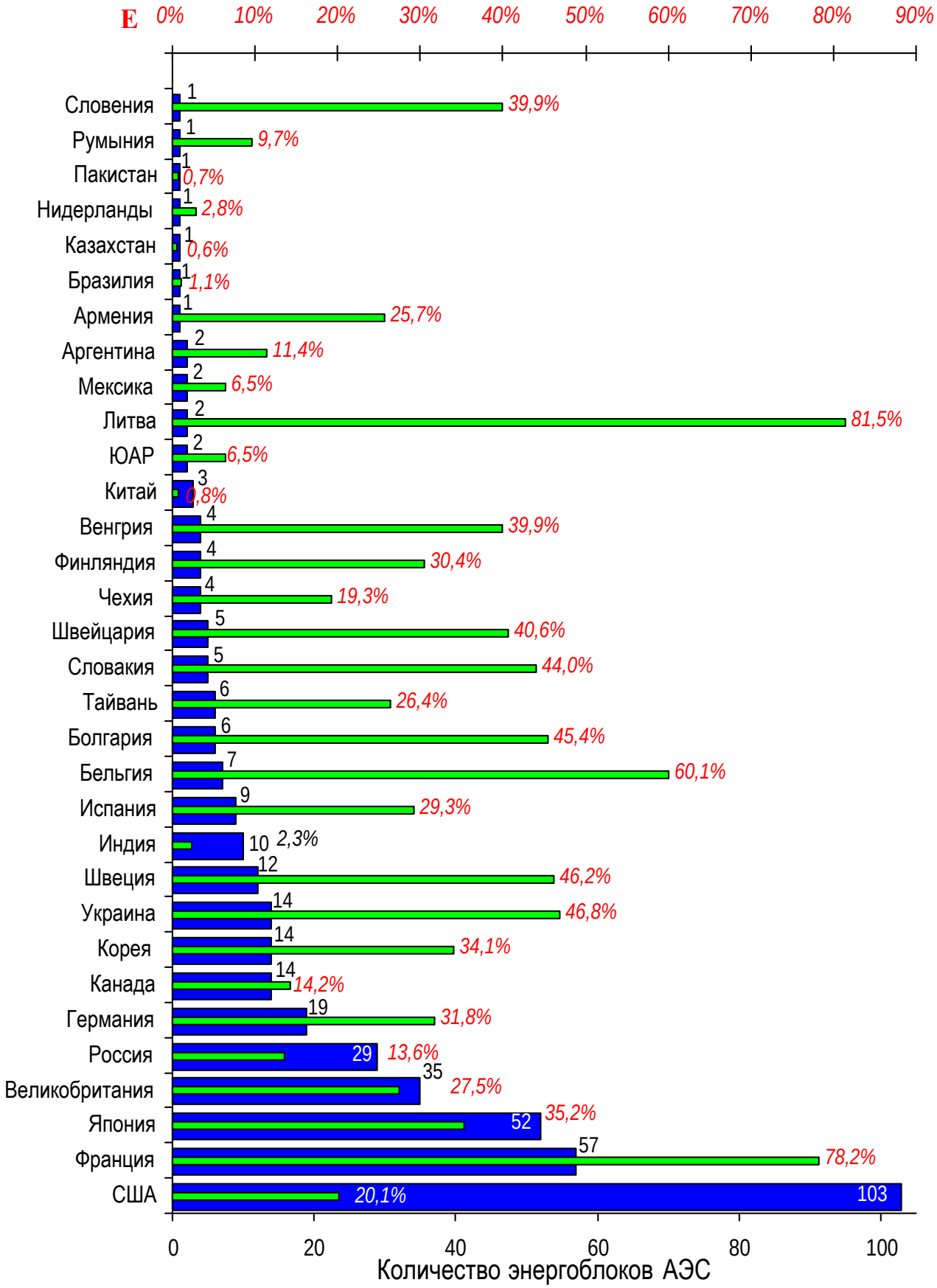
Работа АЭС во многом аналогична работе тепловой электростанции, только здесь вместо тепловой энергии, получаемой путем сжигания органического топлива, используют энергию, выделяющуюся при осуществлении *управляемой цепной реакции деления* ядер атомов тяжелых элементов. Энергия, выделяющаяся в процессе деления ядерного «горючего», преобразуется в реакторе в тепловую энергию, которая идет на нагревание воды и ее превращение в пар. Водяной пар вращает турбину, связанную с генератором, вырабатывающим электрическую энергию.

Мощность современных атомных электростанций достигает нескольких гиговатт (ГВт). В таких странах, как Бельгия, Франция и Литва, значительная часть электроэнергии (60 – 82 % от общего производства) вырабатывается на атомных электростанциях.

Об уровне развития мировой ядерной энергетики в конце XX века можно судить по данным, представленным на следующей диаграме.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Относительное количество электроэнергии , вырабатываемой АЭС (Е, %), и количество энергоблоков АЭС в разных странах



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

На территории Республики Беларусь нет атомных электростанций. Однако вблизи ее границ располагается четыре АЭС: Игналинская в Литве, которую предполагается вывести из эксплуатации в ближайшее время, Чернобыльская (выведена из эксплуатации в 2000 году) и Ровенская в Украине, Смоленская в России.

После Чернобыльской катастрофы до 2006 года в Республике Беларусь действует мораторий на строительство АЭС. Однако уже сейчас, анализируя перспективы использования различных источников энергии, рассматривают возможность строительства АЭС и в нашей стране.

Типы серийных ядерных реакторов для АЭС

Наиболее простым в техническом отношении является *уран-графитовый реактор с водяным охлаждением*. Реакторы этого типа использовали на первой в России АЭС в г. Обнинске, а позднее на Белоярской и Выборгской АЭС. На их основе был сконструирован серийный реактор типа *РБМК (реактор большой мощности канальный)*.

Реактор типа РБМК

Активная зона реактора РБМК представляет собой большой графитовый цилиндр с отверстиями — каналами, среди которых выделяют:

- технологические каналы (ТК),
- каналы системы управления и защиты (СУЗ).

Реакторы типа *РБМК* были установлены на *Ленинградской, Курской, Смоленской, Игналинской* и *Чернобыльской АЭС*

В каждом ТК установлены ТВЭЛы — циркониево-ниобиевые стержни, заполненные урановым топливом (UO_2), слабо обогащенным изотопом ^{235}U.

В каналах СУЗ размещают поглотитель и замедлитель нейтронов. В качестве поглотителя нейтронов используют бор (***B***), в качестве замедлителя — графит (***C***).

Одноконтурная система охлаждения

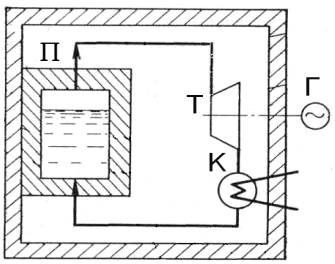


Схема одноконтурной АЭС
П — пар
Т — турбина
Г — генератор
К — конденсатор

Рядом с ТВЭЛами в технологических каналах расположены трубы контура охлаждения, по которым циркулирует вода. Она является теплоносителем и служит для отвода тепла из активной зоны.

Система охлаждения РБМК является *одноконтурной*. Вода внутри реактора нагревается до температуры, близкой к температуре кипения, и превращается в пар непосредственно в активной зоне реактора. Образовавшийся пар поступает к турбине, на валу которой размещается электрогенератор, и приводит ее в движение. Вращение турбины запускает генератор, вырабатывающий электрический ток.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Отработанный пар конденсируется и вновь подается в реактор.

В странах СНГ, для получения электрической энергии, наряду с реакторами типа РБМК, мощностью до 1 500 МВт (РБМК-1 000, РБМК-1 500), используют и различные модификации водо-водяного энергетического реактора, в основном, мощностью 440 (ВВЭР-440) и 1 000 МВт (ВВЭР-1 000).

Реакторы ВВЭР

Реакторы *ВВЭР* установлены на *Ново-Воронежской, Ровенской, Кольской, Билибинской АЭС*

В активной зоне реактора типа ВВЭР размещают топливные сборки ТВЭЛов (циркониевые стержни, заполненные таблетками из UO_2). В качестве замедлителя нейтронов и теплоносителя в реакторе ВВЭР используют воду (именно поэтому его и называют водо-водяным).

Система охлаждения реактора является *двухконтурной*. Первый контур проходит через активную зону. Вода, циркулирующая в этом контуре, находится под высоким давлением, поэтому при прохождении через активную зону она нагревается, но в пар не превращается. Нагретая вода поступает в парогенератор, где отдает тепло воде второго контура, превращая ее в пар, и вновь направляется в активную зону.

Двухконтурная система охлаждения

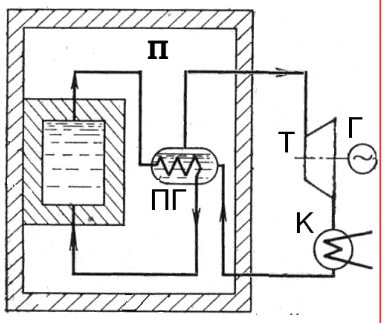


Схема двухконтурной АЭС

П — пар
Т — турбина
Г — генератор
К — конденсатор
ПГ — парогенератор

Пар, образовавшийся в парогенераторе, подается на турбину, вращение которой запускает электрический генератор. Отработанный пар второго контура конденсируется, и жидкая вода возвращается в парогенератор.

В двухконтурной системе содержимое первого и второго контуров изолировано друг от друга, поэтому радиоактивные вещества не попадают во второй контур и не вызывают радиоактивного загрязнения паротурбинной зоны АЭС.

Достоинства и недостатки атомных электростанций

Современные АЭС проектируются таким образом, чтобы

- не допускать опасных и вредных выбросов в окружающую среду;
- обеспечивать радиационную безопасность персонала и населения.

При нормальной работе АЭС значительно меньше загрязняют окружающую среду по сравнению с тепловыми электростанциями.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

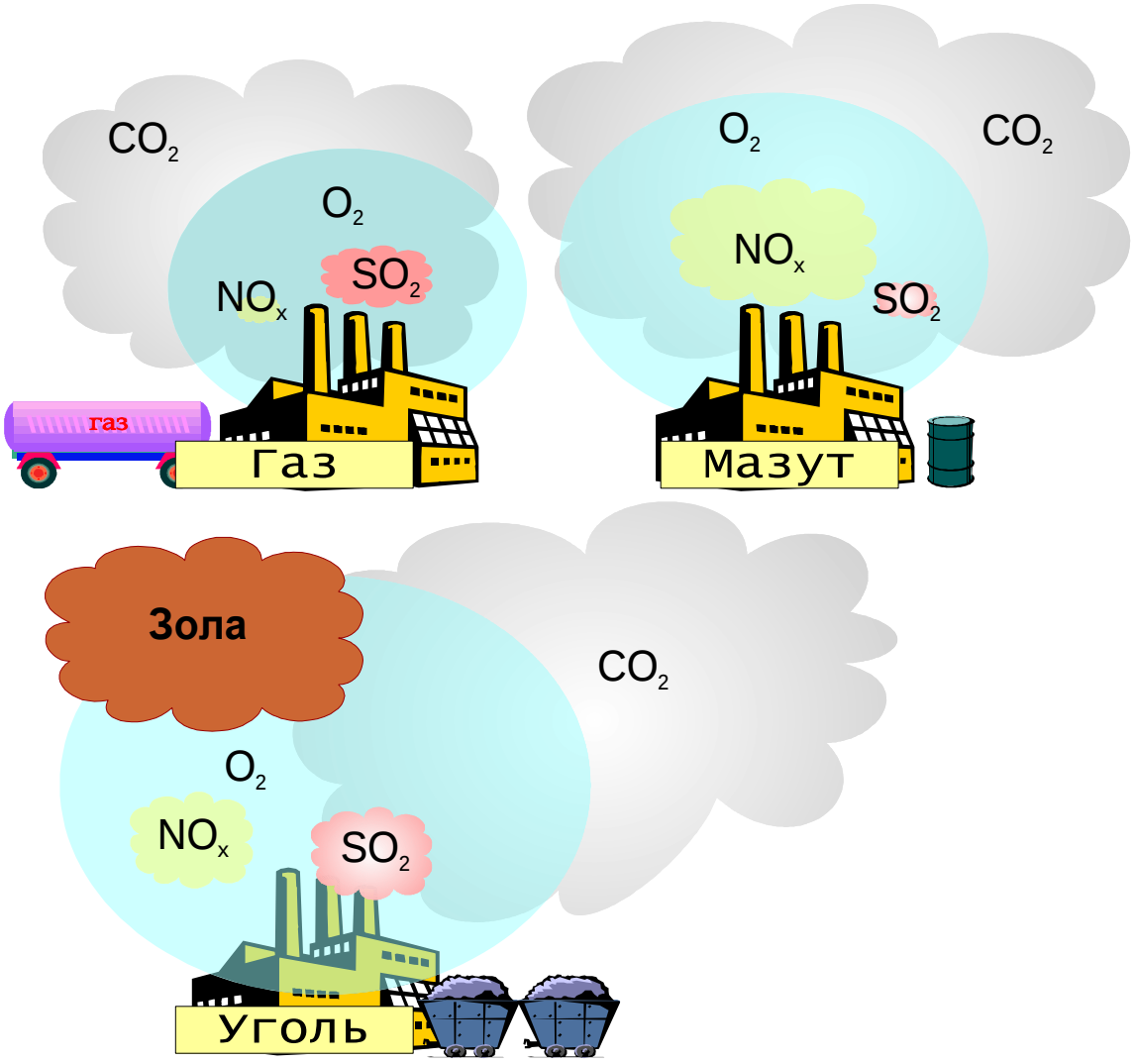
Основные недостатки традиционных тепловых электростанций:

- значительный расход кислорода для сжигания топлива;
- выброс в атмосферу большого количества веществ, способных причинить ущерб, как человеку, так и среде его обитания;
- кислотные дожди, возникающие в результате выбросов в атмосферу оксидов азота и серы.

Выбросы вредных веществ в окружающую среду при нормальной работе атомной электростанции примерно в 100 раз меньше, чем при работе обычной тепловой электростанции.

Так, современная тепловая электростанция мощностью 1 ГВт в течение года потребляет около 3 млн. тонн угля и выбрасывает в атмосферу около 165 тыс. тонн различных отходов. В каменном угле содержатся естественные радиоактивные нуклиды (^{210}Po, ^{226}Ra, ^{40}K и др.), которые концентрируются в золе и шлаках.

Выбросы газообразных продуктов и потребление кислорода при работе тепловых электростанций



Выбросы: углекислого газа CO_2, оксидов азота NO_x и оксида серы SO_2 и потребление кислорода O_2 тепловыми электростанциями.

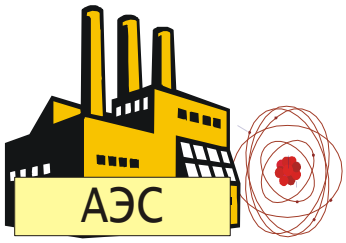
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

По сравнению с тепловыми электростанциями, использующими разное органическое топливо (уголь, мазут, природный газ), при работе АЭС не потребляется атмосферный кислород (O_2), не образуются оксиды углерода, азота и серы (CO_2, NO_x, SO_2), не остается зола.

Достоинством АЭС является и сравнительно небольшой объем необходимого ядерного горючего. Так, АЭС мощностью 1 ГВт потребляет за год *100 тонн ядерного топлива*, а тепловая электростанция такой же мощности — *~ 3 млн. тонн угля*.

Однако, наряду с достоинствами, ядерной энергетике свойственны и недостатки. При использовании ядерной энергии возникают проблемы, связанные с

- тепловым загрязнением окружающей среды;
- переработкой высокоактивных отходов и их длительным хранением и/или захоронением.



В настоящее время особое внимание уделяется:

- разработке способов эффективного использования сбрасываемого тепла, например, путем создания агробиологических и рыбоводческих комплексов для производства сельскохозяйственной и рыбной продукции;
- усовершенствованию методов переработки радиоактивных отходов и их изоляции в течение длительного времени, вплоть до полного распада радиоактивных нуклидов.

Тем не менее, ядерная энергетика, подобно другим видам промышленного производства, остается потенциально опасной для человека и окружающей среды. На существующих предприятиях ядерной энергетики по тем или иным причинам неоднократно возникали аварийные ситуации в том числе и с выбросом радиоактивных веществ в окружающую среду.

Предотвращение загрязнения окружающей среды радиоактивными отходами является одной из важнейших проблем ядерной энергетики.

Для безаварийной работы АЭС требуется обеспечить:

- надежность ядерных реакторов и систем их защиты;
- подготовку квалифицированных специалистов;
- соблюдение обслуживающим персоналом правил техники безопасности.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Ошибки и просчеты в работе персонала АЭС, нарушениями правил безопасной работы недопустимы, так как могут привести к разгерметизации активной зоны реактора, выбросу радиоактивных веществ в окружающую среду и облучению людей.

Перспективы развития ядерной энергетики

Человечество не может себе позволить отказаться от развития ядерной энергетики. Такой вывод сделан на основе анализа общей энергетической ситуации, сложившейся в современном мире. Потребности человечества в электроэнергии неуклонно возрастают.

Оценки международных экспертов показывают: *в настоящее время в развитых странах прирост внутреннего валового продукта (ВВП) непосредственно зависит от увеличения потребления электроэнергии.* Подобная тенденция, скорее всего, сохранится и в будущем.

В последние десятилетия для удовлетворения энергетических потребностей ежегодно в мире сжигают десятки миллиардов тонн органического топлива. Не менее половины из них приходится на долю нефти и газа, которые являются ценнейшим сырьем для производства новых материалов, удобрений, лекарственных препаратов и другой необходимой людям продукции.

Поскольку наиболее доступные и дешевые источники этих природных органических материалов, в основном, исчерпаны, человечеству приходится осваивать все более труднодоступные месторождения. Приходится затрачивать все больше усилий для добычи и доставки нефти и газа в промышленно развитые регионы. Однако запасы даже этих месторождений, по мнению многих специалистов, ограничены.

Ядерное «горючее» позволяет сохранять нефть и природный газ в качестве ценного сырья для химической промышленности.

Из других видов традиционных органических энергоносителей можно рассчитывать лишь на уголь, однако и его запасов хватит не более чем на несколько сотен лет.

В настоящее время в ряде стран существенный вклад в получение электрической энергии вносит *гидроэнергетика*. Однако гидроэнергетические ресурсы также ограничены и в перспективе могут быть использованы для решения энергетических проблем лишь в отдельных регионах. Если же учитывать возникающие при этом экологические проблемы, вряд ли стоит в значительной мере рассчитывать на гидроэнергетические ресурсы в будущем.

Большие надежды нередко возлагают на *нетрадиционные* способы получения энергии, основанные на испльзовании возобновляемых природных энергетических ресурсов — *энергии Солнца, ветра, морских и океан-*

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

ских приливов, внутреннего тепла Земли. Не отказываясь от использования этих способов получения энергии, следует отдавать себе полный отчет в том, что с их помощью можно решать лишь локальные энергетические проблемы.

Критически оценивая возможности и опасности атомной энергетики, приходится признать, что было бы весьма неразумно отказываться от использования ядерной энергии.

Освоение энергии, выделяющейся в процессе *ядерного деления* — это лишь один из способов обеспечения человечества необходимой энергией. Ученые продолжают поиски новых, более совершенных и безопасных методов получения ядерной энергии.

Перспективы развития атомной энергетики большинство специалистов связывает с освоением ядерной энергии, выделяющейся при синтезе атомных ядер, — в реакции термоядерного синтеза.

Человечество уже вплотную приблизилось к осуществлению *управляемой реакции термоядерного синтеза.*

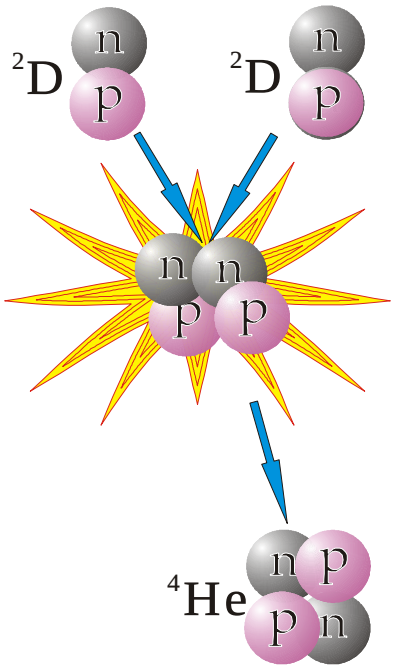
Новый способ основан на использовании энергии, выделяющейся при слиянии ядер атомов легких элементов, расположенных в самом начале Периодической системы, в ядра атомов более тяжелых элементов. Примером реакции такого типа является, так называемый, *дейтерий – тритиевый топливный цикл*, т. е. синтез гелия (^{4}***He***) из изотопов водорода дейтерия (^2D) и трития (^{3}***T***) при температуре порядка 10^8 К.

Еще более перспективен *дейтерий – дейтериевый цикл*, основанный на реакции синтеза гелия (^{4}***He***) из ядер дейтерия (^2D).

Чтобы начать процесс термоядерного синтеза, необходимо огромное количество энергии, однако, энергия, выделяющаяся в результате осуществления подобной ядерной реакции, значительно превосходит первоначальные энергетические затраты.

Например, при ядерном синтезе 1 кг гелия (^{4}***He***) из дейтерия (^2D) выделяется $35{,}6 \cdot 10^{26}$ МэВ энергии. Чтобы получить такую энергию, нужно сжечь около 13 600 т бензина. Для сравнения, в реакции ядерного деления 1 кг ^{235}U, выделяется примерно в 7 раз меньше энергии, чем при синтезе 1 кг гелия из дейтерия.

Синтез ядер гелия (^{4}*He*) из ядер дейтерия (^2D)



$^2D + {}^2D \rightarrow {}^4He + \mathbf{E}$

Слияние двух ядер дейтерия (^2D) в ядро гелия (^{4}***He***) возможно лишь при температуре порядка 200 млн. градусов, когда любое вещество находится в виде *плазмы.*

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Реакции термоядерного синтеза гелия непрерывно происходят на Солнце и других подобных ему звездах, являясь основным источником их энергии.

Плазма – это особое физическое состояние вещества, существующее при температуре ~ 10^6 – 10^9 К. В этом состоянии атомы вещества полностью или частично утрачивают электроны. Ядра, ионы и электроны движутся с огромной скоростью.

В состоянии плазмы находится большая часть вещества во Вселенной (звезды, галактические туманности, межзвездная среда).

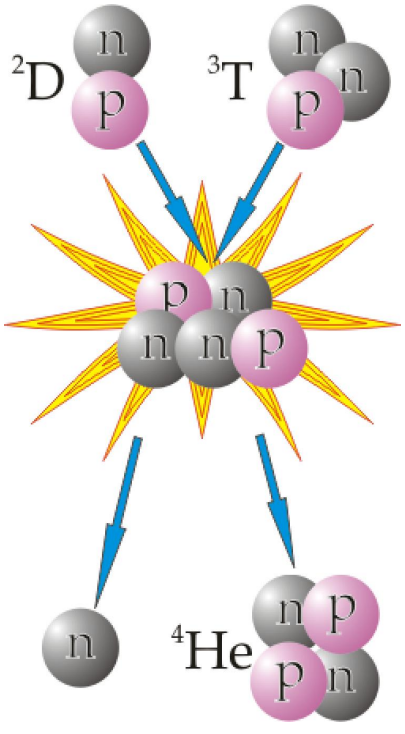
Плазмой можно управлять с помощью электрических и магнитных полей.

Освоение энергии термоядерного синтеза позволит значительно повысить энерговооруженность человечества. Решить проблему *управляемого* термоядерного синтеза — это значит научиться управлять процессами, происходящими в высокотемпературной *плазме* на основе элементов, расположенных в самом начале Периодической системы Д.И. Менделеева (в первую очередь, водорода, а в перспективе и гелия).

Термоядерная энергетика более безопасна по сравнению с ядерной энергетикой, основанной на делении тяжелых ядер. В термоядерном реакторе, в принципе, невозможно неконтролируемое ускорение процессов, приводящих к катастрофическим разрушениям. Намного ниже и радиационная опасность.

Напомним, что в реакторе, основанном на делении тяжелых ядер, кроме самого ядерного топлива, присутствует большое количество разнообразных радиоактивных продуктов, накапливающихся в процессе ядерного деления. В конструкционных материалах реактора возникает также и наведенная радиоактивность, являющаяся результатом воздействия потока нейтронов, образующихся в процессе деления.

Синтез ядер гелия (^{4}*He*) из ядер дейтерия и трития



$^2D + {}^3T \rightarrow {}^4He + {}^1n + E$

При осуществлении *дейтерий – тритиевого цикла* основная опасность связана лишь с применением большого количества радиоактивного трития (^{3}***T***) и с возникновением наведенной радиоактивности в результате взаимодействия образующегося в процессе реакции потока нейтронов с конструкционными материалами реактора.

В случае *дейтерий– дейтериевого цикла* радиационная опасность еще меньше. Она обусловлена образованием небольшого количества радиоактивного трития и нейтронов, которые взаимодействуют со стенками реактора.

Если же удастся реализовать процесс термоядерного синтеза с участием ядер ^{3}***He***, можно практически полностью избавиться от радиационной опасности, поскольку в этом случае и реагенты, и продукты реакции нерадиоактивны.

Новые методы получения ядерной энергии находятся на разных стадиях разработки. Одни уже достигли уровня промышленного испытания, другие находятся на стадии проектирования или создания демонстрационных установок, третьи — на стадии

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

научного изучения физических явлений, перспективных с точки зрения получения и практического использования ядерной энергии.

Такие исследования требуют огромных затрат, поэтому они, как правило, проводятся в рамках международных проектов. Это позволяет объединять экономические и научные потенциалы стран-участниц и добиваться более ощутимых результатов.

В проекте по созданию международного экспериментального термоядерного реактора участвуют *США, Россия, Япония, Китай, Южная Корея, Европейский Союз, Казахстан и Канада*

В 2001 году объединенными усилиями ученых разных стран была завершена разработка технического проекта первого в мире международного экспериментального термоядерного реактора. Планируется построить такой реактор на территории Франции (Кадараш) в течение 9 лет. На его основе будут отрабатываться технологии для создания коммерческой термоядерной электростанции.

Одним из перспективных направлений развития энергетики является также разработка способов использования ядерной энергии для получения водорода — идеального топлива с экологической точки зрения. Реализация этой идеи предусматривает замену органического топлива водородом во многих сферах человеческой деятельности:

- в металлургии — для производства металлов из руды путем их восстановления;
- в химии — для синтеза аммиака и метана;
- на транспорте — в качестве авиационного и автомобильного топлива.

Таким образом, развитие атомной энергетики — это лишь одна из возможностей обеспечения мировых потребностей в энергии. В перспективе развитие энергетики предполагает освоение различных источников энергии. Использование новых и сравнительно безопасных методов получения ядерной энергии поможет успешно решить проблему обеспечения человечества необходимой энергией.

6.4. *Ядерный топливный цикл и проблема радиоактивных отходов*

Ядерная энергетика — это не только атомные электростанции, составляющие лишь верхушку айсберга обширной отрасли энергетического производства. Его подводная часть — это добыча и обогащение урановых руд, получение ядерного топлива, его транспортировка и использование на АЭС, а также регенерация отработанного ядерного топлива на специальных заводах, хранение и захоронение радиоактивных отходов.

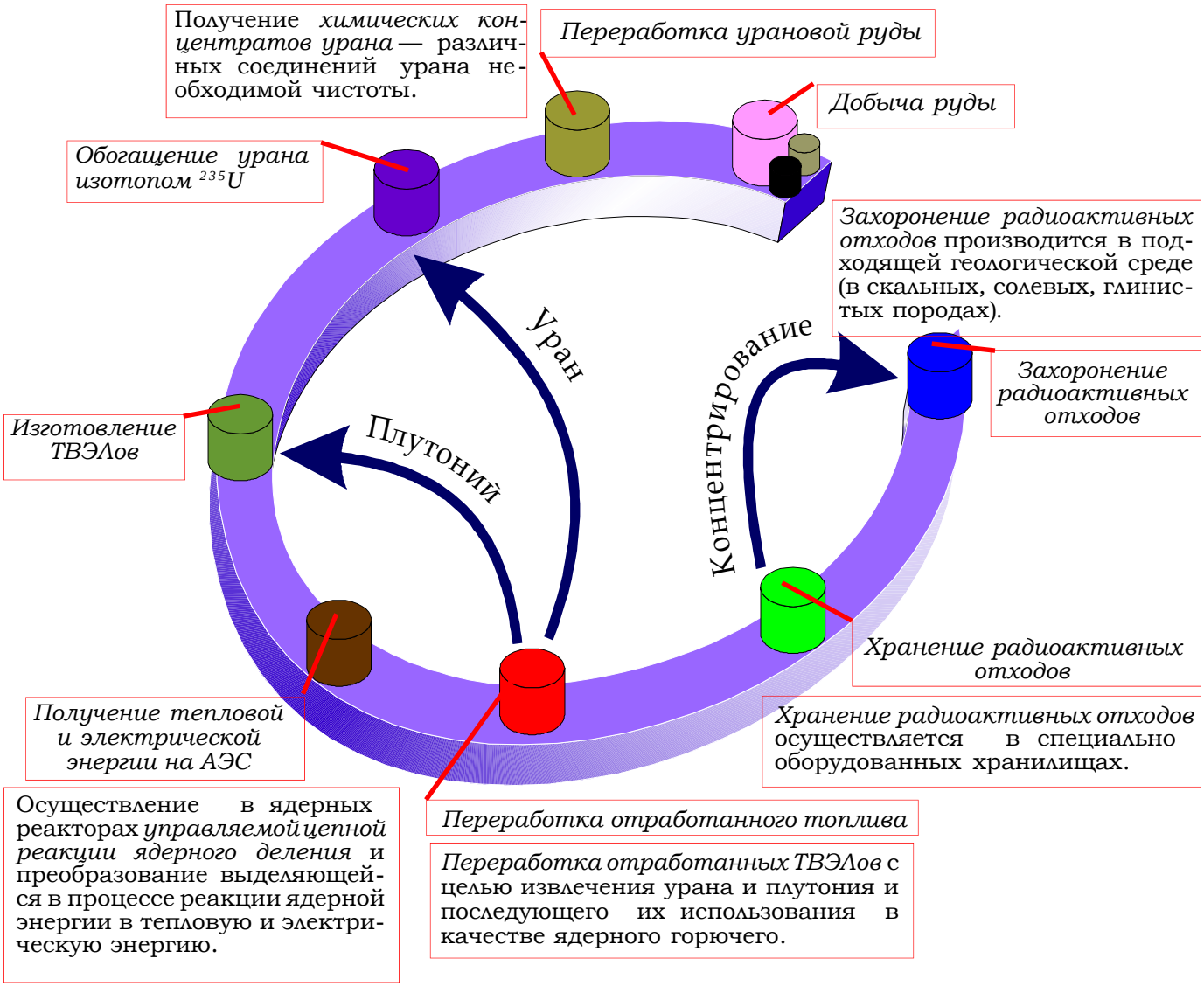
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Радиоактивные отходы — побочные продукты, образующиеся на всех стадиях получения, использования и регенерации ядерного топлива, с содержанием радионуклидов выше установленных норм.

Весь процесс получения тепловой и электрической энергии за счет деления тяжелых атомных ядер — от разработки урановой руды до утилизации радиоактивных отходов — называют *ядерным топливным циклом (ЯТЦ)*.

Типичный пример ядерного топливного цикла с основными видами предприятий, которые в него входят, схематически представлен ниже.

Схема ядерного топливного цикла на основе ^{235}U



По оценке МАГАТЭ обширные территории земного шара (не менее 12 млн. км^2), которые расположены, главным образом, в развивающихся странах, перспективны с точки зрения обнаружения в них урана, и, возможно, в будущем они могут быть использованы для его добычи.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Урановая руда содержит, как правило, от 0,1 до 3,0 % собственно урана. Согласно расчетам МАГАТЭ, производство урана в 2000 году составляло 35 – 55 тысяч тонн.

Добыча урановой руды может осуществляться как *шахтным*, так и *карьерным* способом. В последние годы начали применяться методы подземной переработки руды с концентрированием урановой породы непосредственно в местах ее добычи.

Переработка урановой руды включает:

- отделение пустой породы, не содержащей урана;
- извлечение урана из руды и получение уранового концентрата — определенного химического соединения урана, состав которого зависит от способа извлечения урана;
- очистка уранового концентрата от примесей.

Выбор способа извлечения урана и очистки полученного соединения определяется составом руды. В процессе очистки отделяются сопутствующие элементы и накопившиеся продукты распада природных изотопов урана.

В подавляющем большинстве энергетических ядерных реакторов используется уран, в котором содержание делящегося изотопа ^{235}U гораздо выше (2 – 4 %), чем в природном уране (0,7 %), состоящем преимущественно из ^{238}U.

На обогатительных заводах по изотопному разделению урана концентрация изотопа ^{235}U увеличивается до необходимой величины. Ранее использовали метод, основанный на разной скорости диффузии молекул газообразного соединения урана — гексафторида урана UF_6, содержащего атомы тяжелого изотопа ^{238}U и более легкого изотопа ^{235}U, через различные материалы. При однократном пропускании гексафторида урана через газодиффузионную ячейку газовая смесь обогащается более легкими молекулами, и содержание ^{235}U увеличивается в 1,0043 раза. Чтобы повысить степень обогащения, газовую смесь последовательно пропускали через множество подобных ячеек и доводили степень обогащения урана изотопом ^{235}U до нужной величины.

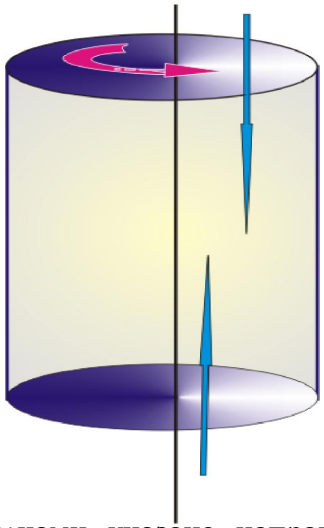
Чтобы получить 1 кг урана, содержащего 3,0 % по массе ^{235}U, необходимо переработать 6,5 кг природного урана

В настоящее время разделение изотопов осуществляют методом *центрифугирования газовой смеси, состоящей* из тяжелых ($^{238}UF_6$) и более легких ($^{235}UF_6$) молекул, *во встречных газовых потоках*.

Поток газа, состоящий из смеси молекул с различными изотопами урана, пускается вниз по периферии

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Схема разделения изотопов урана методом центрифугирования газовой смеси



Стрелками указано направление движения газовых потоков

вращающейся системы, а восходящий поток поднимается вверх вблизи оси ее вращения. В результате центрифугирования газовой смеси восходящий поток обогащается легкими молекулами, а нисходящий — тяжелыми. Коэффициент разделения изотопов зависит от относительной массы изотопов (отношение разности масс изотопов к массе одного из них) и не зависит от молекулярной массы газов.

Обогащенный уран поступает на завод по изготовлению тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов). ТВЭЛ является важнейшей частью ядерного реактора. С его помощью в ядерный реактор вводится ядерное топливо и отводится тепло от делящегося материала к теплоносителю. Чаще всего, уран поступает на завод в виде таблеток, спрессованных из порошка UO_2. При изготовлении ТВЭЛов эти таблетки помещают в специальную металлическую оболочку цилиндрической формы. В качестве оболочки используются материалы, которые слабо поглощают нейтроны, сохраняют механическую прочность и геометрические размеры изделия при воздействии высоких температур, нейтронного и мощного *гамма*-излучения. Полученные тепловыделяющие элементы могут быть объединены в пакеты, кассеты и т. д., содержащие десятки ТВЭЛов.

Заключительная часть ядерного топливного цикла включает:

- хранение отработанного топлива;
- транспортировку отработанного топлива от АЭС на радиохимические заводы для его переработки;
- переработку отработанного топлива с целью регенерации (восстановления);
- хранение и захоронение радиоактивных отходов.

Использование в качестве ядерного горючего 1 кг плутония экономит примерно 140 кг природного урана.

Существующие технологии регенерации позволяют восстановить до 90 % урана и плутония, содержащегося в отработанных ТВЭЛах. Ежегодно из таких ТВЭЛов извлекают около 20 т плутония. Общее накопление плутония к 2000 году превысило 1 500 т.

В процессе добычи и переработки урановой руды, получения ядерного топлива, производства электроэнергии на атомных электростанциях и регенерации

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

отработанного топлива образуются *радиоактивные отходы* и *отходы, которые не считают радиоактивными.*

Побочные вещества, образующиеся в процессе любого вида деятельности, которые обладают низкой активностью и не требуют обработки, отличной от обработки обычных нерадиоактивных отходов, не считают радиоактивными.

Влияние предприятий ядерного топливного цикла на окружающую среду

Функционирование ядерного топливного цикла (ЯТЦ) может оказывать влияние на окружающую среду, приводя к ее химическому, тепловому, радиоактивному загрязнению.

Химическое загрязнение окружающей среды возможно при переработке руды и отработанного ядерного топлива, поскольку на этих этапах используется большое количество токсичных химических реагентов.

Тепловое загрязнение биосферы происходит вследствие неполного преобразования на атомных электростанциях тепловой энергии в электрическую. В результате, до 70 % тепловой энергии, выделившейся в реакторе, поступает в окружающую среду.

Радиоактивное загрязнение биосферы радионуклидами *природного происхождения* может происходить при добыче и переработке урановой руды. Источниками радиоактивного загрязнения являются урановые рудники и заводы по переработке урановой руды. Образующиеся на производстве радиоактивные отходы, содержащие полоний (***Po***), радий (*Ra*) и другие радионуклиды, могут попасть в окружающую среду в результате ветровой и водной эрозии, при этом в атмосферу также выделяется газообразный радон (*Rn*).

При работе реактора могут быть незначительные утечки *газообразных продуктов деления*, таких как

- криптон,
- ксенон,
- йод,
- активированный нейтронами аргон, входящий в состав воздуха.

Перевозка урановой руды, уранового концентрата, гексафторида урана и оксида урана не представляет особой опасности для окружающей среды. Урановые руды характеризуются низким содержанием урана, поэтому их перевозят в обычных самосвалах и вагонах. Обогащенные руды и урановые концентраты, содержащие уран в более высоких концентрациях, перевозят в специальных контейнерах.

Для защиты персонала и окружающей среды ядерное топливо транспортируют на АЭС в виде ТВЭЛов в специальных контейнерах.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

При нормальной работе ядерного реактора *радиоактивные вещества*

- *защищены* прочными оболочками ТВЭЛов
- *не выделяются* в окружающую среду в опасных количествах.

В процессе работы атомных электростанций в ядерных реакторах образуется большое количество *радиоактивных веществ искусственного происхождения*. При нормальной работе АЭС выбросы радионуклидов в окружающую среду незначительны, однако в аварийных ситуациях радиоактивные вещества, содержащиеся в реакторе, могут представлять большую опасность для окружающей среды.

Высокой радиационной опасностью характеризуются все операции с отработанным ядерным топливом.

Если в процессе регенерации ядерного топлива радиоактивные вещества попадают в морскую воду, максимальные дозы облучения (до *0,14 мЗв в год*) получают люди, потребляющие в пищу местные морепродукты, накапливающие актиниды.

Отработанное топливо в течении 3 – 4 лет выдерживают в специальных бассейнах-хранилищах на АЭС для снижения радиоактивности в результате распада короткоживущих радионуклидов. Затем отработанное топливо поставляют на перерабатывающий завод в специальных защитных контейнерах из нержавеющей стали.

При эксплуатации ядерного реактора возникают дополнительные проблемы, связанные с его ограниченным сроком службы (~ 20 – 40 лет). Подобные ограничения являются следствием ухудшения со временем физических свойств конструкционных материалов, из которых изготовлен реактор, в результате постоянного воздействия ионизирующего излучения.

В процессе выведения реактора из эксплуатации ядерное топливо извлекают из активной зоны, а сам реактор консервируют (оставляют в нерабочем состоянии) или демонтируют.

При функционировании ЯТЦ на этапах, связанных с добычей, обогащением, переработкой урановой руды, получением ядерного топлива, работой ядерного реактора и процессом регенерации ядерного топлива, радионуклиды могут попадать в окружающую среду в *газообразном*, *жидком* и *твердом* состоянии.

^{90}Sr и другие радионуклиды, попадающие в атмосферу при работе АЭС, приводят к получению местным населением индивидуальных доз облучения менее *0,05 мЗв в год*.

В основном, эти дозы облучения обусловлены потреблением в пищу местного молока и овощей.

По оценкам Научного комитета по действию атомной радиации (НКДАР), местная и региональная коллективные дозы облучения людей при производстве на АЭС 1 миллиарда Ватт (1 ГВт) электроэнергии составляет примерно 0,9 человеко-зиверт (чел.-Зв).

В настоящее время АЭС ежегодно производят около 250 ГВт, что составляет около 20 % мирового производства электрической энергии.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Общая коллективная доза, получаемая населением в результате производства электроэнергии на всех действующих в мире АЭС, достигает 200 чел.-Зв. При этом индивидуальные дозы облучения людей незначительны и составляют менее 0,001 мЗв в год. Однако отдельные индивидуумы, в зависимости от того, где они живут и чем питаются, могут получать и более высокие дозы облучения (до 0,3 мЗв в год).

Радиационная безопасность при работе предприятий ЯТЦ обеспечивается путем изолирования радиоактивных веществ от внешней среды на всех стадиях ядерного топливного цикла, включая захоронение радиоактивных отходов.

Проблема радиоактивных отходов

Классификация радиоактивных отходов

В зависимости от удельной активности радиоактивные отходы подразделяются на 3 категории:

- *низкой активности* — менее $3{,}7 \cdot 10^5$ Бк/кг (л),
- *средней активности* — $3{,}7 \cdot 10^5$ - $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Бк/кг (л),
- *высокой активности* — более $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Бк/кг (л).

Отходы *низкой* и *средней активности* образуются при добыче и переработке урановой руды, а отходы *высокой активности* — при работе АЭС и регенерации отработанного топлива на радиохимических заводах.

В зависимости от агрегатного состояния отходы подразделяют на:

- *газообразные*,
- *жидкие*,
- *твердые*.



Обычно радиоактивные отходы переводят в форму, удобную для хранения и транспортировки.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Способы обращения с радиоактивными отходами в зависимости от их агрегатного состояния

Радиоактивные отходы	Способ обращения с отходами
Газообразные: инертные газы (ксенон, криптон, аргон), тритий, диоксид углерода и др.	*Газообразные радиоактивные вещества* улавливают при пропускании через специальные фильтры. Часть радиоактивных веществ, которая не улавливается фильтрами, рассеивается в атмосфере через вентиляционные трубы на высоте 100 м и более.
Жидкие: высокоминерализованные растворы, образующиеся в процессе переработки отработанного топлива, вода, применяемая в качестве теплоносителя, вода в бассейнах для хранения отработанных ТВЭЛов	*Жидкие радиоактивные отходы* концентрируют путем упаривания или осаждают содержащиеся в них радионуклиды в виде труднорастворимых соединений. Полученные радиоактивные продукты направляют на длительное хранение в специально оборудованные хранилища. Для захоронения отходы переводят в твердое состояние посредством цементирования, смешивания с химически инертными веществами (битумом, бетоном, полимерами), остекловывания (покрытия стеклообразной массой), помещения в пористые керамические материалы.
Твердые: отработавшее оборудование, использованные фильтры вентиляционных систем, загрязненные строительные материалы, загрязненная ветошь, спецодежда и др.	*Горючие материалы* сжигают, собирая золу и очищая дымовые газы. *Негорючие материалы* прессуют, при этом их объем уменьшается в 3 - 10 раз. Крупногабаритное оборудование разбирают, разрезают и прессуют. Твердые отходы преимущественно помещают в специальные подземные хранилища.

В прошлом, некоторые страны использовали моря и океаны для захоронения радиоактивных отходов. С течением времени защитные оболочки контейнеров разрушаются, и, в конечном итоге, радионуклиды попадают в гидросферу.

С 1967 года по 1972 год в Атлантический океан было сброшено около 30 тонн отходов. В районе сбросов наблюдается повышенное содержание радионуклидов в воде, в морской флоре и фауне.

В настоящее время *Лондонской Конвенцией* запрещено сбрасывать в воды морей и океанов радиоактивные отходы.

Существует два подхода к захоронению радиоактивных отходов:

- *локальный*,
- *региональный*.

Локальный подход предполагает захоронение радиоактивных отходов в местах их образования. Это удобно во многих отношениях, но приводит к увеличению размеров опасных зон.

Региональный подход предусматривает выбор наиболее подходящих мест для захоронения радиоактивных отходов и создание централизованных хранилищ. Подобный способ стоит дороже и требует обеспечения безопасности при транспортировке отходов к местам захоронения.

Размещение высокоактивных отходов в глубоких подземных хранилищах является основным способом захоронения отходов. При создании таких хранилищ используют как искусственно созданные

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

защитные барьеры (толстая прочная оболочка емкостей для отходов, изоляция хранилища от окружающей среды с помощью глинистых материалов), так и природные барьеры, уменьшающие возможность выхода радионуклидов в окружающую среду (глинистые, известняковые горизонты, залежи каменной соли, гранитные и другие скальные формации).

Поскольку радиоактивные вещества, подлежащие захоронению, находятся в наиболее устойчивом физико-химическом состоянии, это ограничивает их взаимодействие с окружающей средой и вынос радионуклидов за пределы мест захоронения отходов.

Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) контролирует деятельность предприятий атомной энергетики и обращение с радиоактивными отходами. Эта межправительственная организация оказывает содействие всем странам в развитии ядерной энергетики и помогает обеспечивать ее безопасность.

6.5. Авариина ядерныхустановкахи предприятиях ядерного топливного цикла

Термин «*авария*» произошел от арабского «авар», что означает «выход из строя, повреждение, ущерб»

АЭС является сложным техническим объектом, на котором одновременно функционирует множество систем различного назначения, обслуживаемых и управляемых людьми.

При любой производственной деятельности существует определенная вероятность возникновения тех или иных технических нарушений и сбоев в функционировании отдельных систем. На АЭС может сгореть трансформатор, выйти из строя турбина, лопнуть паропровод. Подобные случаи, если они не связаны с выбросом радиоактивных веществ в окружающую среду, не могут ухудшить радиоэкологическую ситуацию в районе расположения действующей АЭС и в регионе в целом.

На АЭС нет больших количеств горючих и взрывоопасных органических веществ, таких, как нефть, газ, мазут, каменный уголь. Требования к качеству оборудования и квалификации персонала повышены, поэтому «обычные» аварии на предприятиях ЯТЦ, как показывает практика, происходят значительно реже, чем на других производствах. Тем не менее, аварии при работе предприятий ЯТЦ все же имеют место и их разделяют по степени воздействия на здоровье людей и окружающую среду.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Международная шкала ядерных событий (МШЯС)

В 1989 – 1990 годах под руководством МАГАТЭ была разработана международная шкала ядерных событий (МШЯС) для классификации происшествий на АЭС и других предприятиях ЯТЦ по тяжести последствий . Эта шкала позволяет классифицировать аварийные ситуации по единым критериям — по радиационной опасности для людей и окружающей среды. Первоначально шкала применялась для классификации происшествий, имевших место на атомных электростанциях. В 1992 году подобная классификация была распространена на все ядерные объекты , связанные с гражданской ядерной промышленностью , и на все события, происходящие во время перевозки радиоактивных материалов.

Подобные шкалы разработаны для оценки последствий природных явлений:
воздействия ветра,— 12-балльная шкала,
землетрясений — 9-балльная шкала.
Для производств , не относящихся к ЯТЦ, подобные шкалы не разработаны.

Шкала МШЯС оценивает события на предприятиях ЯТЦ по трем критериям:

- изменение радиационной обстановки и облучение персонала *на территории предприятия*,
- изменение радиационной обстановки и облучение населения *за пределами территории предприятия*,
- *разрушение системы защиты* ядерного реактора или емкостей для хранения радиоактивных веществ.

С помощью первого критерия учитывают последствия событий *на территории АЭС* или *хранилища радиоактивных веществ*. При этом учитывают все последствия, начиная от радиоактивного загрязнения территории и/или дополнительного облучения *персонала*, до расплавления активной зоны ядерного реактора.

Второй критерий учитывает выброс радиоактивных продуктов *за пределы территории предприятия* и возможность облучения *населения* выше допустимого уровня (1/10 годового предела дозы).

Третий критерий учитывает происшествия на ядерной установке, ведущие к ухудшению *системы защиты* реактора или хранилища радиоактивных продуктов.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Международная шкала ядерных событий

Классификация	Критерии опасности
7. Авария крупная (катастрофа)	Разрушение активной зоны и системы защиты реактора. Крупномасштабное (глобальное) загрязнение окружающей среды, облучение персонала и населения выше допустимых уровней. Долговременные последствия для окружающей среды. Требуется широкомасштабное проведение мероприятий по защите населения, охватывающее обширные территории.
6. Авария серьезная	Разрушение системы защиты реактора или хранилища радиоактивных продуктов. Региональное загрязнение окружающей среды, облучение персонала и населения выше допустимых уровней. Долговременные последствия для окружающей среды. Требуется проведение мероприятий по защите населения в рамках пострадавшего региона.
5. Авария, сопровождаемая риском для территории, прилегающей к АЭС, а также для персонала и населения	Повреждение активной зоны и системы защиты ядерного реактора. Значительный выброс радиоактивных продуктов в окружающую среду на территории, прилегающей к АЭС, облучение персонала и населения выше допустимых уровней. Требуется проведение местных мероприятий по защите населения на территории, прилегающей к АЭС (эвакуация из пострадавшей местности).
4. Авария, не сопровождаемая значительным риском для населения и окружающей среды за пределами предприятия	Повреждение активной зоны и системы защиты ядерного реактора или хранилища радиоактивных продуктов. Выброс радиоактивных продуктов в окружающую среду на ограниченной территории за пределами АЭС или хранилища радиоактивных продуктов. Получение персоналом индивидуальных доз облучения более 1 Зв, а населением прилегающих территорий — порядка нескольких миллизиверт. Требуется проведение всех мероприятий по защите персонала и населения на ограниченной территории.
3. Инцидент серьезный	Частичное повреждение системы защиты ядерного реактора или хранилища радиоактивных продуктов. Выброс радиоактивных продуктов, приводящий к облучению населения выше установленных пределов доз. Индивидуальные дозы облучения персонала превышают 50 мЗв. Не требуется проведения мероприятий по защите населения и территории за пределами объекта. Необходимо проведение мероприятий по защите персонала и очистке территории объекта от радиоактивных продуктов.
2 Инцидент	Небольшой выброс радиоактивных продуктов, обуславливающий облучение персонала и населения ниже установленных пределов доз. Не требуется проведение мероприятий по защите персонала и населения. Необходимо усилить контроль за соблюдением требований радиационной безопасности.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

1. Аномалия	Отклонение от нормальной работы установки, выходящее за рамки разрешенного режима эксплуатации
0 Отклонение, событие ниже шкалы	Незначимо с точки зрения радиационной опасности
Событие, выходящее за рамки шкалы	Не связано с радиационной опасностью

Шкала МШЯС позволяет оценивать все события на предприятияхЯТЦ по восьмибальнойшкале — от 0 до 7. События, несущественныес точки зрения радиационной опасности, классифицируют как события *нулевого уровня*. Их называют *отклонениями*.

Остальная часть шкалы разделена на две части. Нижняя часть, охватывающая три уровня (1 – 3), соответствует инцидентам (происшествиям), а верхняя, охватывающая четыре уровня (4 – 7) — авариям.

Группа событий в нижней части шкалы представляет собой лишь потенциальную угрозу для населения и окружающей среды. Появление таких событий свидетельствует об ухудшении работы АЭС.

События уровней 4 – 7 представляют непосредственную опасность для населения и окружающей среды. К этой группе относятся аварии, которые приводят к превышению допустимых уровней облучения населения. До настоящего времени самый высокий балл по уровню радиационной опасности для населения и окружающей среды получила только Чернобыльская авария.

События, влияющие лишь на эксплуатационные возможности турбины или генератора, рассматривают как *выходящие за рамки шкалы*.

С 1944 года по настоящее время в мире произошло более 300 радиационных аварий и инцидентов на предприятиях ЯТЦ. Место и время основных событий указаны на карте-схеме и приложении к ней. Известны всего 4 крупномасштабные аварии.

Крупномасштабные аварии

1957 ***год***. Авария на Кыштымском заводе по переработке топлива в Челябинской области (Россия) привела к мощному выбросу радиоактивных веществ в окружающую среду. В целях ограничения серьезных воздействий на здоровье людей были приняты аварийные меры, включая эвакуацию населения. По шкале МШЯС это была *серьезная авария* уровня 6.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Карта-схема происшествий на предприятиях ЯТЦ (1951 – 1999 **годы**)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Приложение к карте-схеме происшествий на предприятиях ЯТЦ (1951 – 1999 годы)

1 — 1951 г. Авария исследовательского реактора. Детройт, США.
2 — 1957 г. Авария на заводе по переработке топлива, Кыштым, СССР.
3 — 1957 г. Авария реактора. Лаборатория Уиндскейл (Селлафилд), Великобритания.
4 — 1959 г. Авария экспериментального энергетического реактора. Санта-Сюзана, США.
5 — 1961 г. Взрыв на экспериментальном реакторе. Айдахо-Фолс, США.
6 — 1966 г. Авария на АЭС с кипящим ядерным реактором. Мелекесс, США.
7 — 1966 г. Частичное расплавление активной зоны реактора «Энрико Ферми», Детройт, США.
8 — 1971 г. Выброс жидких радиоактивных отходов из хранилища. Монтжелло, США.
9 — 1973 г. Авария на заводе по переработке топлива. Уиндскейл (Селлафилд), Великобритания.
10 — 1974 г. Взрыв газгольдера. Ленинградская АЭС, СССР.
11 — 1974 г. Разрыв контура охлаждения и выброс радиоактивной воды в окружающую среду. Ленинградская АЭС, СССР.
12 — 1975 г. Частичное разрушение активной зоны и выброс радиоактивных веществ в окружающую среду. Ленинградская АЭС, СССР.
13 — 1977 г. Частичное расплавление активной зоны. Белоярская АЭС, СССР.
14 — 1978 г. Пожар на АЭС, нарушение системы контроля реактора. Белоярская АЭС, СССР.
15 — 1979 г. Расплавление активной зоны, выброс радиоактивных веществ в окружающую среду. АЭС Тримайл Айленд, США.
16 — 1979 г. Выброс высокообогащенного урана на заводе по производству ядерного топлива. Эрвинг, Теннеси, США.
17 — 1964 – 1979 гг. Неоднократное разрушение топливных сборок. Белоярская АЭС, СССР.
18 — 1980 г. Частичное повреждение активной зоны реактора без выброса радиоактивных веществ. АЭС Сен-Лоран, Франция.
19 — 1982 г. Взрыв генератора, пожар, нарушение системы охлаждения и электроснабжения. Армянская АЭС, СССР.
20 — 1982 г. Разрушение центральной топливной сборки, выброс радиоактивных веществ. Чернобыльская АЭС, СССР.
21 — 1982 г. Разрыв трубы парогенератора, выброс радиоактивного пара в атмосферу. Реактор Джина, Рочестер, США.
22 — 1982 г. Нарушение системы охлаждения реактора, утечка радиоактивных веществ в атмосферу. АЭС Онтарио, Нью-Йорк, США.
23 — 1983 г. Авария без выброса радиоактивных веществ в окружающую среду. Буэнос-Айрес, Аргентина.
24 — 1985 г. Утечка радиоактивной воды за пределы АЭС, Индиан-Пойнт-2, Нью-Йорк, США.
25 — 1985 г. Авария паропровода. Балаковская АЭС, СССР.
26 — 1986 г. Авария на Чернобыльской АЭС, СССР.
27 — 1986 г. Взрыв резервуара с радиоактивным газом на заводе обогащения урана. Уэбберс Фол, США.
28 —- 1989 г. Повреждение систем безопасности реактора без выброса радиоактивных веществ. Вандельос, Испания.
29 — 1999 г. Увеличение радиационного фона в результате выброса нейтронов из емкости с урановым топливом. Токаймура, Япония.

Сразу после войны в Челябинской области был создан первый промышленный объект по получению плутония для производства ядерного оружия. В 1948 году в этом регионе был введен в эксплуатацию промышленный реактор. В 1949 году на основе плутония, полученного в этом реакторе, была сделана и вскоре испытана первая советская атомная бомба. В непосредственной близости от реактора с целью переработки топлива и извлечения плутония был построен радиохимический завод.

В первые годы работы подобных предприятий вопросам охраны здоровья персонала и окружающей среды не уделялось должного внимания. Не хватало опыта работы, не проводились научные исследования в области радиационной безопасности.

С 1949 года по 1952 год сброс радиоактивных отходов производили в реку Теча и озеро Карачай. Помимо внешнего облучения, жители населенных пунктов в прибрежных районах подвергались и внутреннему облучению за счет поступления в организм радионуклидов с речной водой.

В дальнейшем для жидких радиоактивных отходов были созданы бетонные емкости с толщиной стенок около 1,5 м и покрытием из нержавеющей стали. Эти емкости, оборудованные системой охлаждения, называли «банками вечного хранения».

В 1957 году в одной из емкостей отказала система охлаждения. В результате, на дне емкости накопилось несколько десятков тонн взрывной смеси солей нитрата и ацетата натрия. Мощный взрыв привел к разгерметизации емкости и выбросу $7{,}4 \cdot 10^{16}$ Бк радиоактивных продуктов в окружающую среду. Поскольку дул сильный ветер, радиоактивное облако начало быстро распространяться в направлении движения воздушных потоков. Через 10 часов облако продвинулось на расстояние около 300 км. По пути его движения на земной поверхности образовался Восточно-Уральский радиоактивный «след» шириной 8 – 9 км, который протянулся через Челябинскую, Свердловскую и Тюменскую области. В составе выпавших радиоактивных продуктов преобладали соединения ^{90}Sr.

Загрязненную зону оградили колючей проволокой, вокруг нее построили дренажный канал. Население эвакуировали. Загрязненный грунт сняли, скот уничтожили и захоронили.

1957 ***год***. Авария на реакторе в Уиндскейле (сейчас Селлафилд, Великобритания), привела к выбросу в окружающую среду радиоактивных продуктов деления (преимущественно ^{131}I и ^{137}Cs). По шкале МШЯС эта авария соответствует уровню 5.

1979 ***год***. На АЭС в Тримайл Айленде (США) в результате расплавления активной зоны реактора произошел выброс радиоактивных газов в атмосферу (в основном ^{133}Xe, ^{135}Xe) и жидких радиоактивных отходов в реку Сакуахана. Была проведена эвакуация населения из зоны бедствия. По шкале МШЯС эта авария соответствует уровню 5. Она заставила пересмотреть принципы надежности и безопасности атомных реакторов. Из-за мощного движения «зеленых» энергетическим компаниям пришлось пойти на значительные затраты, связанные с совершенствованием систем контроля и защиты на АЭС.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

1986 год. Авария на Чернобыльской АЭС привела к крупномасштабному загрязнению окружающей среды. В соответствии со шкалой INES эта авария самого высокого 7 уровня. Подробно об аварии на Чернобыльской АЭС и её последствия будет рассказано в последующих главах.

Исследование причин ядерных аварий позволило экспертам сделать следующие выводы:

- большая часть аварий произошла из-за технических недостатков в конструкции оборудования и по вине операторов;
- в большинстве случаев аварии произошли во время технического обслуживания или испытаний оборудования;
- в некоторых случаях аварии произошли во время остановки ядерного реактора;
- почти все аварии могли быть предотвращены операторами при своевременном распознавании сигналов контрольно-измерительных приборов.

Чтобы эффективно использовать опыт, накопленный более чем за 60 лет эксплуатации ядерных реакторов, для организации мероприятий по предотвращению подобных аварий в будущем, необходимо:



- *изучать последствия имевших место аварий и инцидентов;*
- *выяснять их причины;*
- *систематизировать происходившие события на основе анализа степени их воздействия на людей и окружающую среду.*

Итак...

Материал, рассмотренный в этой главе, показал Вам, что познание тайн атомного ядра значительно ускорило темпы научно-технического прогресса. Вы узнали, как широко и успешно используется явление радиоактивности в медицине, промышленности, сельском хозяйстве, науке и технике на протяжении уже многих десятилетий.

В настоящее время ядерная энергетика во многом определяет уровень научно-технического прогресса, экономическое развитие общества, его благосостояние. Однако, как показывает современная история, явление радиоактивности использовалось не только в мирных целях, но и при создании крайне опасного и разрушительного оружия. В следующей главе Вы более подробно познакомитесь с принципом действия ядерного и термоядерного оружия, узнаете, к каким экологическим последствиям может привести его применение.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Вопросы для самоконтроля и обсуждения

1. Как используются радиоактивные изотопы в промышленности?
2. Какие методы исследования с применением радиоактивных веществ в научных целях Вы знаете?
3. На чем основана радиоизотопная диагностика в медицине?
4. Как используют метод «меченых» атомов в сельском хозяйстве?
5. Как классифицируют ядерные реакторы по назначению?
6. Изложите принцип работы атомной электростанции
7. Что такое ядерный топливный цикл? Из каких этапов он состоит?
8. В чем заключается проблема радиоактивных отходов?
9. Какие крупные ядерные аварии Вы знаете?
10. Как классифицируют происшествия на предприятиях ядерного топливного цикла?
11. Сравните экологические последствия работы атомных и тепловых электростанций
12. В чем состоят достоинства и недостатки ядерной энергетики?



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Глава 7

ИСПЫТАНИЯ ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ

Ключевые слова и словосочетания: ядерное и термоядерное оружие, испытательный ядерный полигон, ядерный взрыв

Открытие цепной реакции ядерного деления послужило толчком для поиска путей практического использования энергии, выделяющейся в результате осуществления этой реакции, причем, в военных целях её стали использовать даже раньше (ядерное оружие), чем в мирных (атомные электростанции). В основе действия наиболее распространенных видов ядерного оружия лежит неуправляемая цепная реакция ядерного деления или реакция термоядерного синтеза. Энергия, которая выделяется в результате реакций подобного типа, может приводить к мощному взрыву, несущему катастрофические последствия.

Изучив главу...



Вы познакомитесь с историей создания, принципом действия и разнообразными видами ядерного оружия. Узнаете, какие страны имеют ядерное оружие и где расположены полигоны, на которых проводятся его испытания. Вы поймете, какую угрозу для всего человечества представляет это разрушительное оружие массового поражения.

7.1. Что такое ядерное оружие

В 1939 году экспериментальным путем была доказана возможность цепного процесса ядерного деления урана, в результате которого выделяется огромное количество энергии. Был обнаружен неизвестный ранее источник энергии, который мог бы привести к расцвету цивилизации, если научиться управлять реакцией деления, ускоряя или замедляя этот процесс. Атомные электростанции могли бы вырабатывать электроэнергию, освободив огромные количества невозобновляемых топливных ресурсов (каменного угля, нефти, газа) для других целей.

Вместе с тем, эту энергию можно обратить и против человека. Было установлено, что при определенных условиях развитие цепной реакции деления неизбежно приведет к мощному взрыву. Ученые осознали, что на основе цепного процесса ядерного деления может быть создано оружие огромной разрушительной силы.

Исторически сложилось так, что результаты многих научных исследований не всегда использовались во благо человечества. Цепную реакцию ядерного деления также, в первую очередь, использовали в военных целях. Мы знаем, что первая атомная электростанция появилась лишь в 1954 году в г. Обнинск (СССР), а испытание первой атомной бомбы произошло еще в 1945 году в штате Нью–Мехико (США).

После открытия реакции ядерного деления урана в различных научных центрах мира начались работы по изучению условий ее протекания, которые и привели к созданию ядерного оружия.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

В начальный период все исследования в этой области были засекречены, да и сами ученые еще не до конца понимали, насколько огромна энергия, таящаяся в недрах атома, и какими могут быть последствия применения нового оружия.

Дневник событий

Дата		*Что произошло ?*
1943 год		Начались работы по созданию ядерного оружия в США. В этом же году И.В.Курчатову было поручено возглавить первый атомный научный центр в бывшем Советском Союзе
16 июля 1945 года		Проведено испытание первой атомной бомбы в пустыне Аламогордо (штата Нью-Мехико США).
Август 1945 года		Осуществлены взрывы атомных бомб над японскими городами Хиросима и Нагасаки. Последствия катастрофичны.
Дневник событий	*6 августа 1945 года, 8 часов 14 минут*	*Американская атомная бомба "Малыш" сброшена на г. Хиросиму, через 47 секунд произошел взрыв.*
	7 августа 1945 года, утро	*Стало известно, что Хиросима полностью уничтожена одной единственной бомбой, площадь разрушений — 13 км², число погибших — 45 тысяч человек.*
	9 августа 1945 года, 11 часов 02 минуты	*Вторая американская атомная бомба "Толстяк" взорвана над г. Нагасаки, площадь разрушений — 7 км², число погибших — 22 тысячи человек.*
	Конец 1945 года	*От последствий ядерных взрывов в Хиросиме умерло 12 тысяч человек, в Нагасаки — 80 тысяч человек.*
	Конец 1950 года	*От последствий ядерных взрывов в Хиросиме умерло 20 тысяч человек, в Нагасаки — 100 тысяч человек.*
Октябрь 1945 года		В штате Нью-Мехико началось строительство завода для массового производства атомных бомб.
5 августа 1963 года		В Москве подписан Договор о запрещении испытаний ядерного оружия в атмосфере, космическом пространстве и под водой.
10 октября 1963 года		Вступил в силу Договор о запрещении испытаний ядерного оружия в атмосфере, космическом пространстве и под водой.

Ядерное оружие было создано в США, бывшем Советском Союзе, Великобритании, Франции. Затем к этим странам присоединились Китай, Индия и Пакистан. По мнению ряда специалистов, ядерное оружие имеют также Израиль и ЮАР. Это оружие явилось мощным инструментом ядерных держав в их взаимном противоборстве для установления контроля над другими странами и влияния на процесс мирового развития.

Наибольшее число испытаний ядерного оружия приходится на периоды:

1954 – 1958 годы
1961 – 1962 годы

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Что такое ядерное оружие?

Когда исследования, проведенные учеными многих стран, показали, что использование ядерного оружия и ядерная война поставят под сомнение вопрос о дальнейшем существовании человечества и, вообще, жизни на Земле, в 1963 году был подписан Договор о запрещении испытаний ядерного оружия в атмосфере, космическом пространстве и под водой.

В последующие годы Франция и Китай, не подписавшие этот Договор, провели серию ядерных взрывов в атмосфере. Тем не менее, испытания проводились уже значительно реже, а по мощности ядерные боезаряды уступали использовавшимся ранее. К сожалению, испытания ядерного оружия (в основном, подземные) проводятся до сих пор.

Тротиловый эквивалент – это количество обычного взрывчатого вещества тротила (тринитротолуола), которое потребовалось бы взорвать, чтобы взрыв по энергии соответствовал (был эквивалентен) взрыву атомной бомбы.

Его величина выражается в килограммах, тоннах, килотоннах, мегатоннах.

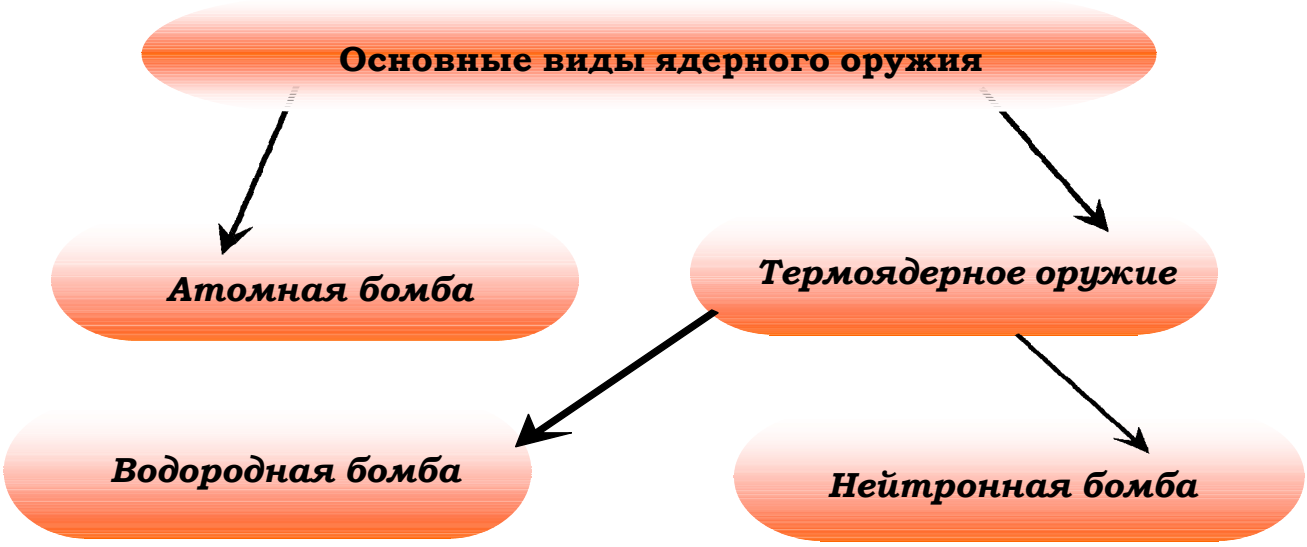
Так, при бомбардировке японских городов были применены сравнительно маломощные ядерные боезаряды (15 – 20 килотонн тротилового эквивалента).

Ядерное оружие — оружие массового поражения, действие которого основано на использовании внутриядерной энергии атомов.

Источником энергии в ядерном оружии служит цепная реакция деления тяжелых ядер, либо термоядерная реакция синтеза легких ядер.

В широком смысле слова, под ядерным оружием подразумевают не только ядерные боеголовки (боевые части ракет, авиационные бомбы, артиллерийские снаряды, мины), но и средства доставки их к цели (ракеты, самолеты), а также средства управления, обеспечивающие попадание боеприпасов в цель.

Мощность ядерного боеприпаса оценивают по *тротиловому эквиваленту*.



Рассмотрим принцип действия различных видов ядерного оружия

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Атомная бомба

В атомной бомбе источником энергии является *неуправляемая цепная реакция деления* тяжелых атомных ядер. Чтобы начать цепную реакцию деления достаточно 1 нейтрона.

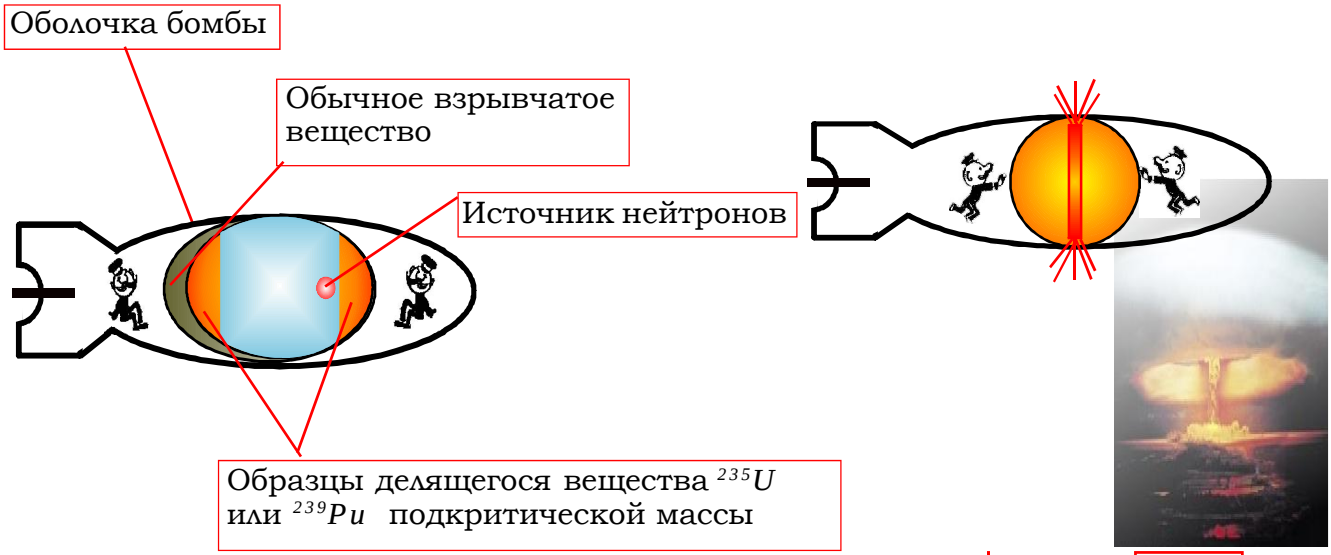
Напомним, что цепная ядерная реакция возможна, когда достигается *критическая масса* делящегося вещества. Иными словами, условия протекания реакции деления тяжелых атомных ядер должны быть такими, чтобы нейтроны, образующиеся при ядерном делении, не покидали делящееся вещество еще до столкновения с другими тяжелыми ядрами и процесс деления мог продолжаться.

Если количество делящегося вещества меньше *критической массы*, процесс ядерного деления и выделение энергии прекращается . Если же масса делящегося вещества достигает критической величины или превосходит ее, развивается цепной процесс ядерного деления , который и приводит к взрыву колоссальной силы.

Основными элементами атомной бомбы являются *ядерный заряд и заряд обычного взрывчатого вещества*, помещенные в *корпус бомбы*. В качестве ядерного горючего в атомной бомбе используют ^{235}U или ^{233}U, а также ^{239}Pu.

В зависимости от способа достижения условий, при которых начинается цепная реакция ядерного деления, атомные бомбы могут быть двух типов — *пушечного* и *имплозивного*.

Принципиальная схема устройства атомной бомбы пушечного типа



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Атомные бомбы *пушечного типа* производили в США. Некоторые страны, такие как Советский Союз и Великобритания, никогда не создавали ядерное оружие подобного типа.

Активная часть атомной бомбы *пушечного типа* включает два образца делящегося вещества. Масса каждого из них меньше критической (*подкритическая*), а суммарная масса двух образцов превышает критическую (*надкритическая*).

Образцы делящегося вещества, имеющие *подкритическую* массу, пространственно разделены и развитие цепной реакции в них невозможно. Чтобы началась цепная реакция ядерного деления, образцы *подкритической* массы необходимо *как можно быстрее соединить*. С этой целью используют взрывчатое вещество, в качестве которого в атомной бомбе обычно применяют сплав тротила с гексогеном.

Под действием ударной волны, возникающей при запале взрывчатого вещества, ***два образца делящегося вещества подкритической массы с огромной скоростью летят навстречу друг другу и объединяются в один. В делящемся веществе, масса которого с этого момента становится выше критической (надкритической), мгновенно начинается цепная реакция деления, которая примерно через миллионные доли секунды заканчивается взрывом***

Плутониевый ядерный заряд в, основном, состоит из ^{239}Pu. Однако ^{239}Pu всегда содержит некоторое количество ^{240}Pu, который образуется в процессе производства ^{239}Pu по реакции:

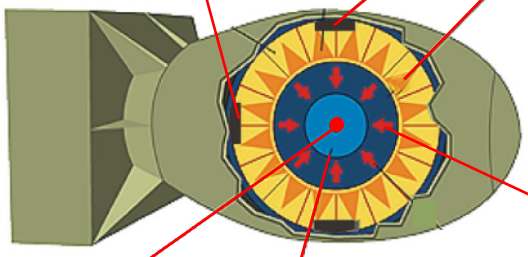
$$^{239}Pu + n \rightarrow {}^{240}Pu$$

Вероятность спонтанного деления ^{239}Pu без примеси ^{240}Pu низка, а ^{240}Pu — значительно выше. Поэтому присутствие ^{240}Pu увеличивает вероятность начала реакции ядерного деления

Критическая масса ^{235}U и ^{239}Pu составляет 10 – 30 кг в зависисмости от плотности используемого ядерного заряда.

В атомных бомбах *пушечного типа* (например, в бомбе на основе ^{239}***Pu*** с примесью 1 %^{240}***Pu***) не исключена возможность процесса спонтанного (самопроизвольного) ядерного деления еще до объединения образцов делящегося вещества подкритических масс. Поэтому такие бомбы небезопасны при хранении и транспортировке. Подобных недостатков лишены более совершенные и сложные по конструкции атомные бомбы *имплозивного типа*

Принципиальная схема устройства атомной бомбы имплозивного типа



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

В атомной бомбе имплозивного типа ядерное горючее разделено не на две части, как в бомбе пушечного типа, а на большее число частей, которые объединяются при взрыве окружающего их обычного взрывчатого вещества.

Условия, при которых начинается цепная реакция ядерного деления, достигаются под действием сферической ударной волны, возникающей при детонации обычного взрывчатого вещества. В результате резкого увеличения давления достигается *надкритическая* масса делящегося вещества и возрастает плотность этого объединенного делящегося вещества. Практически мгновенно начинается цепная реакция ядерного деления, которая приводит к ядерному взрыву.

В бомбах имплозивного типа для начала цепного процесса требуется меньше ядерного горючего, чем в бомбах пушечного типа.

За счет увеличения плотности делящегося вещества под действием высокого давления в бомбах имплозивного типа

- «критичесая масса» делящегося вещества меньше, чем в бомбах пущечного типа;
- существенно увеличивается и коэффициент размножения нейтронов (***K***), что приводит к быстрому развитию цепного процесса ядерного деления и увеличению эффективности атомной бомбы.

В бомбах имплозивного типа сведена к минимуму возможность самопроизвольной детонации ядерного вещества, и их можно безопасно хранить длительное время.

Независимо от конструкции и мощности бомбы, цепная реакция ядерного деления заканчивается очень быстро — через $10^{-7} – 10^{-6}$ секунд. При этом в реакцию вступает около 1 кг ядерного горючего, остальная его часть рассеивается в окружающем пространстве. За счет рассеивания осколков деления и неразделившейся части ядерного горючего происходит радиоактивное загрязнение местности.

Количество энергии, которое выделяется в процессе реакции ядерного деления, в среднем, составляет 1 МэВ в расчете на 1 нуклон делящегося вещества. Поэтому мощность атомной бомбы ограничена и обычно не превышает 100 000 тонн тротилового эквивалента.

Гораздо больше энергии по сравнению с энергией, выделяющейся в реакциях *ядерного деления*, можно получить в результате реакций *ядерного синтеза*. Реакции подобного типа служат источником энергии в термоядерном оружии.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Термоядерное оружие

В основе действия термоядерного оружия лежат реакции ядерного синтеза атомов химических элементов, расположенных в самом начале Периодической системы.

Взаимное отталкивание атомных ядер тем больше, чем больше их заряд, поэтому ядра с малым электрическим зарядом взимодействуют значительно легче, чем тяжелые ядра с большим электрическим зарядом.

Все атомные ядра имеют положительныйэлектрический заряд, и поэтому при сближении между ними действуют силы кулоновскогоотталкивания. Для того, чтобы произошла реакция синтеза нового ядра, взаимодействующие ядра должны обладать энергией, достаточной для преодоления сил взаимного электрического отталкивания.

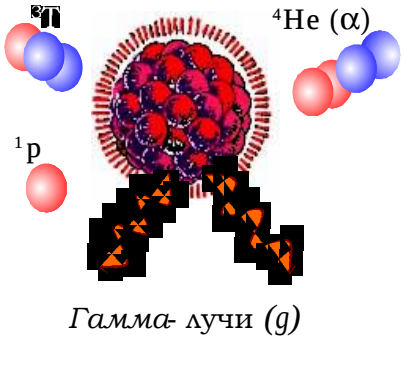
Проще всего осуществить сближение двух легких атомных ядер с небольшим содержанием протонов в ядре. При слиянии легких ядер им приходится преодолевать меньшее кулоновское отталкивание. Однако даже в этом случае взаимодействующие ядра должны обладать огромной энергией. Такую энергию ядра приобретают при сверхвысоких температурах (десятки миллионов градусов). Поэтому реакции ядерного синтеза и получили название *термоядерных реакций.*

Ученые установили, что каждую секунду на Солнце 630 млн. т водорода превращается в гелий. Огромная энергия, которая выделяется в результате подобных ядерных превращений, компенсирует энергетические потери Солнца на излучение.

Сам процесс ядерного синтеза сопровождается выделением энергии, величина которой значительно превосходит энергетические затраты на инициирование ядерной реакции.

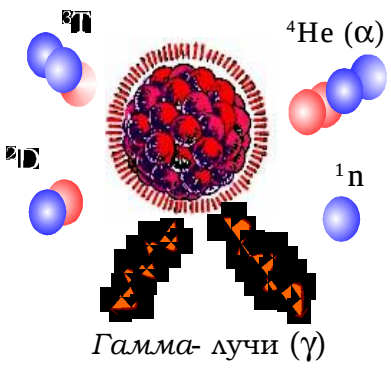
Именно такого типа реакции осуществляются в недрах Солнца и других звезд.

Термоядерный синтез



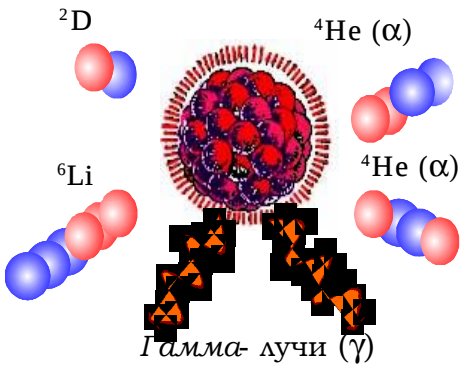
$^{3}T + {}^{1}p \rightarrow {}^{4}He + g + E$

E = 19,8 МэВ



$^{3}T + {}^{2}D \rightarrow {}^{4}He + {}^{1}n + g + E$

E = 17,6 МэВ



$^{6}Li + {}^{2}D \rightarrow 2\,{}^{4}He + g + E$

E = 22,4 МэВ

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Водородная бомба

В *водородной бомбе* источником энергии является неуправляемая реакция термоядерного синтеза ядер гелия из ядер изотопов водорода — дейтерия и трития:

$$^{2}D + {}^{3}T \longrightarrow {}^{4}He + {}^{1}n$$

Высокая температура, необходимая для инициирования этой реакции, может быть достигнута только при взрыве атомной бомбы. Поэтому составной частью водородной бомбы является первичный атомный заряд (фактически, атомная бомба). Взрыв атомной бомбы приводит к мгновенному нагреву термоядерного горючего до сверхвысокой температуры и становится возможным синтез ядер гелия. Реакция сопровождается выделением большого количества энергии — в среднем 6 – 7 МэВ на 1 нуклон. Это значительно больше, чем количество энергии, выделяющейся при осуществлении реакции деления тяжелых ядер. Процесс ядерного синтеза сопровождается вторым, еще более мощным взрывом.

Мощность водородной бомбы практически не ограничена. Взрыв водородной бомбы, как правило, приводит к более существенным разрушениям объектов в районе взрыва по сравнению со взрывом атомной бомбы. Наличие в водородной бомбе первичного атомного заряда способствует значительному загрязнению окружающей среды осколками деления и неразделившейся частью ядерного горючего.

С целью повышения эффективности действия водородной бомбы в качестве горючего используют дейтерид лития ($^{6}Li\,^{2}D$).
В результате облучения лития нейтронами образуется тритий и гелий:

$$^{6}Li + {}^{1}n = {}^{3}T + {}^{4}He + \boldsymbol{E}$$

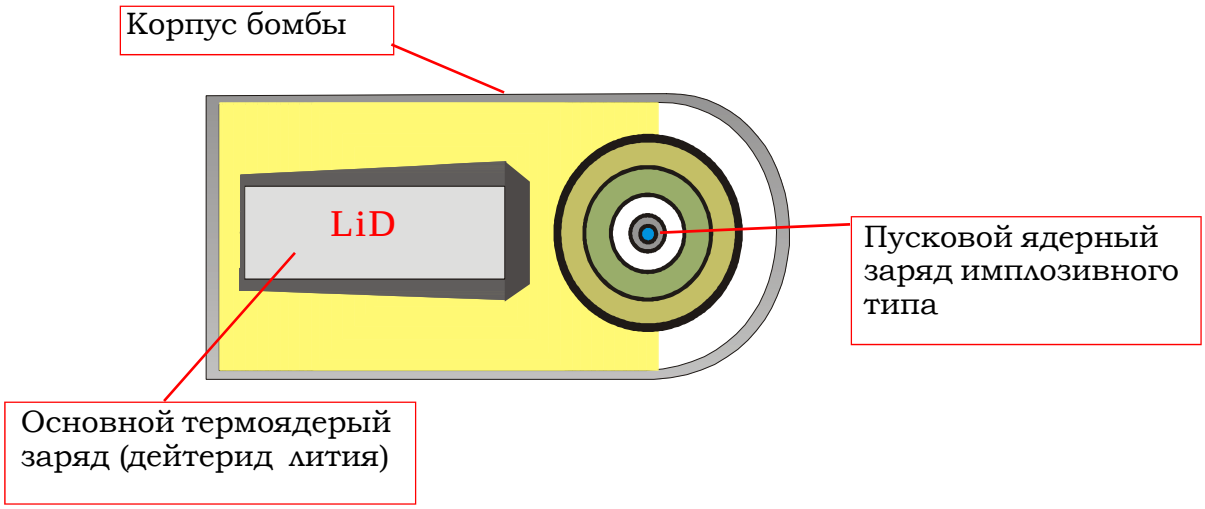
$$E = 4{,}78\ МэВ$$

Образующийся тритий взаимодействует с дейтерием, содержащимся в исходном термоядерном горючем, с образованием ядер гелия:

$$^{2}D + {}^{3}T \longrightarrow {}^{4}He + {}^{1}n + \boldsymbol{E}$$

$$E = 17{,}6\ МэВ$$

Принципиальная схема устройства водородной бомбы



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Нейтронная бомба

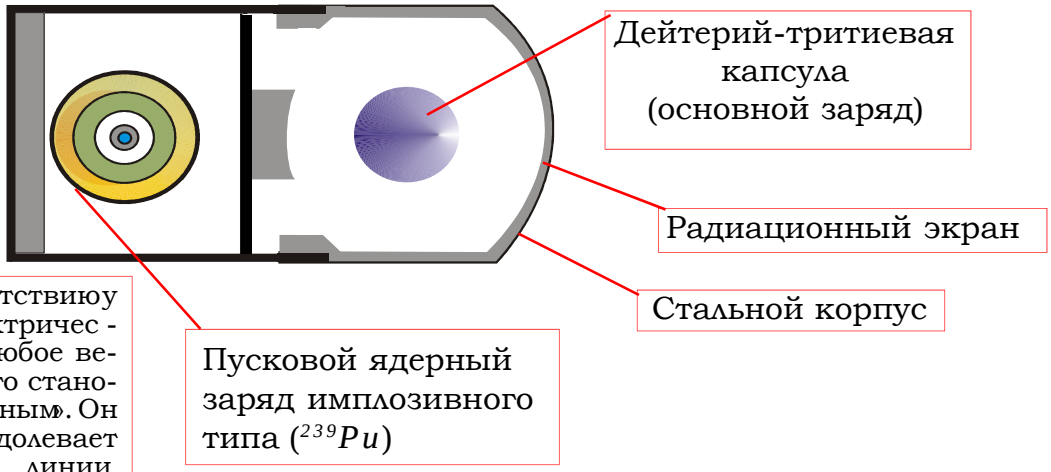
Несмотря на серьезные последствия, к которым могло привести использование существовавших в 60 – 70-х годах XX века ядерных боезарядов, они были мало эффективны против бронетехники. Бронированный корпус машин надежно защищал экипаж от действия ионизирующего излучения, возникающего при обычных ядерных взрывах. С легкостью проникать через толстую стальную броню и поражать людей способно только нейтронное излучение. Это свойство нейтронного излучения было использовано при создании *нейтронной бомбы* — тактической боеголовки нового поколения.

Нейтронная бомба



Нейтронная бомба предназначена для максимального поражения всего живого в эпицентре взрыва при минимальном, по сравнению с другими видами ядерного оружия, разрушении зданий, дорог и других подобных объектов, а также значительно меньшем радиоактивном загрязнении местности.

Принципиальная схема устройства нейтронной бомбы



Благодаря отсутствию у нейтрона электрического заряда, любое вещество для него становится «прозрачным». Он спокойно преодолевает все защитные линии атома : и внешнюю электронную оболочку, с большой силой отталкивающую любую отрицательно заряженную частицу, и внешнюю границу атомного ядра, отталкивающего даже движущуюся с огромной скоростью тяжелую *альфа*-частицу.
Поглотив нейтрон , ядра большинства атомов приходят в возбужденное состояние, а затем распадаются , испуская при этом другие частицы и *гамма*-кванты.

Принцип действия нейтронной бомбы подобен принципу действия водородной бомбы , однако конструкционные особенности нейтронной бомбы обеспечивают выход в окружающую среду мощного потока нейтронов. Мощные потоки высокоэнергетических нейтронов возникают в ходе реакции термоядерного синтеза гелия , протекающей в дейтерий-тритиевой плазме:

$$^{2}D + {}^{3}T = {}^{4}He\ (3{,}5\ МэВ) + {}^{1}n\ (14{,}1\ МэВ)$$

По сравнению с водородной бомбой, используемой для решения иных боевых задач , конструкция нейтронной бомбы имеет свои особенности.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- Устройство нейтронной бомбы обеспечивает максимальный выход нейтронов в окружающую среду и минимальное их поглощение атомами делящегося вещества пускового заряда и конструкционными материалами бомбы. Выход нейтронов в результате взрыва нейтронной бомбы достигает 97 %.
- В пусковом ядерном заряде используют минимальное количество делящегося ^{239}Pu, которого достаточно для осуществления ядерного взрыва и инициирования реакции ядерного синтеза. Из-за небольшого ядерного запала радиоактивное загрязнение окружающей среды после взрыва нейтронной бомбы существенно меньше, чем после взрыва атомной и водородной бомб. В тоже время, небольшой ядерный запал не позволяет создавать боезаряды большой мощности.
- Кроме того, в результате использования нейтронной бомбы появляется дополнительный источник радиоактивного излучения, так называемая *наведенная радиоактивность*. Она возникает при взаимодействии нейтронов с веществом (например, броней танка). Наведенная радиоактивность может быть настолько мощной, что экипаж танка может получить летальную дозу облучения в течение нескольких часов.

Распределение энергии, выделяющейся при воздушном взрыве *обычного ядерного* (Я) и *нейтронного* (Н) боеприпасов.

Ударная волна:
Я — 50 %
Н — 40 %

Световое излучение и *электромагнитный импульс*:
Я — 30 – 35 %
Н — 25 %

Проникающая радиация:
Я — 10 %
Н — 30 %

Радиоактивное загрязнение местности:
Я — 5 – 10 %
Н — 5 %

Эти данные приведены для *нейтронной* бомбы, в которой *инициирующий* и *основной* заряд вносят одинаковый вклад в образование энергии.

Таким образом, на основе неуправляемых реакций ядерного деления и термоядерного синтеза были созданы различные виды ядерного оружия. В следующей таблице приведены основные характеристики существующих видов ядерного оружия.

Характеристика ядерного оружия

Вид бомбы	Ядерное горючее	Особенности оружия
Атомная бомба	^{235}U, ^{233}U ^{239}***Pu***	**Используется реакция деления тяжелых атомных ядер** • Чтобы инициировать цепную реакцию ядерного деления, достаточно 1 нейтрона. • В реакциях деления выделяется энергия 1 МэВ в расчете на 1 нуклон. • Максимальная мощность ядерных боеприпасов соответствует 100 000 тонн тротилового эквивалента. • Температура в эпицентре взрыва достигает 10^7 - 10^8 К, давление — 10^{14} Па.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Термоядерное оружие	Смесь дейтерия (^2D) и трития (^2T) или дейтерид лития ($^6Li^2D$)	**Используется реакция синтеза ядер гелия** • Чтобы инициировать процесс термоядерного синтеза, требуются температуры в десятки и сотни миллионов градусов, которые достигаются при взрыве пускового заряда (атомной бомбы). После разогрева в основном заряде начинается термоядерная реакция. • Ядерный синтез гелия из изотопов водорода сопровождается выделением энергии 6 - 7МэВ в расчете на 1 нуклон, которая по количеству превышает энергию, выделяющуюся в результате деления тяжелых атомных ядер. Разновидности термоядерного оружия: Ø***Водородная бомба*** Мощность боеголовок не ограничена. Ø***Нейтронная бомба*** Максимальная мощность боеголовок — около 10000 т тротилового эквивалента.

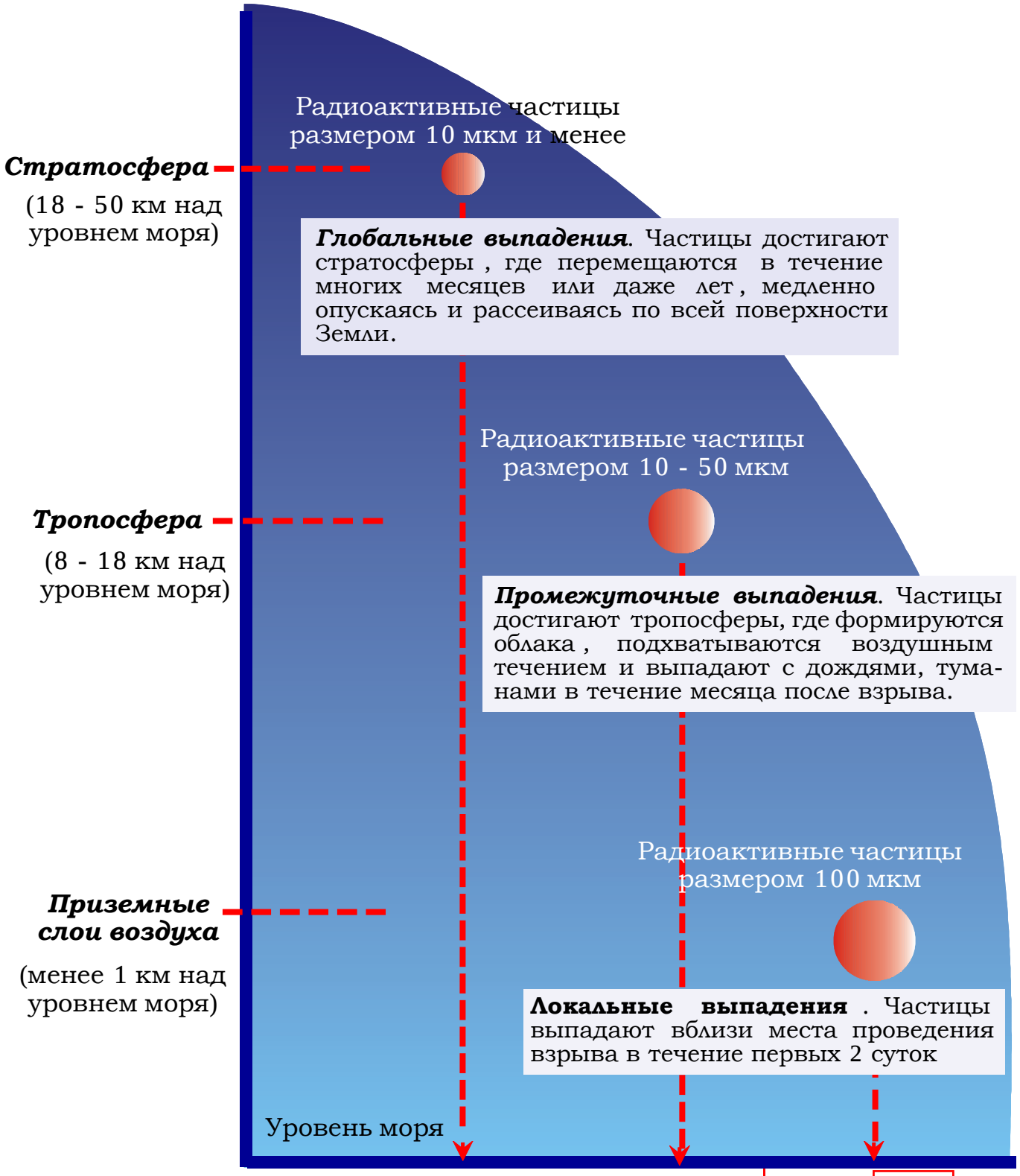
В зависимостиот места проведенияядерных взрывов различают *воздушные, наземные, подземные, подводные* и *высотные взрывы*. На следующихсхемахуказаны их основные особенности, а на стр. 218 приведеныфотографиивзрывов разного типа.



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Наиболее широкомасштабное загрязнение земной поверхности происходит при *воздушных* взрывах большой мощности . Перемещение радиоактивных частиц в атмосфере воздушными потоками и их выпадение на поверхность Земли определяется размерами частиц, образующихся при взрыве.

Перемещение радиоактивных частиц при воздушных взрывах



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

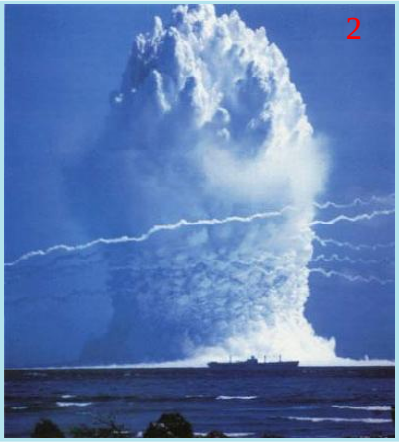
Фотографии ядерных взрывов *

подводные *(1 - 3)*

1



2



3



наземные *(4 - 6)*

4



5

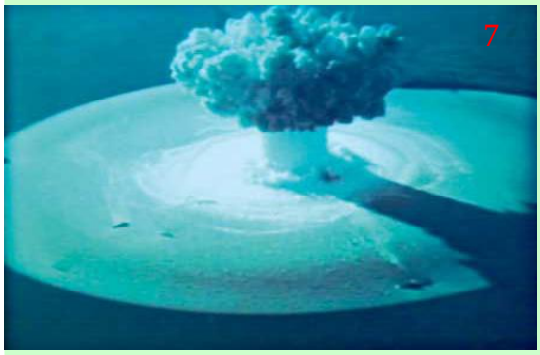


6



подземные *(7 - 9)*

7



8



9



воздушные *(10 - 12)*

10



11



12



* http://mina.ru/weapon/nuclear

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

7.2. Испытательные ядерные полигоны

Испытания ядерного оружия, проводившиеся в разные годы, были направлены на:

- исследование действия ядерных боеприпасов и возможности их совершенствования;
- изучение процессов , сопровождающих ядерный взрыв;
- совершенствование методов обнаружения мест проведения ядерных взрывов;
- создание средств защиты и др.

Большинствовзрывов при испытаниях ядерного оружия ведущие ядерные державы проводят на специально созданных полигонах. Испытательные полигоны обычно расположены на территориях с низкой плотностью населения, вдали от крупных промышленных центров.

В 1947 году на территории Казахстана (бывший СССР) для испытаний ядерного оружия был построен ***Семипалатинский полигон***. В 1949 году здесь было проведено первое испытание ядерного оружия , созданного в СССР, а в 1953 году впервые в мире было испытано термоядерное оружие. Всего на Семипалатинском полигоне проведено 86 воздушных испытаний, 30 наземных и 340 подземных. В 1991 году этот полигон был закрыт, а с 1995 года на его территории были начаты работы по ликвидации последствий испытаний ядерного оружия.

Еще один крупный ядерный полигон на территории бывшего Советского Союза — ***Северный полигон*** был основан в 1954 году на островах Новая Земля. На полигоне был произведен 131 ядерный взрыв , в том числе 87 взрывов — в атмосфере . Последнее испытание ядерного оружия на Северном полигоне было осуществлено в 1990 году.

В Советском Союзе ядерное оружие испытывали также на полигонах

- ***Капустин Яр*** (Астраханская область) — 10 высотных взрывов;
- ***в районе г. Аральска*** (Казахстан) — наземный взрыв мощностью 0,3 кт тротилового эквивалента;

При проведении подземных испытаний обычно заранее бурится скважина глубиной более 600 м. После размещения ядерного боеприпаса скважина «запечатывается» на всю глубину смесью щебня и песка .
На Семипалатинском полигоне до сих пор можно увидеть воронку от ядерного взрыва, осуществленного в 1965 году на глубине 120 м. Воронку заполнила грунтовая вода и образовалось озеро . Примерно через 10 лет в это озеро запустили сазанов и ры-

Наиболее известные места проведения ядерных испытаний:
США – Невадский полигон, акватория Тихого и Атлантического океанов, Полинезия.
Великобритания – острова Монте Бело (Австралия).
Франция – острова Муроруа и Фангатауфа, полигон Реганн в Алжире.
Китай – полигон Лобнор.

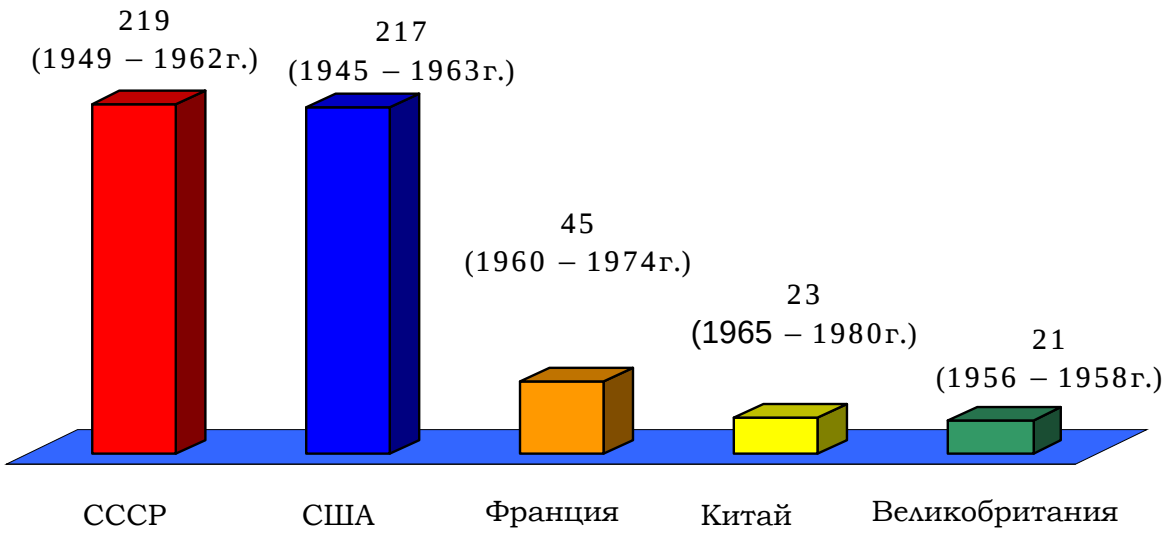
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- ***в районе г. Тоцка*** (Оренбургская область) — воздушный взрыв мощностью 40 кт тротилового эквивалента.

Самым крупным испытательным ядерным полигоном в США является ***Невадский полигон***, который находится в пустыне Невада. На его территории было произведено 834 ядерных взрыва, в том числе, 100 из них — в атмосфере.

В разные периоды времени ядерными державами мира было осуществлено более 2 000 ядерных испытаний в различных природных средах, в том числе, 525 взрывов — в атмосфере. Кроме государств — «членов ядерного клуба», ядерные испытания проводили Индия и Пакистан, причем каждая из этих стран осуществила по несколько подземных взрывов.

Количество ядерных взрывов в атмосфере, осуществленных ядерными державами в разные периоды времени



Кроме ядерных взрывов, проводимых на испытательных ядерных полигонах, их осуществляли и в других местах. Так например, по заказам различных министерств и ведомств, проводились подземные ядерные взрывы в «мирных целях». Они применялись для измельчения скальных пород и добычи руды, для сейсмозондирования земной коры, для ликвидации газовых фонтанов, для извлечения больших объемов грунта, для интенсификации притока нефти и газа, разведки и промышленного освоения месторождений, для создания подземных емкостей и т.д. На территории бывшего Советского Союза было проведено более 70 таких взрывов.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

7.3. Последствия ядерных взрывов

Специфика ядерного оружия и процессов, происходящих при ядерном взрыве, определили поражающие свойства оружия подобного типа. Особый характер поражающего действия ядерного оружия обуславливают:

- значительно большее количество выделяемой энергии по сравнению с традиционными видами оружия;
- наличие проникающего излучения, сопровождающего взрыв;
- выпадение значительного количества радионуклидов на земную поверхность и радиоактивное загрязнение обширных территорий.

Основными поражающими факторами ядерного оружия являются:

- световое (тепловое) излучение,
- ударная волна,
- проникающая радиация,
- электромагнитный импульс,
- радиоактивное загрязнение местности.

Под действием *ударной волны* и интенсивного *светового излучения* может происходить возгорание горючих материалов и повреждение нефтепроводов и газопроводов, находящихся в районах нанесения ядерных ударов. Пожары могут охватить огромные площади лесов, торфяников и населенных пунктов и привести к огненному урагану. Дым от подобных пожаров способен поглощать значительную часть солнечного излучения и, в случае крупномасштабной ядерной войны, это может привести к охлаждению земной поверхности и наступлению «ядерной зимы».

Световое (тепловое) излучение

В результате ядерного взрыва формируется «огненный шар» — зона, в которой температура достигает нескольких тысяч градусов, откуда часть энергии взрыва выносится в виде *светового (теплового) излучения*.

Ударная волна

Значительная часть энергии взрыва переносится в атмосфере воздушной *ударной волной*. Ударная волна представляет собой область сильно сжатого воздуха, распространяющуюся со сверхзвуковой скоростью во все стороны от места взрыва. Ударная волна вызывает наибольшие разрушения объектов, находящихся в районе взрыва.

Проникающая радиация

Процессы ядерного деления и термоядерного синтеза, наряду с другими видами ионизирующего излучения, обычно сопровождаются образованием избыточных нейтронов. Нейтронное излучение обладает значительной проникающей способностью и при осуществлении ядерного взрыва является дополнительным источником облучения объектов. Оно может распространятся на расстояние до 2 – 3 км от места взрыва.

К тому же, часть нейтронов взаимодействует с конструкционными материалами объектов, находящихся

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

в эпицентре взрыва. Это приводит к возникновению *дополнительного гамма*–излучения, которое сопровождает взрыв. Поток нейтронов и *гамма*-квантов, которые возникают в момент взрыва атомных и термоядерных бомб, называют *проникающей радиацией*.

Электромагнитный импульс

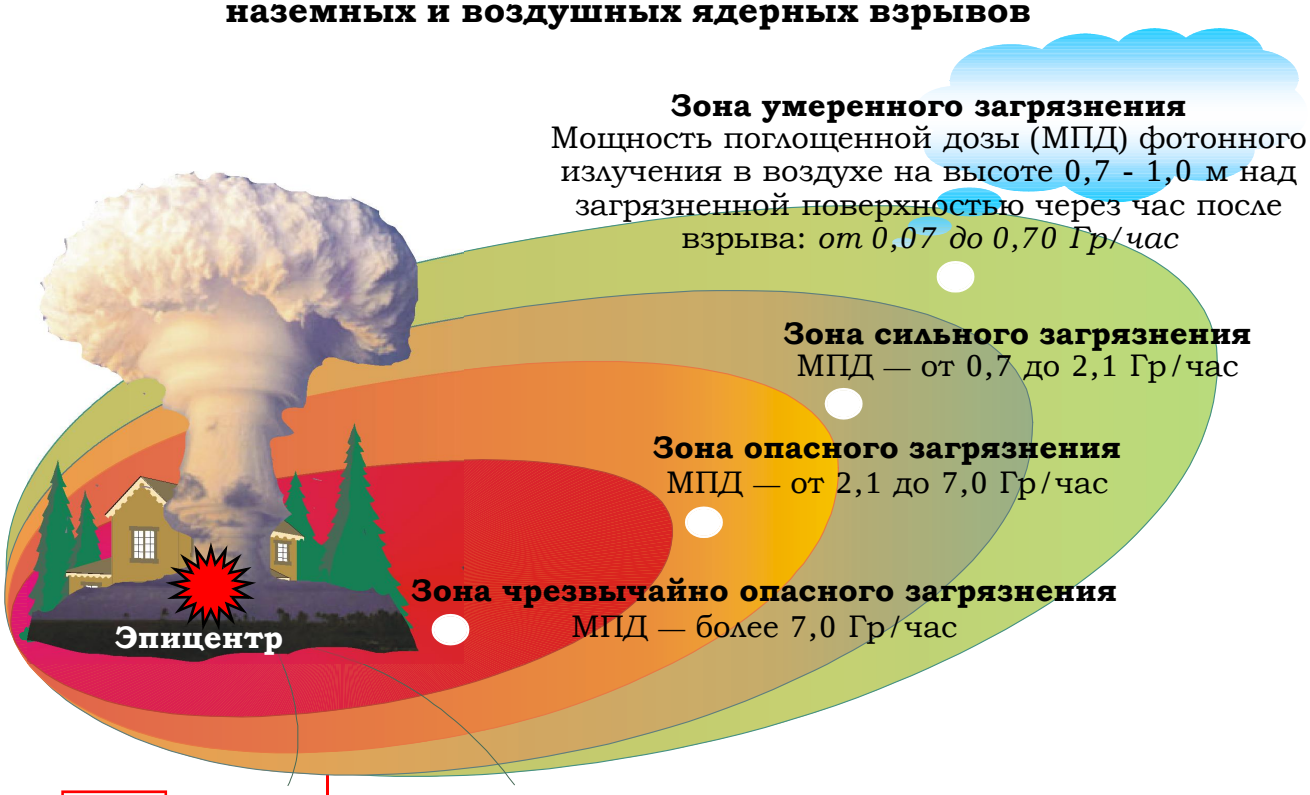
Под действием проникающей радиации происходит ионизация атомов и молекул окружающей среды. Возникают потоки ионов и электронов, порождая электрические и магнитные поля. Эти поля называют *электромагнитным импульсом*. *Они способны выводить из строя системы электроснабжения и электронное* оборудование.

Радиоактивное загрязнение территорий

В результате ядерного взрыва из образовавшихся продуктов формируется *радиоактивное облако*, которое может перемещаться на большие расстояния. Направление и скорость его перемещения зависят от метеорологических условий (направления и скорости ветра, атмосферных осадков и т.д.). По пути движения радиоактивного облака на земной поверхности остается радиоактивный *след*, образованный выпавшими на земную поверхность радиоактивными продуктами.

В зависимости от уровня загрязнения пострадавшую территорию делят на 4 зоны. Размеры и форма образовавшихся зон зависят от мощности взрыва и местных метеорологических условий.

Формирование зон радиоактивного загрязнения в результате наземных и воздушных ядерных взрывов



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Источниками радиоактивного загрязнения местности являются:

- *осколки деления ядер урана или плутония*, которые представляют собой смесь от 200 до 300 различных радионуклидов 36 химических элементов с периодом полураспада от долей секунды до миллионов лет;
- *наведенная радиоактивность*, возникающая в материалах под действием нейтронного излучения;
- *неразделившаяся часть ядерного горючего* — ^{233}U, ^{235}U и ^{239}Pu.

В состав продуктов, выпавших на земную поверхность сразу после взрыва, входят *короткоживущие радионуклиды* с периодами полураспада от нескольких суток до нескольких месяцев (^{131}J, ^{140}Ba, ^{89}Sr *и др.*) и *долгоживущие радионуклиды* с периодами полураспада от нескольких лет до нескольких тысяч лет (^{137}Cs, ^{90}Sr, ^{3}H, ***трансурановые элементы*** *и др.*).

При определении зон загрязнения вокруг центра взрыва проводят окружность. Радиус окружности зависит от мощности взрыва:

20 кт - 0,77 км,
50 кт - 0,90 км,
100 кт - 1,00 км,
2000 кт - 1,12 км.

К окружности параллельно среднему направлению ветра в период распространения радиоактивного облака проводят две касательные.

Зоны радиоактивного загрязнения расположены в секторе, границы которого располагаются под углом 20° к касательным с их внешней стороны.

Непосредственно после взрыва основной вклад в дозу облучения человека вносят короткоживущие радионуклиды. После их распада наиболее опасными становятся долгоживущие радионуклиды

В результате проведенных испытаний ядерного оружия в окружающую среду поступили:

^{3}**T** — 10^{20} Бк (β–излучатель, $T_{1/2}$ = 12,3 года)

^{14}**C** — 10^{17} Бк (β–излучатель, $T_{1/2}$ = 5 730 лет)

^{90}Sr — 10^{17} Бк (β–излучатель, $T_{1/2}$ = 28,6 лет)

^{137}Cs — 10^{17} Бк (β– и γ–излучатель, $T_{1/2}$ = 30,0 лет)

В биосфере под действием нейтронов космического излучения ежегодно образуется:

^{3}**T** – 10^{16} Бк
^{14}**C** – 10^{15} Бк

Кроме того, при ядерных испытаниях в окружающую среду были выброшены и трансурановые элементы:

^{238}Pu — 10^{14} Бк (α–излучатель, $T_{1/2}$ = 87,4 лет)

^{239}Pu — 10^{15} Бк (α–излучатель, $T_{1/2}$ = 24 119 лет)

^{240}Pu — 10^{15} Бк (α–излучатель, $T_{1/2}$ = 6 537 лет)

^{241}Pu — 10^{17} Бк (β–излучатель, $T_{1/2}$ = 14,4 года)

^{241}Am — 10^{15} Бк (α–излучатель, $T_{1/2}$ = 432 года)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



В сентябре 1996 года был открыт для подписания Договор о всеобщем запрещении ядерных испытаний. В настоящее время его подписали более 155 государств и более 20 государств ратифицировали. В соответствии с договором, каждое государство-участник обязуется *не производить никаких взрывов ядерного оружия, а также запрещать и предотвращать любой ядерный взрыв.*

Итак...

Принцип действия ядерного оружия основан на реакции деления тяжелых атомных ядер, либо на реакции синтеза новых ядер из изотопов химических элементов, расположенных в самом начале Периодической системы.



В настоящее время ядерным оружием владеют многие страны мира. Запас оружия достигает 50 тыс. Мт тротилового эквивалента. Это в 10 000 раз больше, чем было взорвано боеприпасов за весь период Второй Мировой войны.

Если бы бомба, аналогичная сброшенной на Хиросиму, была применена против таких крупных городов, как Москва или Нью-Йорк, то при отсутствии оповещения непосредственное количество жертв составило бы от 500 тыс. до 1 млн. человек.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Использование внутриядерной энергии атомов в военных целях угрожает не только существованию человечества, но и вообще жизни на Земле. Понимание того, к каким последствиям может привести использование ядерного оружия, делает необходимым изменение политики ядерных держав в направлении прекращения производства и любых испытаний ядерного оружия.

Вопросы для самопроверки и обсуждения:



1. Что такое ядерное оружие? Назовите основные виды ядерного оружия.
2. Каков принцип действия основных видов ядерного оружия?
3. Что такое испытательный ядерный полигон?

   Укажите на карте, где находятся испытательные ядерные полигоны.
4. К каким последствиям для окружающей среды может привести использованиеядерного оружия?

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

ЧАСТЬ II

КАТАСТРОФА НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ: ПРИЧИНЫ, ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА, ПОСЛЕДСТВИЯ

Катастрофа на Чернобыльской атомной электростанции (ЧАЭС) была самой крупной ядерной аварией за весь период развития атомной энергетики. Она затронула практически все уголки планеты, отразилась на жизни многих людей. Наибольший урон был нанесен Республике Беларусь. Около 2,5 млн. белорусов подверглись радиоактивному облучению в результате разрушения ядерного реактора на Чернобыльской АЭС.

После произошедшей катастрофы жизнь многих людей в Беларуси, России и Украине изменилась. Население этих стран до сих пор ощущает последствия Чернобыльской катастрофы. Случившееся показало, каким опасным может стать «мирный атом» при неумелом обращении с ним. Тем не менее, это событие не заставило человечество отказаться от использования атомной энергии, и в ряде стран доля электроэнергии, вырабатываемой на АЭС, по-прежнему остается высокой. Однако Чернобыльская катастрофа изменила отношение к ядерной энергетике в мировом масштабе. Были пересмотрены международные нормы и правила радиационной защиты, национальные стратегии развития ядерной энергетики, обеспечения ядерной безопасности и обращения с радиоактивными отходами.

Чтобы не допустить в будущем подобных событий, человечество должно извлечь уроки из случившегося в Чернобыле.

Глава 8

Радиоактивное загрязнение биосферы

Ключевые слова и словосочетания: Чернобыльская катастрофа, причины катастрофы, аварийный выброс радионуклидов, радиоактивное облако, радиоактивное загрязнение воздушной среды, почвы, водоемов, растительности, животного мира, продуктов питания.

Нарушение правил техники безопасности и условий эксплуатации ядерного реактора привели к катастрофическому увеличению мощности реактора IV блока Чернобыльской АЭС. В результате, 26 апреля 1986 года последовало два тепловых взрыва, вызвавших пожар и выброс радиоактивных веществ из активной зоны реактора в окружающую среду.

Образовавшееся радиоактивное облако перемещалось воздушными потоками, что способствовало распространению радиоактивных веществ по территории стран Европы и других частей света. Больше всего оказалась загрязнена территория Беларуси, Украины и России. По масштабам произошедшая катастрофа превзошла все известные ядерные аварии.

Изучив главу... Вы узнаете, как развивались события на Чернобыльской АЭС и что явилось причиной произошедшей катастрофы. Познакомитесь с масштабами загрязнения территории Беларуси и других стран. Вы поймете, как менялась со временем радиационная обстановка в пострадавших районах. Вы узнаете, в какой степени были загрязнены воздушная и водная среды, почва,



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

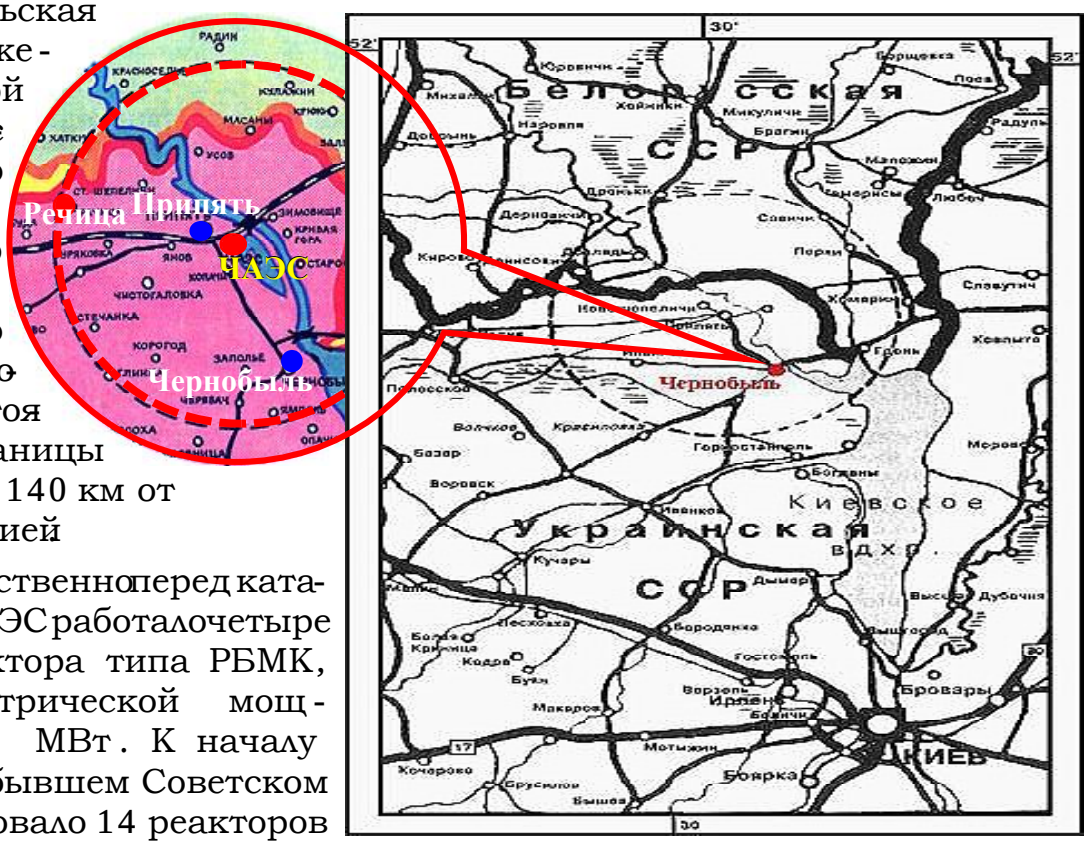
растительность, каковы последствия катастрофы для животного мира. Вы поймете, какие радионуклиды определяли дозу облучения населения в различные периоды времени после катастрофы, узнаете, какие уровни загрязнения пищевых продуктов допустимы в настоящее время в нашей стране.

8.1 *Почему произошла Чернобыльская катастрофа ?*

Атомная электростанция является сложным техническим объектом и, чтобы обеспечить безопасную работу станции, требуется не только высокая квалификация обслуживающего персонала, но и строгое соблюдение условий ее эксплуатации и правил техники безопасности.

Местоположение Чернобыльской АЭС

Чернобыльская АЭС расположена в восточной части Белорусско-Украинского Полесья в 110 км на север от Киева и в 12 км на северо-запад от Чернобыля, на расстоянии 12 км от границы с Беларусью и 140 км от границы с Россией.



Непосредственно перед катастрофой на ЧАЭС работали четыре ядерных реактора типа РБМК, каждый электрической мощностью 1 000 МВт. К началу 1986 года в бывшем Советском Союзе действовало 14 реакторов подобного типа. В реакторах РБМК-1 000 в качестве топлива используют природный уран в виде диоксида урана UO_2, слабо (на 2 %) обогащенный изотопом ^{235}U. В качестве замедлителя нейтронов применяют графит, а в качестве теплоносителя — воду.

Четвертый блок станции, на котором произошла катастрофа, был запущен в декабре 1983 года. После двух лет работы его готовили к остановке для планового ремонта. Воспользовавшись остановкой реактора, дирекция станции приняла решение провести испытания одного из турбогенераторов. Ранее эксперименты, не затрагивающие активную зону реактора, уже дважды проводили на Чернобыльской АЭС. Целью подобного рода

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

испытаний являлось обеспечение безопасной работы энергетического блока АЭС. Однако на этот раз испытания не были согласованы со специалистами по ядерной безопасности.

В ходе эксперимента персонал станции допустил ряд нарушений правил эксплуатации ядерного реактора, отключив систему противоаварийного охлаждения реактора и заблокировав систему его аварийной защиты.

В результате, 26 апреля 1986 года в 01 ч. 23 мин. 40 с по московскому времени началось катастрофически быстрое увеличение мощности реактора.

Вид IV блока ЧАЭС непосредственно после катастрпофы



Последовало два тепловых взрыва, которые привели к пожару и выбросу радиоактивных продуктов из активной зоны реактора в окружающую среду.

В период с 1986 по 1990 год была проведена большая работа по уточнению причин произошедшей катастрофы. Сейчас с точностью до минуты известно о действиях всего персонала, дежурившего на станции в ночь с 25 на 26 апреля, и о тех ошибках, которые привели к трагедии. Расходясь в деталях, специалисты единодушны в одном: причины катастрофы — в техническом несовершенстве конструкций реактора и ошибочных действиях персонала вплоть до нарушения правил его эксплуатации.

Среди основных *недостатков конструкции* реактора выделяют два:

- в системе безопасности не были предусмотрены средства, позволяющие предотвратить аварию при умышленных отключениях автоматического управления работой реактора и нарушениях правил его эксплуатации;
- в конструкции реактора отсутствовали обязательные для всех атомных электростанций внешние стальные и бетонные защитные оболочки.

До сих пор среди специалистов нет единого мнения по поводу того, насколько обоснованы обвинения в адрес персонала станции. Однако, в любом случае, действия персонала не соответствовали требованиям, которые следовало выполнять при проведении испытаний.

По масштабам выброса радиоактивных продуктов и последствиям Чернобыльская катастрофа намного превзошла предыдущие крупные ядерные аварии: в Уиндскейле (Великобритания, 1957 год), на промышленном комплексе «Маяк» (СССР, 1957 год) и в Три Майл Айлэнде (США, 1979 год).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Вначале катастрофа на Чернобыльской АЭС воспринималась как роковая случайность. В наши дни преобладает мнение о неизбежности и даже закономерности случившегося.

8.2 *Как чернобыльские радионуклиды попали в окружающую среду?*

Выброс радиоактивных продуктов из разрушенного реактора Чернобыльской АЭС продолжался примерно 20 суток, причем наиболее интенсивно — в течение первых 10 суток. Перемещение образовавшегося радиоактивного облака определялось направлением ветра, поэтому погодные условия оказали существенное влияние на распространение радиоактивных веществ в окружающей среде. Поскольку выброс был длительным, а метеорологические условия неоднократно менялись, радиоактивные вещества распространялись в различных направлениях.

26 - 27 апреля радиоактивные продукты выпали на территории Украины, Беларуси и России.

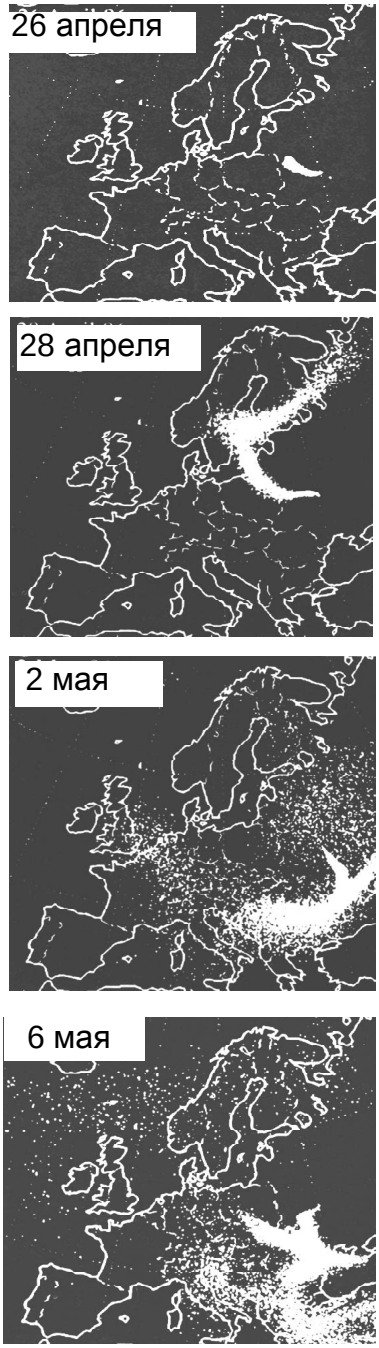
К вечеру *27 апреля* радиоактивное облако достигло Скандинавии. В последующие два дня оно оказалось уже в странах Центральной Европы, а после очередной смены направления ветра — на Балканах. Его влияние проявилось даже в таких далеких от нас странах, как Великобритания, Турция, Израиль.

29 апреля ветер повернул на юг, и радиоактивное облако стало перемещаться в направлении Киева.

После *2 мая* ветер сменился вначале на юго-западный, затем на северо-западный и северный. Это вновь привело к радиоактивному загрязнению территории Беларуси. В начале мая повышенный уровень радиации был зарегистрирован даже в Японии.

Вследствие смены направления воздушных потоков образовалось три радиоактивных следа: *северный, западный* и *южный*. Наиболее загрязненными после чернобыльского выброса оказались территории Беларуси, Украины и России. Территории других стран подверглись радиоактивному загрязнению в значительно меньшей степени.

На формирование выброса радиоактивных веществ и их распространение в окружающей среде существенное влияние оказали физические свойства веществ, находившихся в реакторе.



Распространение радиоактивного облака в период выброса

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- ***Температура плавления (испарения) радиоактивных веществ.***

Чем ниже температура плавления (испарения) вещества, тем легче оно переходит в газообразное состояние. Поэтому вещества с относительно низкой температурой плавления и испарения (соединения йода, цезия, теллура) легче покидали реактор и распространялись на большее расстояние по сравнению с тугоплавкими и трудноиспаряющимися веществами (соединения урана, плутония, церия, циркония).

- ***Размеры и масса радиоактивных частиц***

Распространение *твердых радиоактивных частиц*, образовавшихся в результате взрыва и горения графита, определялось размерами и массой частиц. Чем крупнее и тяжелее были выброшенные из реактора радиоактивные частицы, тем ближе к месту катастрофы они выпадали.

При разгерметизации реактора в атмосферу, в первую очередь, устремились летучие продукты деления ядерного топлива. В их состав входили радиоактивные инертные газы (криптон — ^{85}Kr и ксенон — ^{133}Xe), тритий (^{3}T), радиоактивные нуклиды углерода (^{14}C), йода (^{131}I), цезия (^{134}Cs и ^{137}Cs), теллура (^{132}Te) и других элементов. Одновременно из активной зоны реактора было выброшено измельченное топливо вместе с обломками конструкционных материалов.

В результате горения графита, продолжавшегося на протяжении нескольких суток, температура в активной зоне реактора достигла ~ 2 270 К, а в отдельных местах — 3 300 К, превысив температуру плавления топлива. Это привело к частичному плавлению таких тугоплавких веществ, как соединения церия, циркония, плутония, урана, а также к заметному испарению легкоплавких и летучих соединений.

Температура плавления UO_2 = 3 113 К

Содержание в выбросе летучих веществ, подобных соединениям йода, составило десятки процентов, а труднолетучих, подобных соединениям плутония, — единицы процентов.

Большинство крупных и тяжелых частиц топлива не могло подняться на большую высоту и выпало преимущественно в 30-км зоне Чернобыльской АЭС. Самые легкие вещества (газы и мелкие радиоактивные частицы) поднялись на большую высоту и достигли стратосферы. Медленно оседая, радиоактивные частицы успели несколько раз обогнуть земной шар и распространиться по всему Северному полушарию. Соединения таких элементов, как йод и цезий, распространились на многие сотни и даже тысячи километров от места Чернобыльской катастрофы, что и обусловило ее *глобальный характер*

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Основные радионуклиды, накопившиеся в активной зоне реактора к моменту катастрофы

Группа радионуклидов	Изотоп	Период полураспада	Доля активности радионуклидов в выбросе*, %
Радиоактивные инертные газы	^{133}Xe	5,3 суток	100
Радионуклиды, входящие в состав относительно легкоплавких (летучих) соединений	^{131}I	8,0 суток	38 - 56
	^{134}Cs	2,06 года	24 - 30
	^{137}Cs	30,17 лет	26 - 30
	^{132}Te	3,26 часов	37 - 44
Радионуклиды в составе соединений промежуточной летучести	^{89}Sr	50,6 суток	3,5 - 5,2
	^{90}Sr	28,5 лет	4 - 6
	^{103}Ru	39,4 суток	3,5
	^{106}Ru	367 суток	1 - > 3,5
	^{140}Ba	12,8 суток	3,5 - 5
Радионуклиды в составе тугоплавких (низколетучих) соединений	^{95}Zr	64,0 суток	3,0 - 3,6
	^{99}Mo	2,75 суток	4,4
	^{141}Ce	35,2 суток	3,5 - 3,6
	^{144}Ce	285 суток	3,6 - 4,2
	^{239}Np	2,35 суток	2 - 3,5
	^{238}Pu	87,7 года	3,5
	^{239}Pu	24 100 лет	3,5
	^{240}Pu	6 550 лет	3,5 - 3,7
	^{241}Pu	14,4 года	3,5
	^{242}Cm	162,8 суток	3,5

*В процентах от содержания радионуклидов в реакторе непосредственно перед катастрофой

В результате катастрофы в окружающую среду были выброшены радионуклиды с периодами полураспада от нескольких суток до нескольких десятков тысяч лет.

Непосредственно после катастрофы наибольшую радиационную опасность представляли радионуклиды, выброшенные из реактора в составе легколетучих продуктов деления ядерного топлива (^{85}Kr, ^{133}Xe, ^{3}T, ^{14}C, ^{131}I, ^{134}Cs, ^{137}Cs, ^{132}Te и др.). Особенно опасно было мощное *гамма*-излучение образовавшегося радиоактивного облака.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Йод является биологически важным элементом. Он необходим щитовидной железе для синтеза гормонов.

Уже в первые дни после катастрофы существенный вклад в облучение население вносил радиоактивный йод (в основном изтоп ^{131}I). Радиоактивным йодом были загрязнены обширные территории, включая страны Прибалтики, Венгрию, Грузию.

Во время катастрофы существовала опасность, что оставшееся в реакторе расплавленное ядерное топливо может сконцентрироваться до критической массы и начнется неуправляемая цепная реакция ядерного деления.

Пожар и выброс радионуклидов, а также начало цепной реакции ядерного деления пытались предотвратить, постоянно сбрасывая с вертолетов материалы, поглощающие нейтроны (например, оксид бора), а также вещества, поглощающие тепло (доломит, песок, глина). К сожалению, это не сразу привело к ожидаемым результатам.

Вид IV блока ЧАЭС после строительства саркофага



Прекратить горение графита удалось только к 9 мая. Под реактором был проделан туннель для охлаждения реактора с помощью жидкого азота. Затем была засыпана шахта реактора, что снизило выброс радиоактивных продуктов почти в 100 раз.

Следующим шагом, позволившим уменьшить выброс радиоактивных веществ в окружающую среду, явилось строительство над разрушенным реактором укрытия — саркофага, которое было завершено к ноябрю 1986 года. Однако сложные условия строительства не позволили добиться герметичности конструкции саркофага. Через щели и вентиляционные отверстия радионуклиды в небольших количествах продолжали поступать в окружающую среду.

По оценкам специалистов, примерно 3,5 – 5,0 % общего количества радионуклидов, находившихся в реакторе непосредственно перед катастрофой, было выброшено в окружающую среду.

8.3. *Радиоактивное загрязнение территории Республики Беларусь*

В июле-августе 1986 года на основе данных, полученных специалистами Госкомгидромета, Министерства обороны, Министерства здравоохранения и Академий наук Беларуси, Украины и России, были выпущены первые карты загрязнения территории трех республик бывшего СССР. Вначале эти карты были секретными и предназначались только для правительственных служащих. В мае 1989 года карты были опубликованы в открытой печати и стали доступны широкой общественности.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

По оценкам специалистов , 2/3 радиоактивных веществ аварийного выброса выпало на территории Беларуси.

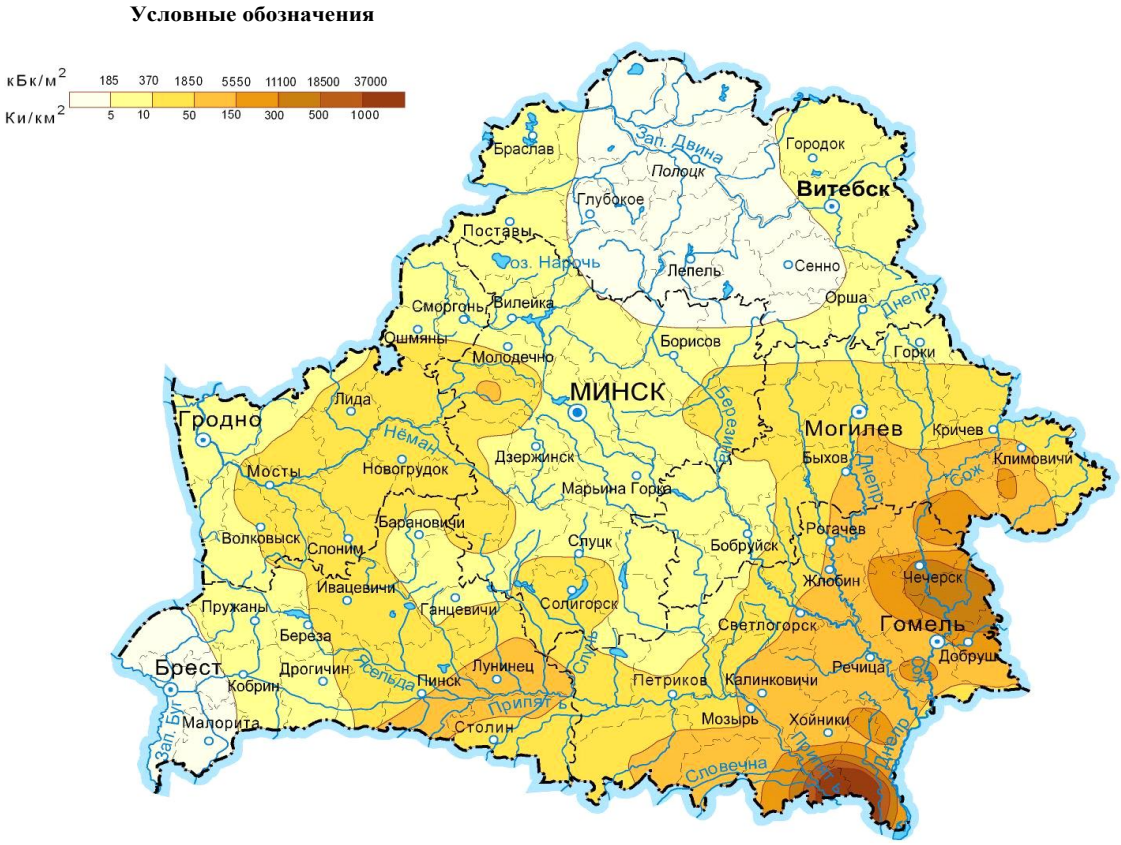
В первые часы катастрофы основной вклад в эффективную дозу облучения населения вносили *гамма-* и *бета-*излучающие радионуклиды, выброшенные из реактора в составе легколетучих продуктов деления ядерного топлива (^{85}Kr, ^{133}Xe, ^{3}T, ^{14}C, ^{131}I, ^{134}Cs, ^{137}Cs, ^{132}Te и др.). Особую опасность представлял мощный поток *гамма-*излучения. В этот период население в зоне катастрофы получило значительные дозы внешнего и внутреннего облучения.

Очень скоро наибольшую радиационную опасность стал представлять радиоактивный йод (в основном ^{131}I, а также ^{132}I, образующийся при распаде ^{132}Te). В первые дни катастрофы вклад ^{131}I в суммарную активность выброшенных радионуклидов достигал 25 %.

^{131}I

Практически вся территория Беларуси в различной степени подверглась загрязнению радиоактивным йодом.

Загрязнение территории Беларуси ^{131}I (1986 год)



В апреле-мае 1986 года наибольшие уровни выпадения ^{131}I отмечались в ближней зоне ЧАЭС: в Брагинском, Хойникском и Наровлянском районах Гомельской области. На территории этих районов загрязнение почвы

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$^{131}I \rightarrow {}^{131}Xe^{*} + b^{-} \rightarrow {}^{131}Xe + g$

$^{131}Xe^{*}$ — ядра атомов ксенона в возбужденном (*метастабильном*) состоянии, из которого они могут самопроизвольно перейти в основное, более устойчивое состояние посредством излучения *гамма*-квантов

$T_{1/2}$ (^{131}I) = 8,0 суток

$T_{1/2}$ ($^{131}Xe^{*}$) = 11,9 суток

^{131}I достигало 37 000 кБк/м^2 (1 000 Ки/км^2) и более. Значительному загрязнению подверглись также юго-западные и северные районы Гомельской области, а также отдельные районы Могилевской и Брестской областей.

При попадании в атмосферный воздух радиоактивный йод становится источником внешнего и внутреннего облучения организма человека.

Как уже отмечалось, йод является важнейшим элементом, необходимым при выработке гормонов щитовидной железой. Почвы многих регионов Беларуси (особенно Полесья) характеризуются пониженным содержанием этого элемента, поэтому у жителей республики нередко наблюдается недостаток йода в организме. При появлении в окружающей среде радиоактивного йода происходит его интенсивное накопление в организме.

Период биологического полувыведения изотопа ^{131}I из организма человека составляет 138 суток

Радиоактивный йод находился в воздухе в аэрозольном состоянии. Оседая на землю, он загрязнял почву, растительность, водоемы. Он поступал в организм человека вместе с вдыхаемым воздухом по цепи «атмосферный воздух — человек», а также с загрязненными продуктами питания, в основном, по цепи «растительный корм — молочный скот — молоко — человек» и накапливался в щитовидной железе.

Дозы облучения, полученные щитовидной железой, зависели от уровня загрязнения местности радиоактивным йодом. Накопление радиоактивного йода в организме людей и облучение щитовидной железы в первые месяцы после катастрофы привели впоследствии к увеличению частоты заболеваемости этого органа.

Период полураспада ^{131}I равен 8,0 суткам, поэтому примерно через 2 месяца после катастрофы выброшенный из реактора радиоизотоп практически полностью распался.

^{137}Cs

Со временем распались и другие короткоживущие нуклиды. Основную опасность стали представлять долгоживущие радионуклиды, в первую очередь, изотоп ^{137}Cs ($T_{1/2}$ = 30 лет). Соединения цезия, как правило, легкоплавки и легколетучи, поэтому загрязнение радиоактивным цезием затронуло многие страны Европы.

$^{137}Cs \rightarrow {}^{137}Ba^{*} + b^{-} \rightarrow {}^{137}Ba + g$

$^{137}Ba^{*}$ — ядра атомов бария в возбужденном (*метастабильном*) состоянии, из которого они могут самопроизвольно перейти в основное, более устойчивое состояние.

$T_{1/2}$ (^{137}Cs) = 30,17 лет

$T_{1/2}$ ($^{137}Ba^{*}$) = 2,55 мин.

Распад ^{137}Cs сопровождается испусканием *бета*- и *гамма*-излучения. ^{137}Cs является основным источником внешнего облучения населения, а при попадании в организм служит источником внутреннего облучения органов и тканей. В первые годы после катастрофы

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

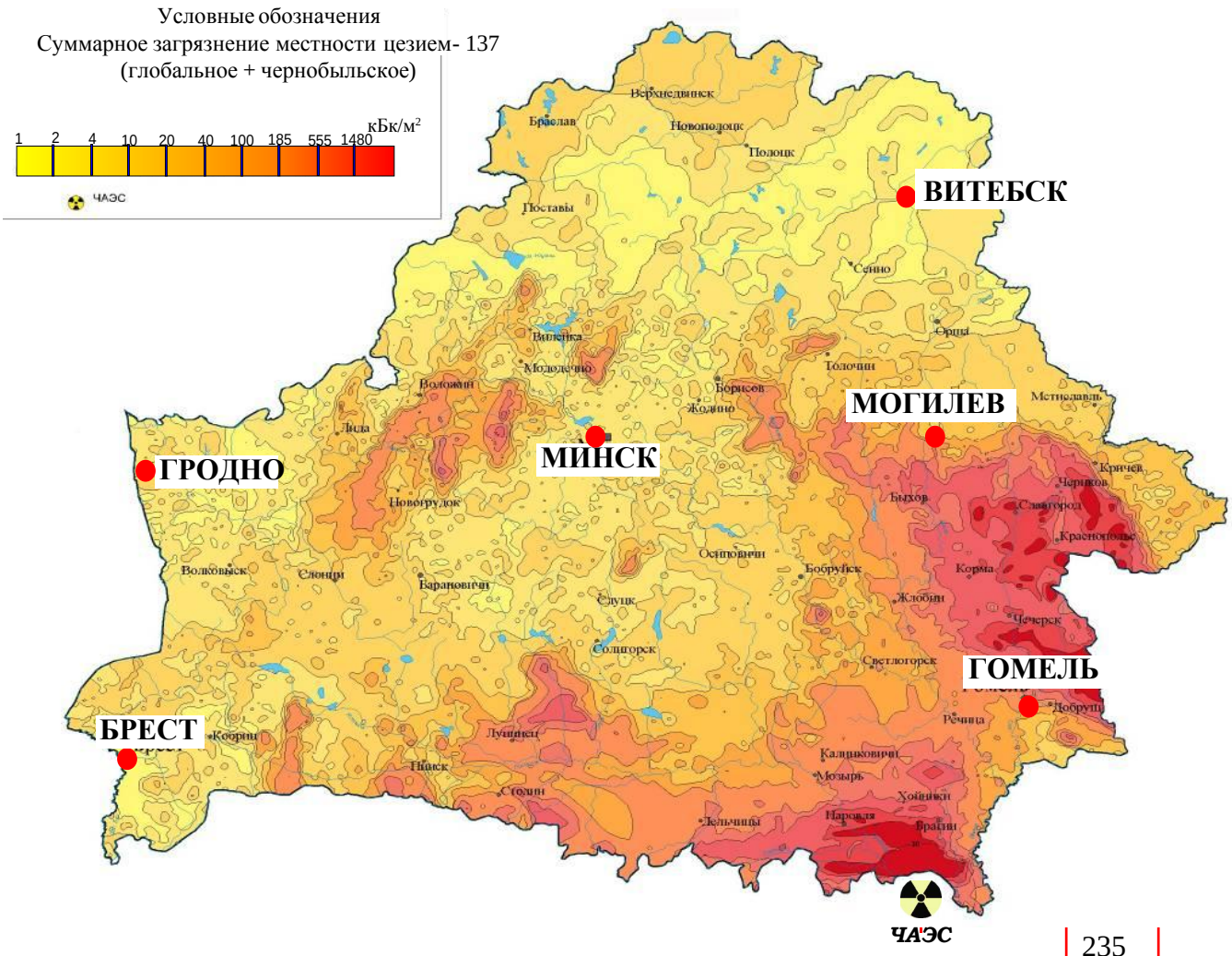
существенную роль в формировании дозы облучения населения одновременно с ^{137}Cs играл и короткоживущий *гамма*-излучающий нуклид ^{134}Cs ($T_{1/2}$ = 2,06 года).

Цезий является щелочным элементом и по своим химическим свойствам подобен калию, участвующему во многих жизненно важных процессах. При попадании в организм радиоактивный цезий способен замещать калий и вместе с ним включаться в процессы обмена веществ. Это приводит к распределению радиоактивного цезия по всему организму человека и внутреннему облучению органов и тканей

Первоначально вклад радионуклидов цезия в дозу облучения населения был невелик. Лишь около 10 % дозы внешнего облучения было обусловлено радиоактивным цезием. После распада короткоживущих радионуклидов, в том числе ^{134}Cs, основной вклад в дозу внешнего и внутреннего облучения населения стал вносить долгоживущий радиоизотоп ^{137}Cs.

Около 35 % ^{137}Cs, выпавшего в Европе в результате Чернобыльской катастрофы, осело на территории Беларуси

Загрязнение территории Беларуси ^{137}Cs (1986 год)



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

В пределах республики выделяется четыре пятна, где радиоактивное загрязнение представлено преимущественно ^{137}Cs:

- *центральное* (западнее и северо-западнее Минска),
- *юго-западное* (южная часть Припятского Полесья),
- *восточное* (север Гомельской области и юг Могилевской области),
- *юго-восточное* (южные и юго-восточные районы Гомельской области).

Радиоактивному загрязнению ^{137}Cs подверглись Гомельская и Могилевская области, 10 районов Минской области, 6 районов Брестской, 6 районов Гродненской и 1 район Витебской области. На 23 % всей площади республики плотность загрязнения этим радиоизотопом оказалась выше 37 кБк/м² (1 Ки/км²). При этом, в некоторых местах максимальный уровень загрязнения достигал 60 000 кБк/м² (1 600 Ки/км²). В качестве сравнения отметим, что площади с плотностью загрязнения по ^{137}Cs более 37 кБк/м² в Украине составляют 5 %, а в России — 1,5 % территории этих стран.

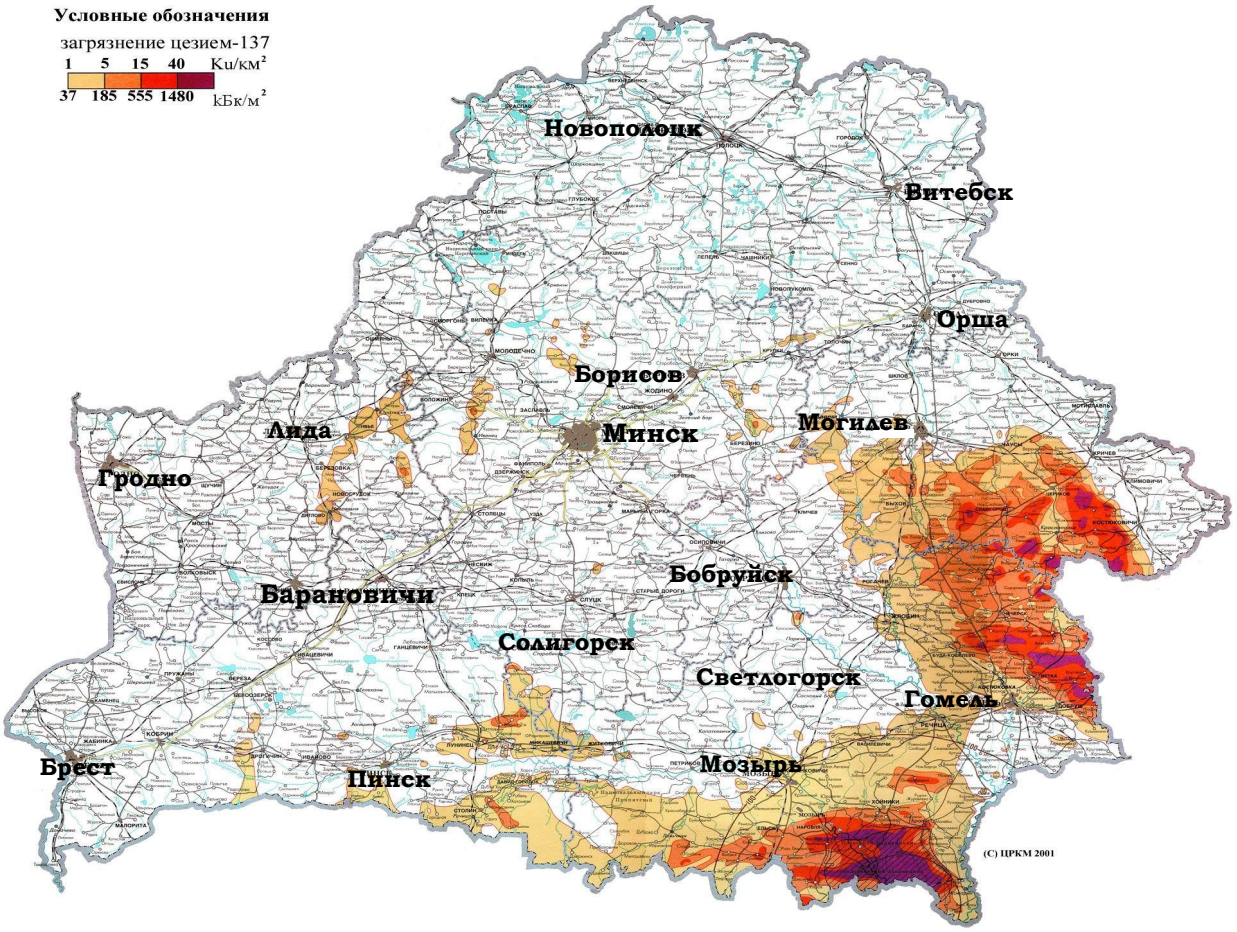
До катастрофы территория Беларуси уже была загрязнена ^{137}Cs глобальных выпадений в результате испытаний ядерного оружия. Плотность загрязнения составляла 1,5 – 3,7 кБк/м² (0,04 – 0,1 Ки/км²).

Непосредственно после катастрофы в пострадавших регионах республики было расположено более 3 600 населенных пунктов (в том числе 27 городов), в которых проживало 2,2 млн. человек, то есть свыше 1/5 всего населения Беларуси. В целом, последствия Чернобыльской катастрофы для Беларуси оказались более сложными и тяжелыми по сравнению с последствиями для России и даже для Украины.

С течением времени в результате распада радионуклидов уровень загрязнения территории республики ^{137}Cs снизился. В январе 2001 года площадь загрязнения ^{137}Cs с уровнем выше 37 кБк/м² (1 Ки/км²) составляла 21 % территории Беларуси, максимальная плотность загрязнения снизилась до величины 37 000 кБк/м² (1 000 Ки/км²).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Загрязнение территории Беларуси ^{137}Cs (2001 год)



В настоящее время в зависимости от характера радиоактивного загрязнения местности, наряду с ^{137}Cs, определенный вклад в дозу облучения населения могут вносить и другие долгоживущие радионуклиды . В основном это ^{90}Sr, а также изотопы трансурановых элементов, выпавшие в составе так называемых «*горячих*» топливных частиц, и продукты их распада.

^{90}Sr

$^{90}Sr \rightarrow {}^{90}Y + \beta^-$

$T_{1/2}$ (^{90}Y) = 64,1 часа

^{90}Sr ($T_{1/2}$ = 28,6 лет) является *бета*–излучателем, его вклад в формирование дозы внешнего облучения сравнительно небольшой. Основную опасность он представляет при попадании внутрь организма.

Установлено , что радиоактивный стронций относительно легко поступает из почвы в природные воды, растения и попадает в организмы животных и человека преимущественно с продуктами питания.

«*Горячие* » частицы — это частицы высокой удельной активности. К ним относятся

- выброшенные из реактора частицы измельченного топлива (*топливные* частицы),
- частицы, образовавшиеся в результате испарения и последующей конденсации паров летучих радиоактивных веществ на частицах тугоплавких материалов — топлива, конструкционных и других материалов (*конденсационные* частицы).

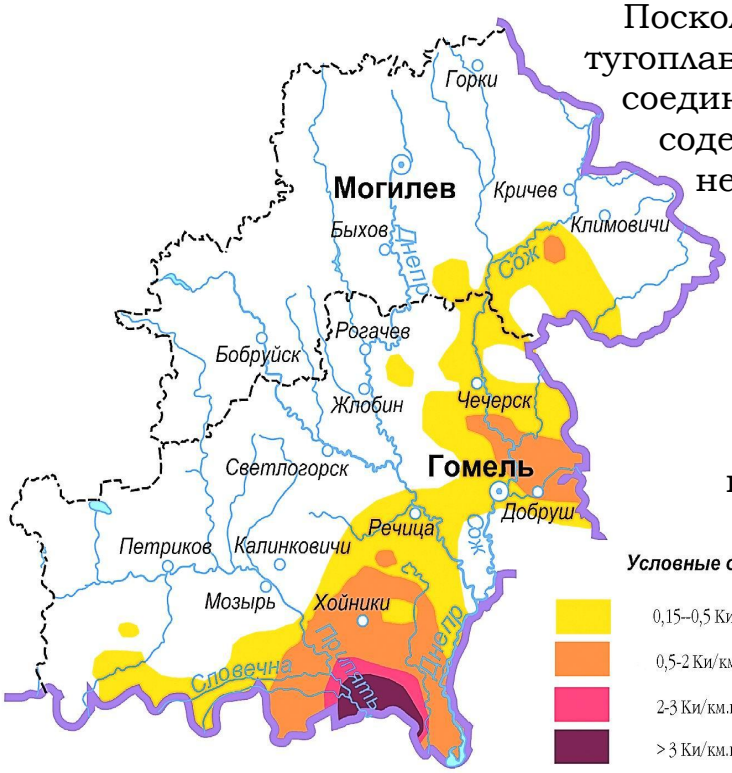
Крупные и тяжелые *топливные* частицы выпали вблизи ЧАЭС, а легкие *конденсационные* частицы распространились на большие расстояния от места катастрофы.

В природных условиях « горячие » частицы постепенно разрушались, и в настоящее время их можно обнаружить лишь в непосредственной близости от места катастрофы.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Стронций является щелочноземельным элементом и по своим химическим свойствам подобен кальцию. Радиоактивный стронций может замещать кальций в костной ткани и других тканях организма человека.

Загрязнение территории Беларуси ^{90}Sr (2001 год)



Поскольку соединения стронция более тугоплавки и менее летучи по сравнению с соединениями цезия, продукты выброса, содержащие радионуклиды стронция, не могли распространяться на большие расстояния от места катастрофы. Поэтому загрязнениетерритории ^{90}Sr носит более локальный характер по сравнению с загрязнением ^{137}Cs.

Основная часть радиоактивного стронция сосредоточена в 30-км зонеЧАЭС Площади, загрязненные этим радионуклидом с уровнем выше 5,5 кБк/м² (0,15Ки/км²), занимают примерно 10 % территории республики. Они расположены в Гомельской и Могилевской областях.

В 1986 году в пределах 30-км зоны ЧАЭС (Хойникский район Гомельской области) плотность загрязнения местности ^{90}Sr в некоторыхместах достигала1 800кБк/м² (50 Ки/км²). Для сравнения: перед катастрофой в начале апреля 1986 года плотность загрязнения почвы ^{90}Sr глобальных выпадений в результате испытаний ядерного оружия составляла 1,2 кБк/м² (0,03 Ки/км²).

ТУЭ

Наряду с цезием и стронцием серьезную опасность для человека представляют долгоживущие трансурановые элементы (ТУЭ): изотопы ^{238}Pu, ^{239}Pu, ^{240}Pu, ^{241}Pu и ^{241}Am. Многие изотопы трансурановых элементов являются *альфа*-излучателями и, в основном, влияют на формирование дозы внутреннего облучения человека. При этом наибольшую опасность представляет их ингаляционное поступление в организм вместе с вдыхаемым воздухом.

Попадание трансурановых элементов в организм с пищей, как правило, не столь существенно, поскольку эти элементы входят в состав малорастворимыхсоедине-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

ний и отличаются низкой подвижностью и биологической доступностью. Обычно, они в незначительных количествах переходят их почвы в растительность и далее по пищевым цепочкам в организм животных и человека.

В результате катастрофы на ЧАЭС тугоплавкие соединения трансурановых элементов выпали преимущественно в радиусе 30–км от ЧАЭС. По сравнению со ^{90}Sr, загрязнение территории изотопами этих элементов носит еще более локальный характер.

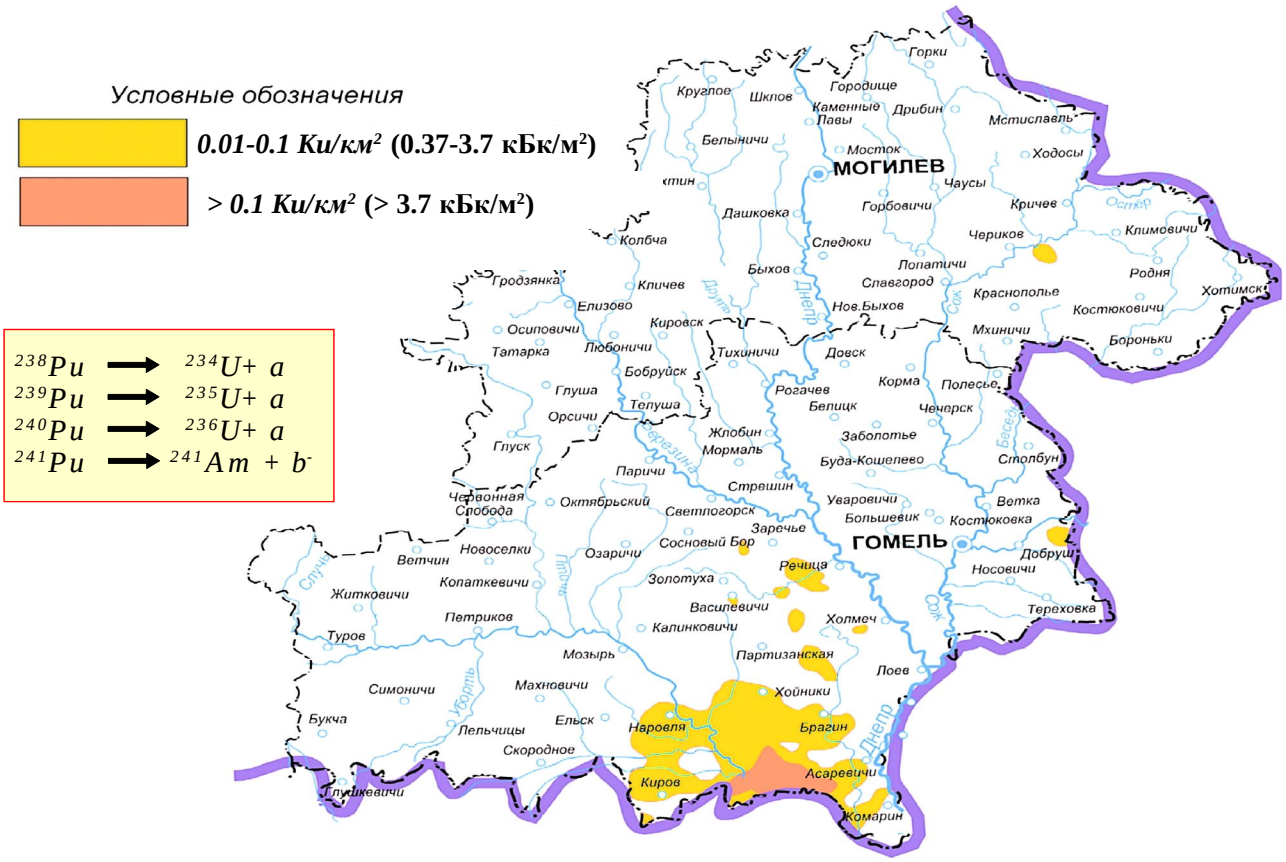
Площади с плотностью загрязнения изотопами плутония ^{238}Pu, ^{239}Pu и ^{240}Pu, превышающей 0,37 кБк/м^2 (0,01 Ки/км^2), занимают примерно 2 % территории Беларуси.

Трансурановые элементы (***ТУЭ***) — элементы, расположенные в периодической системе за ураном.

Основные ТУЭ чернобыльского выброса, присутствующие в настоящее время на территории Беларуси:

^{238}Pu, $T_{1/2}$ = 87,7 года
^{239}Pu, $T_{1/2}$ = 24 100 лет
^{240}Pu, $T_{1/2}$ = 6 550 лет
^{241}Pu, $T_{1/2}$ = 14,4 года

Загрязнение территории Беларуси ^{238}Pu, ^{239}Pu и ^{240}Pu (2001 **год**)



Соединения трансурановых элементов выпали на территории Брагинского, Наровлянского, Хойникского, Речицкого, Добрушского и Лоевского районов Гомельской области и Чериковского района Могилевской области. Самые высокие уровни загрязнения плутонием (более 111 кБк/м^2 или 3 Ки/км^2) обнаружены в пределах 30-км зоны ЧАЭС в Хойникском районе Гомельской области. Для сравнения: до катастрофы в начале апреля 1986 года плотность загрязнения почвы ^{239}Pu и ^{240}Pu в результате испытаний ядерного оружия составляла 55 Бк/м^2 (0,002 Ки/км^2), а ^{238}Pu — 1,5 Бк/м^2 (0,0004 Ки/км^2).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$^{241}Pu \rightarrow {}^{241}Am + b^-$

$T_{1/2}(^{241}Pu) = 14{,}4$ года
$T_{1/2}(^{241}Am) = 432{,}3$ года

$^{241}Am \rightarrow {}^{237}Np + a$

После катастрофы около 46 % активности выпавших изотопов плутония приходилось на *бета*-излучающий ^{241}Pu. Радиоактивный распад этого изотопа приводит к образованию *альфа*-излучающего ^{241}Am. Со временем количество ^{241}Pu уменьшается, а ^{241}Am — наоборот, увеличивается. В 2006 году активности этих нуклидов сравняются. По оценкам специалистов, содержание америция достигнет максимальной величины к 2058 году.

В соответствии со статьей 4 Закона «О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению после катастрофы на Чернобыльской АЭС», территория Республики Беларусь разделена на 5 зон в зависимости от уровня радиоактивного загрязнения почв и величины среднегодовой эффективной дозы облучения населения от чернобыльских радионуклидов.

1. Зона эвакуации (отчуждения)

1. Территория, прилегающая к ЧАЭС (в основном, в радиусе 30-км), с которой в 1986 году в соответствие с существующими нормами радиационной безопасности было эвакуировано население;

Позже на территории Беларуси в этой зоне был создан Полесский Государственный радиационно –экологический заповедник для наблюдения за состоянием природной среды в условиях радиоактивного загрязнения.

2. Территория, с которой проведено дополнительное отселение людей и где

уровни радиоактивного загрязнения составляют

- по ^{90}Sr — более 111 кБк/м^2 (3 Ки/км^2);
- по ^{238,239,240}Pu — более 3,7 кБк/м^2 (0,1 Ки/км^2).

2. Зона первоочередного отселения

Территория с уровнем радиоактивного загрязнения:

- по ^{137}Cs — 1 480 кБк/м^2 (40 Ки/км^2) и более;
- по ^{90}Sr — 111 кБк/м^2 (3 Ки/км^2) и более;
- по ^{238,239,240}Pu — 3,7 кБк/м^2 (0,1 Ки/км^2) и более.

3. Зона последующего отселения

Территория с уровнем радиоактивного загрязнения:

- по ^{137}Cs — от 555 до 1480 кБк/м^2 (от 15 до 40 Ки/км^2);
- по ^{90}Sr — от 74 до 111 кБк/м^2 (от 2 до 3 Ки/км^2);
- по ^{238,239,240}Pu — от 1,85 до 3,7 кБк/м^2 (от 0,05 до 0,1 Ки/км^2).

Среднегодовая эффективная доза облучения населения — может превышать 5 мЗв/год.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

4. Зона с правом на отселение

Территория с уровнем радиоактивного загрязнения:

- по ^{137}Cs — от 185 до 555 кБк/м² (от 5 до 15 Ки/км²);
- по ^{90}Sr — от 18,5 до 74 кБк/м² (от 0,5 до 2 Ки/км²);
- по $^{238,239,240}Pu$ — от 0,74 до 1,85 кБк/м² (от 0,02 до 0,05 Ки/км²).

Среднегодовая эффективная доза облучения населения — может превышать 1 мЗв/год.

5. Зона проживания с периодическим контролем

Территория с уровнем радиоактивного загрязнения:

- по ^{137}Cs — от 37 до 185 кБк/м² (от 1 до 5 Ки/км²);
- по ^{90}Sr — от 5,55 до 18,5 кБк/м² (от 0,15 до 0,5 Ки/км²);
- по $^{238,239,240}Pu$ — от 0,37 до 0,74 кБк/м² (от 0,01 до 0,02 Ки/км²).

Среднегодовая эффективная доза облучения населения — не должна превышать 1 мЗв/год.

В результате длительного выброса из реактора радиоактивных продуктов и меняющихся погодных условий в этот период загрязнение территории республики оказалось чрезвычайно неравномерным. Даже в разных местах одного и того же населенного пункта уровень радиоактивного загрязнения может сильно отличаться.

Последствия катастрофы на ЧАЭС для нашей страны оказались настолько серьезными, что Верховный Совет Республики Беларусь в июле 1990 года объявил территорию Беларуси *зоной экологического бедствия*. Государство до сих пор принимает меры по преодолению последствий Чернобыльской катастрофы. В основном, эти меры направлены на ограничение облучения населения, а также на уменьшение экологических и экономических последствий катастрофы.

Чтобы лучше понять, с какими трудностями пришлось столкнуться населению республики, рассмотрим, к какому загрязнению природной среды привела Чернобыльская катастрофа.

8.4. *Радиоактивное загрязнение воздушной и водной сред*

В апреле-мае 1986 года после катастрофы на Чернобыльской АЭС радиоактивное загрязнение воздуха на всей территории Беларуси многократно возросло по сравнению с доаварийным уровнем. Воздух был обогащен наиболее летучими радиоактивными продуктами, главным образом, радионуклидами йода (^{131}I) и цезия

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Допустимые для населения среднегодовые объемные активности радионуклидов во вдыхаемом воздухе:

^{131}I – 7,3 Бк/м^3

^{137}Cs – 27 Бк/м^3

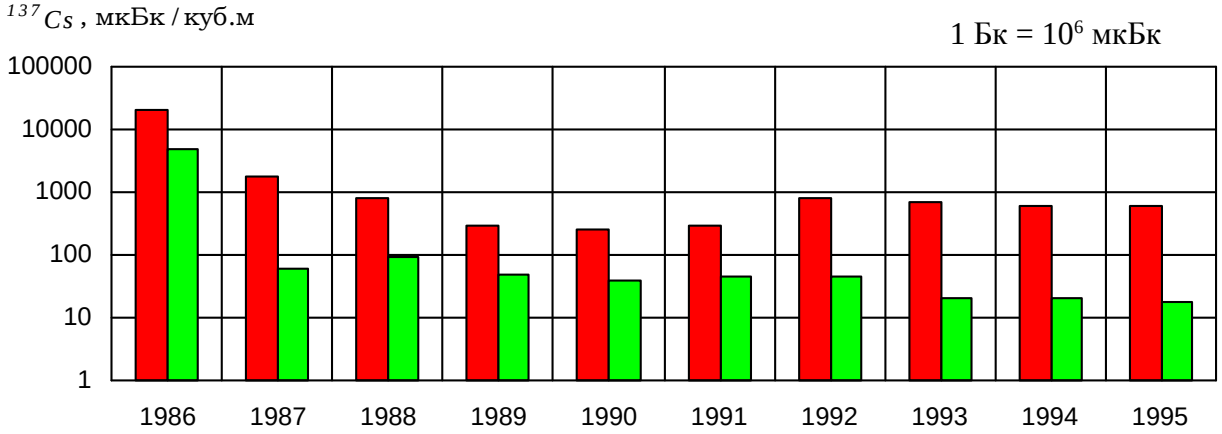
$^{239,240}Pu$ – 0,002 Бк/м^3

(^{137}Cs и ^{134}Cs). В первые дни и недели катастрофы в пробах воздуха, отобранных на прилегающей к АЭС территории, были также обнаружены ^{239}Np, ^{99}Mo, ^{132}Te, ^{125}Sb, ^{110m}Ag, ^{140}Ba, ^{140}La, ^{141}Ce, ^{103}Ru, ^{95}Zr, ^{95}Nb, ^{144}Ce, ^{106}Ru, ^{89}Sr, ^{90}Sr, ^{90}Y.

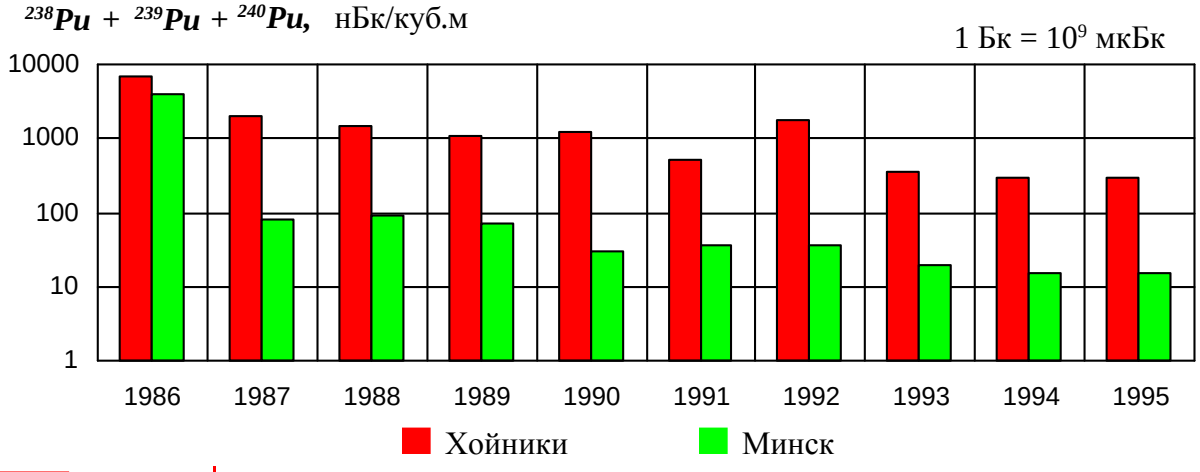
Максимальные концентрации радионуклидов в воздухе наблюдали 27 – 28 апреля 1986 года. Даже в Березинскомзаповеднике, расположенномна расстоянии 400 км севернее Чернобыля, удельная активностьвоздуха по ^{131}I в эти дни достигала 150 – 200 Бк/м^3, по ^{137}Cs — 9,9 Бк/м^3, по $^{239,240}Pu$ — 0,0007 мБк/м^3.

В результатекатастрофысодержаниерадионуклидов в воздухе в районах, прилегающих к АЭС, возросло в миллионы раз, а на остальной территории Республики — в тысячи раз по сравнению с 1985 годом. Загрязнение воздуха начало заметно уменьшаться во второй половине мая 1986 года. Быстрое снижение продолжалосьдо конца 1986 года, а затем темпы его резко упали.

Среднегодовое содержание ^{137}Cs в приземном воздухе городов Хойники и Минск после Чернобыльской катастрофы



Среднегодовое содержание изотопов плутония ^{238}Pu, ^{239}Pu и ^{240}Pu в приземном воздухе городов Хойники и Минск после Чернобыльской катастрофы



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

В основном, содержание радионуклидов в воздухе уменьшалось за счет распада короткоживущих радионуклидов, в том числе ^{131}I, а также в результате оседания выброшенных в атмосферу радиоактивных частиц на земную поверхность.

В настоящее время радиоактивное загрязнение воздуха в большинстве населенных пунктов Беларуси практически такое же, как до катастрофы . Более высокие уровни загрязнения воздуха отмечаются лишь в зоне отчуждения и на прилегающих к ней территориях.

Уровень загрязнения воздуха зависит от множества факторов , важнейшими из которых являются следующие:

- уровень загрязнения почвы и содержание в ней мелких частиц, поднимаемых ветром;
- характер растительного покрова;
- хозяйственная деятельность человека;
- природные явления (засуха , пылевые бури , пожары).

Так, по мере увеличения степени запыленности приземного слоя воздуха содержание в нем радионуклидов возрастает. В свою очередь, запыленность воздуха повышается с увеличением в почве содержания легких пылевидных частиц, поднимаемых в воздух воздушным потоком или в результате хозяйственной деятельности человека.

Наибольшую опасность представляет попадание в воздух вместе с пылью *альфа*–излучающих изотопов трансурановых элементов, которые через дыхательные пути могут поступать в организм человека. Даже в районах с относительно низкими уровнями загрязнения почв трансурановыми элементами в период проведения сельскохозяйственных работ локальная объемная активность плутония в воздухе может повышаться до 0,01 Бк/м^3, а вблизи источников пылеобразования (работающая сельскохозяйственная техника, движущийся автотранспорт) — до 0,08 Бк/м^3.

Уровень радиоактивного загрязнения воздуха может увеличиваться и при сжигании в печах загрязненного радионуклидами топлива.

При зарастании территории растительностью запыленность воздуха снижается, причем тем в большей степени, чем обильнее и плотнее растительный покров.

Предельно допустимое поступление в организм человека *альфа*-излучающих изотопов плутония (^{239}Pu и ^{240}Pu) с воздухом составляет *20 Бк в год (НРБ-2000).*

Объем вдыхаемого воздуха у взрослого человека составляет, в среднем *8 000 м^3/год*

При объемной активности воздуха *0,08 Бк/м^3* активность *альфа*-излучающих изотопов плутония, поступающих в организм человека, составляет *640 Бк в год*, что значительно превышает предельно допустимый уровень.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

На радиоактивное загрязнение воздуха заметно влияют стихийные природные явления: пылевые бури, лесные и торфяные пожары. Во время таких событий радиоактивные вещества могут переноситься на большие расстояния.

Загрязнение поверхностных водоемов

Перераспределение радионуклидов в природных системах во многом зависит от уровня загрязнения *поверхностных водоемов* (рек, озер и др.). Начальное загрязнение поверхностных водоемов произошло в результате выпадения на водную поверхность радиоактивных продуктов, выброшенных в атмосферу из разрушенного реактора. В дальнейшем радиоактивные вещества смывались в водоемы с водосборных территорий, питающих реки, озера, водохранилища.

Особенно важную роль в переносе радионуклидов играют *реки*. Наибольшему радиоактивному загрязнению в результате Чернобыльской катастрофы подверглись Днепр, Сож и Припять, в меньшей степени — Неман и Западная Двина.

Республиканские допустимые уровни (РДУ-99) содержания радионуклидов в воде:
^{137}Cs – 10 кБк/м^3
^{90}Sr – 0,37 кБк/м^3

До Чернобыльской катастрофы содержание ^{90}Sr в воде р. Припять составляло 0,0033 – 0,0085 кБк/м^3, а ^{137}Cs — 0,005 – 0,010 кБк/м^3. В первые дни после катастрофы суммарная *бета*-активность воды в р. Припять в районе ЧАЭС превышала 3 000 кБк/м^3, и только к концу мая 1986 года она снизилась до 150 – 200 кБк/м^3. Максимальная концентрация ^{239}Pu в воде Припяти составляла 0,37 кБк/м^3.

Перенос радионуклидов в водоемах происходит как в растворенном виде, так и на частицах взвесей, которые удерживают радионуклиды.

Воды рек и проточных озер, благодаря постоянной смене воды и оседанию взвешенных радиоактивных частиц на дно водоема, обладают способностью к самоочищению. При этом радиоактивные продукты накапливаются в донных отложениях.

В периоды половодий происходит обратный процесс — донные осадки взмучиваются и переходят во взвешенное состояние. При этом уровень радиоактивного загрязнения воды увеличивается. Например, в отдельные годы в реке Брагинка (у г. Брагина) в такие периоды удельная активность воды по ^{137}Cs возрастала с 0,26 до 0,33 кБк/м^3, а по ^{90}Sr — с 0,09 до 0,17 кБк/м^3.

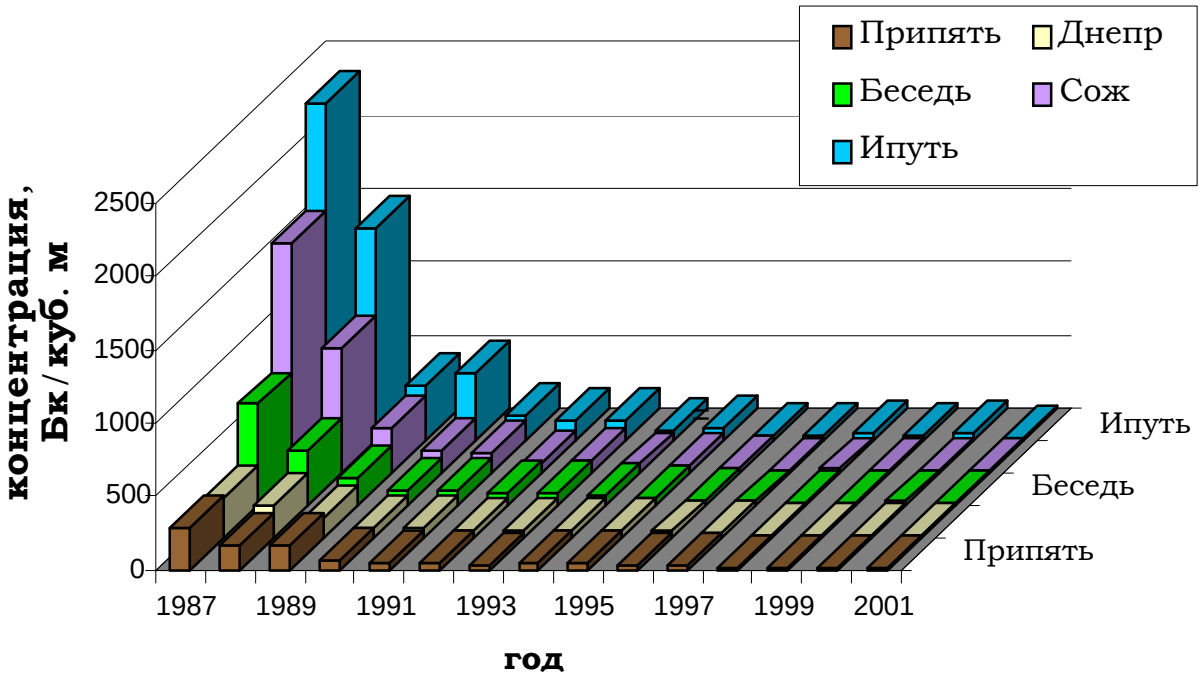
Концентрация радионуклидов в речной воде зависит от количества воды, которое переносится рекой. Чем больше объем воды в реке, тем ниже концентрация радионуклидов в речной воде. В 2000 году в засушливый летний период уровень воды в некоторых реках Беларуси

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

был ниже среднего многолетнего уровня, поэтому концентрация ^{137}Cs в речных водах заметно увеличилась.

За годы, прошедшие после катастрофы, содержание ^{137}Cs в больших и средних реках Беларуси значительно снизилось. Это связано с уменьшением уровня загрязнения водосборных территорий в результате распада ^{137}Cs, и с уменьшением смыва радионуклида с этих территорий в речные воды.

Изменение среднегодового содержания ^{137}Cs в реках Беларуси



В настоящее время содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в водах рек не превышает Республиканских допустимых уровней (РДУ-99). Лишь в периоды половодий возможно превышение этих уровней на территориях с высокой плотностью радиоактивного загрязнения.

Существенный вклад в радиоактивное загрязнение водоемов вносят донные отложения и гидробионты — водные организмы растительного и животного происхождения. Как правило, самыми загрязненными являются *донные отложения*. По уровню радиоактивного загрязнения *гидробионты* уступают им. Самым чистым компонентом водоема является *вода*.

В замкнутых и *слабопроточных озерах*, расположенных на загрязненных территориях, концентрации в воде ^{137}Cs и ^{90}Sr и запас радионуклидов в донных отложениях больше, чем в реках, протекающих на этих территориях. Значительную роль в накоплении радионуклидов в таких водоемах играет смыв радиоактивных продуктов с водосборных территорий.

Замкнутые (непроточные) водоемы — это водоемы, не имеющие впадающих и вытекающих ручейков или рек, за счет которых происходит смена воды в водоеме.

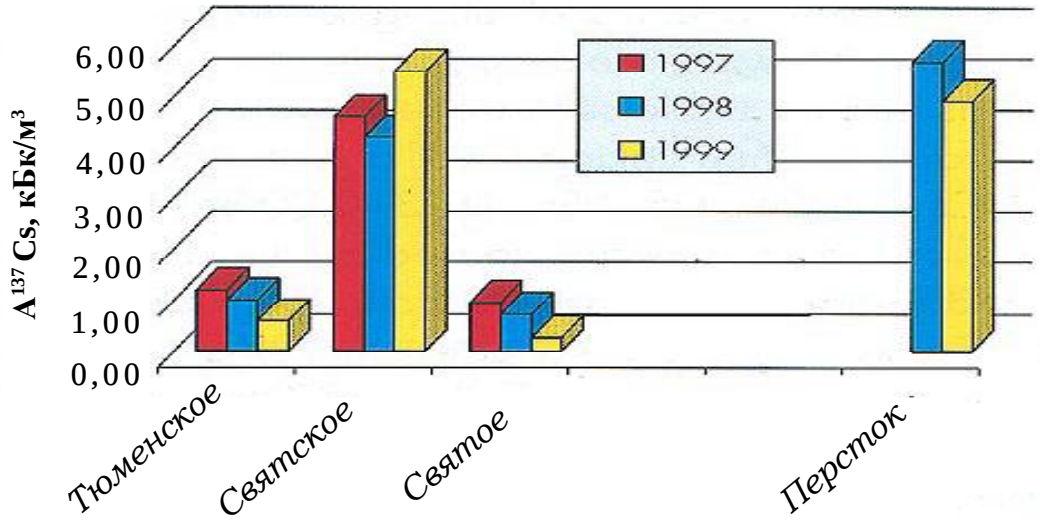
Слабопроточные водоемы — это водоемы, имеющие впадающие и вытекающие ручейки или реки, но которые обеспечивают настолько слабый приток и отток воды, что смена воды происходит лишь в незначительной степени.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Замкнутые и слабопроточные озера могут вносить заметный вклад в формирование дозы облучения населения, поскольку обычно являются зонами отдыха и рыболовства.

За первые 3 – 4 года после Чернобыльской катастрофы уровень радиоактивного загрязнения озерных вод резко снизился в результате распада короткоживущих радионуклидов, а также за счет закрепления радиоактивного цезия на взвешенных в воде частицах, вместе с которыми он оседал на дно водоемов.

Изменение среднегодовой активности ^{137}Cs в воде белоруссих озер (кБк/м^3)



Озеро Перстук расположено в 30-км зоне ЧАЭС на территории с уровнем загрязнения по ^{137}Cs 3 700 кБк/м^2 (100 Ки/км^2)

Остальные озера расположены на территории с уровнями загрязнения ^{137}Cs:

Тюменское — 480 кБк/м^2 (13 Ки/км^2)
Святое — 1 370 кБк/м^2 (37 Ки/км^2)
Святское — 770 кБк/м^2 (21 Ки/км^2)

Фитопланктон — совокупность микроскопических растительных организмов (главным образом, водорослей), обитающих в толще вод и передвигающихся под влиянием водных течений.

В непроточных озерах отмечается периодическое накопление радионуклидов в водной растительности (включая фитопланктон), которая ежегодно отмирает. Продукты разложения оседают на дно озера. Все это приводит к значительному накоплению радионуклидов в донных отложениях — до 90 % ^{137}Cs и 70 – 90 % ^{90}Sr от их содержания в озере.

В настоящее время на территории Гомельской и Могилевской областей удельная активность озерной воды по ^{137}Cs в верхнем 20-см слое находится в пределах от 0,2 до 7,2 кБк/м^3 и не превышает РДУ.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

В мелководных озерах, благодаря постоянному перемешиванию воды, радиоактивный цезий распределяется по объему воды равномерно. В глубоких озерах, где вода слабо перемешивается, температура, химический состав примесей, концентрация радионуклидов, а также другие характеристики воды заметно меняются с глубиной. Такие озера называют *стратифицированными*.

В летний период концентрация радиоактивного цезия в них увеличивается от поверхности ко дну водоема. Например, в стратифицированном озере Святское, расположенном в Ветковском районе Гомельской области, на территории с плотностью загрязнения по ^{137}Cs 550 кБк/м^2 (15 Ки/км^2), уровень загрязнения поверхностного слоя воды этим радиоизотопом составляет 6,2 кБк/м^3, а придонного — 8,6 кБк/м^3 (ниже РДУ-99).

В настоящее время лишь в озерах, расположенных на территории с высокой плотностью загрязнения (например, в озере Рославское, расположенном на территории с плотностью загрязнения ^{137}Cs 1 480 кБк/м^2 или 40 Ки/км^2), удельная активность воды превышает Республиканские допустимые уровни (РДУ-99) по ^{137}Cs.

На всех загрязненных территориях уровень загрязнения поверхностных вод уже практически стабилен и мало меняется год от года. Однако в периоды, связанные с экстремальными ситуациями (засухи, паводки, обильные дожди), может происходить заметное изменение удельной активности поверхностных вод.

Содержание радионуклидов в *подземных водах*, которые являются источником питьевого и хозяйственного водоснабжения в нашей республике, как правило, не превышает Республиканских допустимых уровней.

8.5. Поведение чернобыльских радионуклидов в почве

Радиоактивные вещества при попадании на земную поверхность взаимодействуют с компонентами окружающей среды, и радионуклиды включаются в процессы природного круговорота химических элементов.

Радионуклиды, присутствующие в почве, могут усваиваться растениями и включаться в процессы перераспределения по пищевым цепям (например, почва – растение – животное – человек). Они могут поступать в почвенные воды, смываться дождевыми, талыми и паводковыми водами в реки, озера и другие водоемы. В составе почвенных частиц радионуклиды могут подниматься ветром и загрязнять приземные слои атмо-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

сферы. В процессе перераспределения может изменяться как химическое, так и физическое состояние соединений, содержащих радионуклиды. Например, из состава веществ, находящихся в твердом состоянии, радионуклиды могут переходить в водные растворы и вместе с ними перемещаться в почве или усваиваться растениями. И, наоборот, из растворов радионуклиды могут переходить в состав нерастворимых соединений, т. е. включаться в состав твердой фазы почвы.

Процессы перемещения содержащихся в почве радионуклидов в вертикальном или горизонтальном направлениях называют *миграцией радионуклидов*.

Перемещение радионуклида в вертикальном направлении называют *вертикальной миграцией*, а в горизонтальном направлении — *горизонтальной миграцией*.

Вертикальная миграция

К *вертикальному* перераспределению радионуклидов в почве могут приводить самые разнообразные процессы:

- перенос радионуклидов вглубь почвы вместе с атмосферными осадками под действием силы тяжести;
- перемещение растворов радионуклидов в мелких порах почвы под действием капиллярных сил;
- диффузионные процессы;
- миграция по корневым системам растений;
- деятельность почвенных животных;
- хозяйственная деятельность человека (перепахивание почвы и т. п.).

Горизонтальная миграция

Горизонтальная миграция может происходить при переносе радионуклидов воздушными и водными потоками.

Перемещаясь с воздушным потоком, радиоактивные вещества в другом месте вновь оседают на земную поверхность. Мелкие частицы почвы начинают подниматься в воздух при достижении критического значения скорости ветра: 5 – 6 м/с — для минеральных почв, 8 - 9 м/с — для осушенных торфяников.

Ветровая эрозия — это разрушение почвы под действием силы ветра. В результате, происходит выдувание из почвы отдельных частиц, которые переносятся воздушным потоком и оседают в другом месте.

В среднем, на радиоактивно загрязненных территориях Беларуси до 21 % дней в году дуют ветры со скоростью, превышающей 5 м/с. Почвы, подверженные ветровой эрозии, занимают в республике свыше 20 % пахотных угодий. Наибольший перенос радионуклидов таким путем отмечается в весенне-летний период. Максимальное накопление радиоактивных продуктов при переносе воздушными потоками наблюдается в мес-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

тах, где резко меняется скорость ветра — на дне долин, подветренных склонах, в ложбинах.

Подобное перераспределение радионуклидов осуществляется и с водными потоками. Однако в этом случае часть радионуклидов перемещается и в растворенном состоянии.

В результате горизонтальной миграции постепенно очищаются от радионуклидов одни участки почвы и загрязняются другие.

Скорость миграции радионуклидов в почве зависит от множества факторов:

- рельефа местности;
- структуры почвы (плотности, пористости, соотношения частиц разных размеров, соотношения минеральных и органических компонентов, их состава, способности почвы удерживать влагу и т. д.);
- климатических условий (количества атмосферных осадков, температуры и т. п.).

Радионуклиды в почве могут входить в состав соединений, которые хорошо растворимы в воде и относительно легко перераспределяются в почвенной среде. В этом случае говорят, что радионуклиды находятся в *подвижной* форме.

Подвижные и малоподвижные формы радионуклидов

Радионуклиды могут входить и в состав труднорастворимых соединений, которые отличаются низкой подвижностью и значительно труднее перераспределяются в почве. В таком случае говорят, что радионуклиды находятся в *малоподвижной* (связанной, или фиксированной) форме. Радионуклиды в связанной форме также могут перемещаться в почве (например, в виде частиц, переносимых с почвенной влагой), однако, как правило, они перемещаются значительно медленнее, чем радионуклиды в подвижной (растворимой) форме.

В природных почвенных водах могут присутствовать не только растворенные формы радионуклидов, но и радионуклиды в составе коллоидных частиц и взвесей мельчайших частиц твердых веществ.

Соотношение подвижных и малоподвижных форм каждого конкретного радиоизотопа зависит от его природы и химических свойств.

Несмотря на то, что цезий относится к щелочным металлам и большая часть его соединений хорошо растворима в воде, в почве радиоактивный цезий находится преимущественно в малоподвижном состоянии. Это связано с тем, что в почвах в том или ином количестве содержатся глинистые минералы, которые связывают основную часть цезия и переводят его в малоподвижное состояние.

^{137}Cs

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Катионы цезия ($^{137}Cs^{+}$), присутствующие в почвенных растворах, способны проникать в кристаллическую решетку подобных минералов и закрепляться в ней. В результате, за время, прошедшее после Чернобыльской катастрофы, подвижность радиоактивного цезия в почвах снизилась более, чем в 10 раз.

В настоящее время в большинстве почв Беларуси основная часть ^{137}Cs находится в связанной форме. Доля доступного растениям радиоизотопа составляет 5 – 20 % от его общего содержания в почве. При этом, в почвах с высоким содержанием глинистых минералов количество доступного растениям ^{137}Cs не превышает 5 %.

Лишь в торфяных почвах верховых болот с содержанием органического вещества 95 % и выше и в песчаных почвах, которые содержат чрезвычайно мало глинистых минералов, наблюдается повышенная подвижность и биологическая доступность радиоактивного цезия.

^{90}Sr

В отличие от радиоактивного цезия, в большинстве почв основная часть ^{90}Sr находится в подвижном состоянии. В настоящее время в почвах Беларуси количество ^{90}Sr в подвижной форме достигает 50 – 70 % от его общего содержания в почве. При этом, в минеральных почвах содержание подвижных форм радиоактивного стронция, как правило, больше, чем в органических.

По способности перераспределяться в почве и по биологической доступности растениям радиоактивный стронций обычно превосходит другие долгоживущие радионуклиды чернобыльского выброса.

Pu, Am

Содержание подвижных форм плутония и америция в почвах невелико — не превышает нескольких процентов. Эти радионуклиды находятся в почвах преимущественно в составе малорастворимых соединений. Они медленно мигрируют в почве и плохо усваиваются растениями.

Начиная с 1994 года, на расстоянии более 20 км от ЧАЭС значительных изменений в соотношении подвижных и малоподвижных форм радионуклидов не наблюдалось. До сих пор основная часть плутония и америция содержится в верхнем (0 – 5) см слое почвы, ^{137}Cs — в (0 – 10) см, ^{90}Sr — в (0 – 20) см слое.

Содержание радионуклидов в (0 – 20)-сантиметровом слое почвы, где располагается корневая система сельскохозяйственных растений, постепенно сокращается. В основном, это происходит за счет:

- вертикальной миграции радионуклидов в нижние слои почвы,
- естественного распада радионуклидов.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Чтобы оценить, как долго радионуклиды останутся в определенном слое почвы, используют такой показатель, как *эффективный период полуочищения*.

Эффективный период полуочищения — это промежуток времени, в течение которого содержание радионуклидов в определенном слое почвы сокращается вдвое.

Эффективный период полуочищения отличается для разных радионуклидов и разных типов почвы. Для ^{137}Cs и ^{90}Sr белорусских почвах его величина меняется в пределах от 5 до 28 лет. Это означает, что значительная доля радионуклидов еще длительное время будет оставаться в корнеобитаемом слое почв.

Таким образом, в зависимости от химической природы и форм нахождения в почве радионуклиды могут по-разному мигрировать в окружающей среде. Из чернобыльских радионуклидов, присутствующих в настоящее время на загрязненных территориях, наиболее подвижен *радиоактивный стронций*. Радионуклиды цезия, плутония и америция, как правило, значительно уступают по подвижности радиоактивному стронцию.

Одним из важнейших этапов *биологической* миграции радионуклидов в окружающей среде является их поступление из почвы в растения. О том, как различные виды растительной продукции накапливают радионуклиды, Вы узнаете в следующем разделе.

8.6. Загрязнение природной растительности

Хвойные, лиственные и смешанные леса, сенокосные луга и пастбища широко используются для заготовки древесины, сбора грибов и ягод, охоты, выпаса животных, заготовки сена и лекарственных растений.

Луга занимают около 10 % территории, загрязненной в результате катастрофы на ЧАЭС. Около 23 % всей площади лесов Беларуси т.е. около 2 миллионов гектаров лесных угодий также оказались загрязненными радионуклидами Чернобыльского выброса.

В первые дни после катастрофы около 80 % выпавших на лесные территории радиоактивных веществ было задержано надземными частями растений и только 20 % осело на почву. Со временем загрязнение растений из воздуха снижалось, а атмосферные осадки, ветер, опадание листвы и ветвей деревьев способствовали пе-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Верхний ярус леса образуют зрелые деревья, кроны которых высоко поднимаются над земной поверхностью.

Средний ярус образуют молодые, подрастающие деревья (*подрост*) и высокие кустарники (*подлесок*).

Нижний ярус составляют мох, грибы, травяные, мелкие кустарничковые и другие виды растительности. Вместе с лесной подстилкой они образуют *живой надпочвенный покров*.

реходу радионуклидов с древесных крон в лесную подстилку. Постепенно древесные кроны очищались.

К концу лета 1986 года в надземной части растений (фитомассе) осталось лишь 13 – 15 % от общего количества выпавших радионуклидов.

В целом, в лесных экосистемах содержание радионуклидов уменьшается при переходе от нижних ярусов к верхним. Больше всего радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr накапливается *в живом надпочвенном покрове*, меньше — в *подлеске и подросте* и еще меньше — в *верхнем ярусе* леса.

Содержание радионуклидов в древесной растительности, в основном, зависит от:

- условий произрастания и свойств почвы;
- возраста и породы деревьев;
- плотности (густоты) насаждений.

Поступление радионуклидов из почвы в растение зависит от вида и возраста древесной породы. Ива, береза, сосна и ель больше других древесных пород накапливают радионуклиды. Чем старше дерево, тем медленнее в нем протекают процессы обмена веществ и в меньшей степени усваиваются радионуклиды. Различные органы и ткани деревьев также отличаются по способности накапливать радионуклиды.

По способности накапливать ^{137}Cs надземные части древесных растений можно расположить в следующей последовательности: внешняя кора (пробка) > ветви, сучья > листья и хвоя > внутренняя кора (луб) > стволовая древесина.

По оценкам специалистов, в 2011 году в надземной части 30-летних сосен будет содержаться до 10 – 15 % ^{137}Cs от общего его запаса в почвенно-растительном комплексе (для сравнения, в 1996 году — 5 – 7 %).

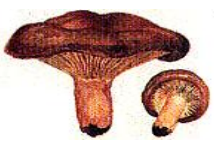
Из пищевой продукции леса наиболее загрязнены грибы и некоторые виды ягод (*черника, клюква, голубика, брусника*), корневая система которых располагается в самой верхней и наиболее загрязненной радионуклидами части почвенного профиля. Содержание ^{137}Cs в этих растениях превышает допустимые нормы даже на территориях с небольшой плотностью загрязнения 37 - 100 кБк/м^2 (1 - 3 Ки/км^2). В ближайшие 20 – 30 лет многие виды лесной продукции останутся загрязненными выше допустимого уровня (РДУ-99) на территории с плотностью загрязнения 150 кБк/м^2 (4 Ки/км^2) и более, что ограничит их использование.

Республиканские допустимые уровни (РДУ — 99) содержания ^{137}Cs:
ягоды — 185 Бк/кг
грибы свежие — 370 Бк/кг

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

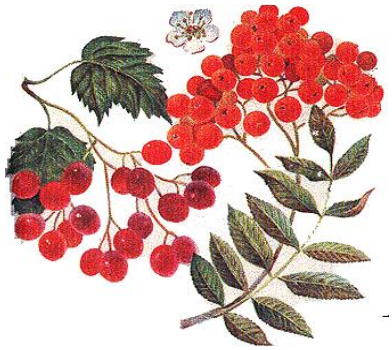
По способности накапливать радионуклиды грибы можно разделить на четыре группы: *слабо-, средне-, сильнонакапливающие и грибы-аккумуляторы*

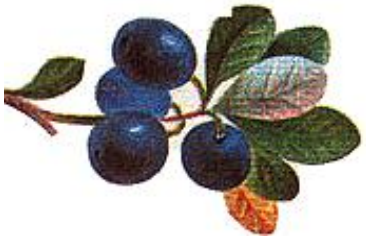
Класификация грибов по степени накопления ^{137}Cs

Слабонакапливающие		*Средненакапливающие*	
Опенок осенний		Лисичка настоящая	
Опенок зимний		Рядовка серая	
Опенок летний		Белый гриб	
Зонтик пестрый		Подосиновик и подосиновик красный	
Дождевик		Подберезовик обыкновенный	
Вешенка		Подберезовик болотный	
Сильнонакапливающие		*Грибы - аккумуляторы*	
Груздь белый и черный		Польский гриб	
Волнушка белая и розовая		Свинушка	
Зеленка		Моховик желто-бурый и зеленый	
Сыроежки		Масленок Горькушка	

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Класификация лесных ягод по степени накопления ^{137}Cs

Слабонакапливающие		*Средненакапливающие*	
Калина Рябина		Земляника Ежевика Малина	

Сильнонакапливающие			
Клюква		Голубика	
Черника		Брусника	

Из 200 видов съедобных грибов, встречающихся в белорусских лесах, в пищу традиционно используют не более 35 видов.

Сбор грибов *слабо и средненакапливающих* радионуклиды рекомендуется проводить в лесах с плотностью загрязнения до 74 кБк/м² (2 Ки/км²), а *грибов-аккумуляторов* и *грибов, сильно накапливающих* радионуклиды — в лесах с плотностью загрязнения до 37 кБк/м² (1 Ки/км²).

! При плотности загрязнения лесов цезием выше 74 кБк/м² (2 Ки/км²) в собранных грибах, ягодах, заготавливаемом сырье, *ОБЯЗАТЕЛЬНО* контролировать содержание радионуклидов.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Практический совет: *дикорастущие ягоды, плоды и лекарственное сырье можно заготавлтвать на территории с плотностью загрязнения не более* 74 кБк/м^2 (2 Ки/км^2).

Накопление радионуклидов *травянистыми растениями*, в основном, зависит от:

- условий произрастания и свойств почв,
- количества влаги,
- видовых особенностей.

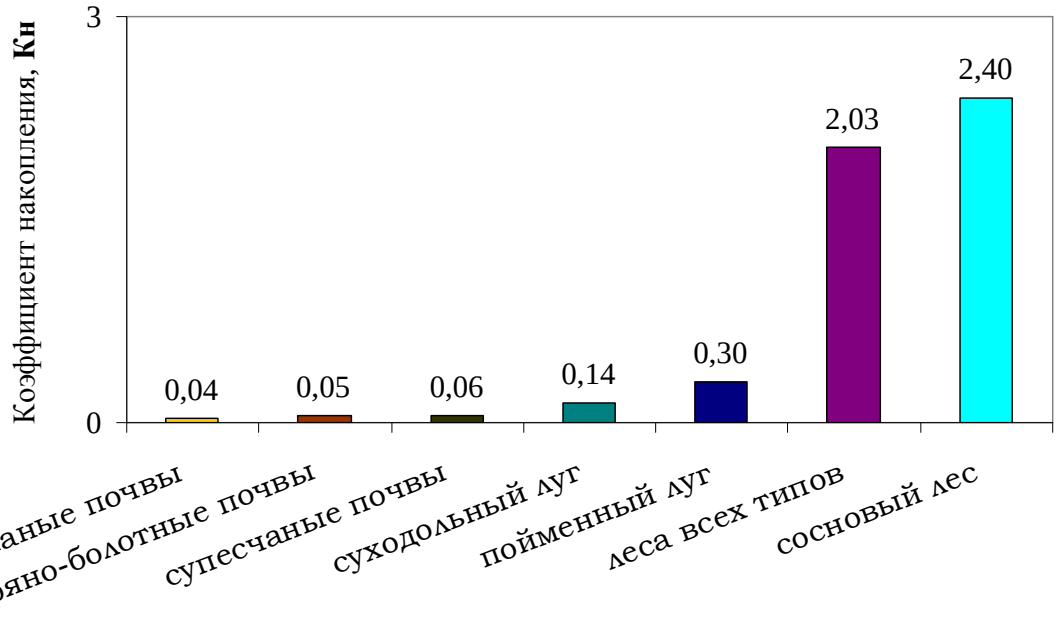
Способность растений накапливать радионуклиды оценивают по величине коэффициента накопления (***Кн***). Он представляет собой отношение удельной активности растительной биомассы (***A_p***, *Бк/кг*) к удельной активности почвы в области корневого питания растения (***A_n***, *Бк/кг*).

Коэффициент накопления, **Кн**

$$Кн = \frac{A_p}{A_n}$$

Коэффициент накопления ^{137}Cs для трав существенно зависит от свойств почвы и условий произрастания. В значительной степени накапливают радионуклиды травянистые растения, произрастающие во влажных лесах, особенно сосновых, меньше всего — на почвах, богатых глинистыми минералами и не обедненных калием.

Коэффициент накопления ^{137}Cs травяной растительностью в зависимости от типа почвы и условий произрастания

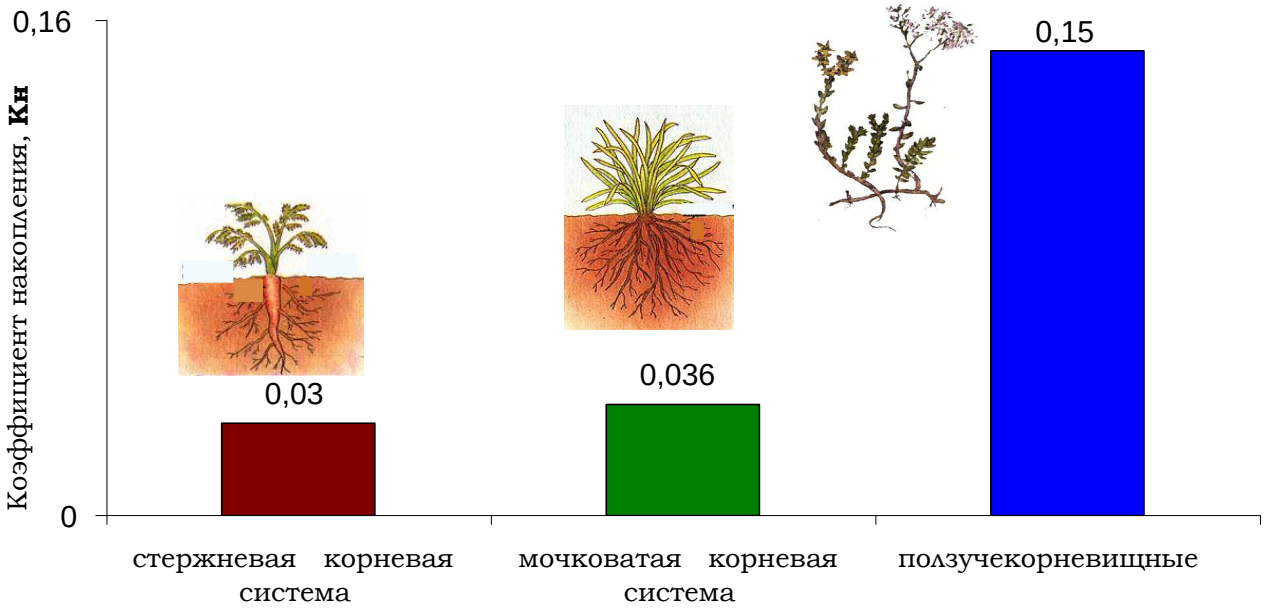


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Способность растения накапливать радионуклиды зависит также от вида растения и строения его корневой системы.

В порядке увеличения способности накапливать ^{137}Cs в надземной фитомассе травянистые растения можно расположить в следующей последовательности: крестоцветные, зверобойные, кипрейные, бобовые, гречишные, сложноцветные, злаковые, осоковые, вересковые.

Влияние строения корневой системы растения на величину коэффициента накопления ^{137}Cs



Исследования природных популяций растений свидетельствуют, что, в целом, растительные комплексы являются относительно устойчивыми к радиационному воздействию. Большинство представителей растительного мира на загрязненных территориях не претерпели существенных морфологических изменений. Действие радиации на растительность отчетливо проявляется только на территориях с высокими уровнями загрязнения — более 3 700 кБк/м² (100 Ки/км²) по ^{137}Cs.

Морфология — наука о форме и строении организмов

В будущем, благодаря естественному отбору, в растительных сообществах может увеличиться число видов, устойчивых к воздействию радиации.

8.7. *Последствия катастрофы для животного мира*

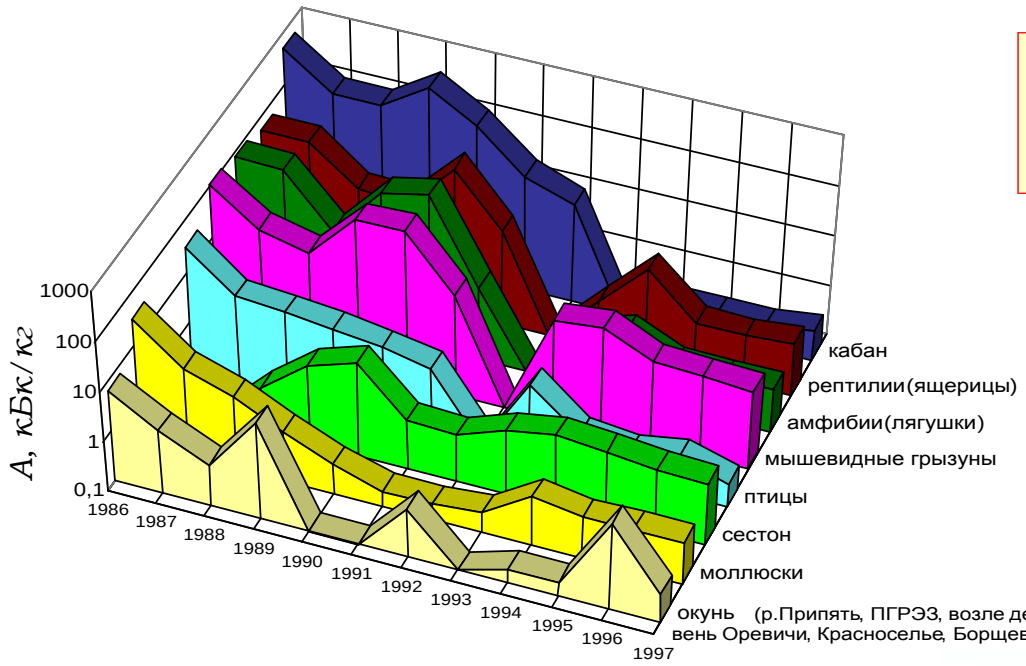
Накопление радионуклидов в организмах животных зависит от уровня радиоактивного загрязнения среды их обитания и, в основном, происходит по пищевым цепям. Наиболее высокое содержание радионуклидов у

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

представителей различных видов фауны наблюдали в первый год после катастрофы в радиусе 30-км от ЧАЭС.

Уже в 1987 году после распада наиболее короткоживущих радионуклидов радиоактивное загрязнение представителей различных групп животных снизилось в 5 – 10 раз. В последующий период (1988 – 1997 годы) темпы снижения существенно замедлились. При этом, в некоторых группах животных (рыб, амфибий, мелких млекопитающих), обитающих на наиболее загрязненных территориях, содержание радионуклидов в организме оказалось близким к уровню 1986 года.

Изменение содержания радионуклидов (А, кБк/кг) у различных представителей фауны



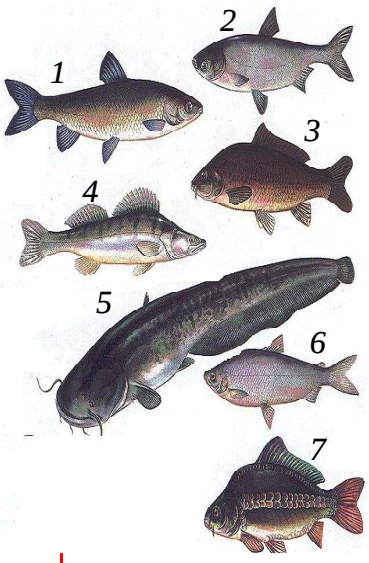
В организме *хищных* рыб накапливается больше радионуклидов, чем в организме *мирных* рыб

У рыб, обитающих в одних и тех же водоемах, самое высокое содержание радионуклидов в мышечной ткани характерно для *хищных* видов — окуня, щуки. Значительно меньше содержится радионуклидов в мышечной ткани представителей *мирных* видов рыб — красноперки, карася золотого и др. При этом, у крупных рыб в мышцах накапливается ^{137}Cs больше, чем у мелких.

У всех видов рыб, которые обитают в проточных водоемах (реках, проточных озерах и т. п.), содержание радионуклидов в организме значительно ниже, чем у видов, обитающих в непроточных водоемах.

Как правило, содержание радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в рыбе, обитающей в реках, протекающих по территории Беларуси вне 30-км зоны ЧАЭС, не превышает РДУ (370 Бк/кг по ^{137}Cs и 3,7 Бк/кг по ^{90}Sr). В непроточных водоемах, загрязненных радионуклидами, накопление

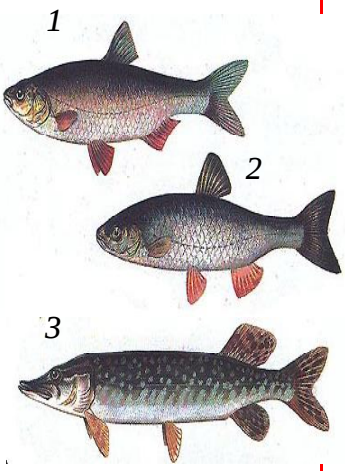
Мирные виды рыб



1-Уклейка, 2-плотва, 3-лещ, 4-ерш, 5-линь, 6-краноперка, 7-толстолобик

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Хищные виды рыб



1-Судак, 2-окунь, 3-щука

Хищные млекопитающие накапливают больше радионуклидов, чем травоядные.

^{137}Cs в мышечной ткани рыб может достигать десятков и даже сотен тысяч Беккерель на килограмм.

У представителей сухопутной фауны поступление радионуклидов в организме существенно зависит от условий обитания. Среди птиц, являющихся объектами охоты, максимальное содержание радиоактивного цезия отмечено в организме *серой куропатки*, обитающей на сухих открытых местах. Из птиц прибрежного водного комплекса больше всего накапливают радионуклиды *чирок-трескунок* и *кряква*, меньше всего — *широконоска*

У копытных млекопитающих, обитающих в наиболее загрязненных районах, содержание радионуклидов остается на высоком уровне и зависит от сезона и климатических условий. Например, у охотничье-промысловых копытных в летне-осенний период загрязнение внутренних органов и тканей увеличивается в связи с накоплением радионуклидов в этот период в растениях, составляющих кормовую базу.

Хищные млекопитающие (волк, лисица) накапливают больше радионуклидов, чем травоядные животные, которыми они питаются. Так, уровни радиоактивного загрязнения организма волка достигают 50 кБк/кг, а организма лисицы — 47 кБк/кг, что в 10 – 12 раз превышает содержание радионуклидов в организмах травоядных животных на той же территории.

При постоянном поступлении радиоактивных продуктов с пищей в организм позвоночных животных происходит накопление радионуклидов в отдельных органах и тканях.

По степени убывания содержания ^{137}Cs органы и ткани животных можно расположить в следующей последовательности: мышечная ткань > почки > сердце > селезенка > печень > легкие > костная ткань

В условиях Полесского государственного радиационно-экологического заповедника (ПГРЗ) дикие животные испытывают значительные дозовые нагрузки. Это может оказывать влияние на состояние здоровья животных. У отдельных видов животных выявлены низкий темп кроветворения, замедление созревания молодняка, снижение воспроизводства, нарушение соотношения полов и другие изменения. Отмечено, например, снижение плодовитости рыб.

Многие изменения в природной среде связаны с прекращением хозяйственной деятельности на загрязненных

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

территориях. Отмечены, в частности, изменения в соотношении численности отдельных групп животных.

Например, в 30-км зоне ЧАЭС, благодаря обильной кормовой базе и отсутствию охоты, значительно увеличилась численность популяции охотничье-промысловых млекопитающих, в частности, в 4 – 5 раз увеличилась численность волков.

На территориях, где имеются мелиоративные системы со шлюзами, возросло видовое разнообразие и численность амфибий и рептилий, болотных и древесно-кустарниковых птиц. Увеличилась и численность ряда редких видов животных.

В зоне отселения, на территории бывших населенных пунктов, численность и видовое разнообразие насекомых в 3 - 3,5 раза выше по сравнению с тем, что наблюдается на приусадебных участках сельских населенных пунктов.

Такая ситуация может приводить к определенным проблемам. Например, в зоне отселения, по сравнению с сопредельными территориями, возросла численность паразитирующих животных, а также кровососущих насекомых. Подобные виды организмов являются потенциальными переносчиками опасных заболеваний, таких как туляремия, клещевой энцефалит, калифорнийская лихорадка. Это следует учитывать при оценке эпидемиологической обстановки в зоне отселения и на приграничной территории.

В ближайшие годы существенного снижения содержания радионуклидов в организмах диких животных не предвидится.

8.8. *Содержание радионуклидов в продуктах питания*

В настоящее время основной вклад в эффективную дозу облучения населения вносит *внутреннее облучение* за счет потребления загрязненных радионуклидами продуктов питания. Чтобы ограничить поступление радионуклидов в организм человека с пищей, в Беларуси введены «Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия и стронция в пищевых продуктах и питьевой воде» (РДУ). После катастрофы на Чернобыльской АЭС эти нормы неоднократно уточнялись

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

В настоящее время в Республике Беларусь действуют «*Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия и стронция в пищевых продуктах и питьевой воде*», принятые в 1999 году (РДУ-99).

Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия и стронция в пищевых продуктах и питьевой воде (РДУ-99)

Наименование продукта	***Бк /кг, (л)***	***Наименование продукта***	***Бк /кг, (л)***
^{137}Cs			
Вода питьевая	10	Молоко и цельномолочная продукция	100
Молоко сгущеное и концентрированное	200	Творог и творожные изделия	50
Сыры сычужные и плавленые	50	Масло коровье	100
Мясо и мясные продукты, в том числе: • говядина, баранина и продукты из них, • свинина, птица, и продукты из них	500 180	Картофель	80
Хлеб и хлебобулочные изделия	40	Мука, крупы, сахар	60
Жиры растительные	40	Жиры животные и маргарин	100
Овощи и корнеплоды	100	Фрукты	40
Садовые ягоды	70	Консервированные продукты из овощей, фруктов и ягод садовых	74
Дикорастущие ягоды и консервированные продукты из них	185	Грибы свежие	370
Грибы сушеные	2500	Специализированные продукты детского питания, готовые к употреблению	37
Прочие продукты питания	370		

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Наименование продукта	Бк /кг, (л)	Наименование продукта	Бк /кг, (л)
^{90}Sr			
Вода питьевая	0,37	Молоко и цельномолочная продукция	3,7
Хлеб и хлебобулочные изделия	3,7	Картофель	3,7
Специализированные продукты детского питания, готовые к употреблению	1,85		

Примечание.

1. *Для продуктов питания, потребление которых составляет менее 5 кг в год на человека (специи, чай, мед и др.), устанавливаются допустимые уровни в 10 раз более высокие, чем для прочих пищевых продуктов.*
2. *К специализированным продуктам детского питания относятся продукты промышленного производства, имеющие специальную маркировку, а также продукция детских молочных кухонь.*
3. *Для колбасных мясных изделий и мясных консервов, в рецептуры которых входит конина, мясо диких животных, устанавливаются такие же нормативы, как для говядины.*
4. *Для макаронных изделий устанавливаются такие же нормативы, как для хлеба и хлебобулочных изделий.*

Нормативно чистые продукты питания

Продукты с содержанием радионуклидов ниже допустимых уровней называют *нормативно чистыми*.

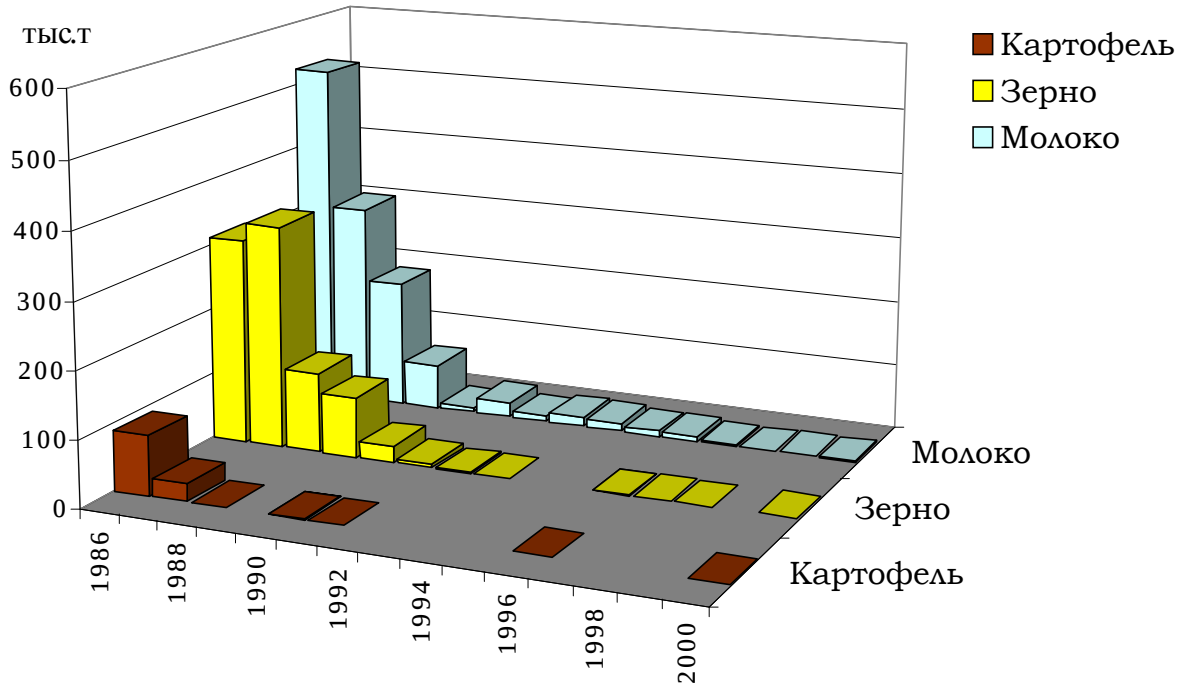
Чтобы контролировать качество продукции, в нашей стране создана и функционирует система радиационного контроля. Благодаря этой системе, в розничную торговую сеть попадают только *нормативно чистые* продукты питания. Употребление продуктов с содержанием радионуклидов, не превышающим допустимые уровни, относительно безопасно для здоровья человека.

Результаты обследования показывают, что содержание радионуклидов в продуктах питания, произведенных в общественном и частном хозяйствах, различается. Ситуация в общественном секторе достаточно благополучна. Осуществляемые государством меры по радиационной защите в сельском хозяйстве (известкование кислых почв, внесение дополнительных доз удобрений и другие), вместе с природными процессами (такими, как радиоактивный распад, снижение подвижности цезия в почвах) привели к сокращению поступления ^{137}Cs в сельскохозяйственную продукцию более чем в 10 раз. Уменьшилась и доля загрязненной продукции в общем

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

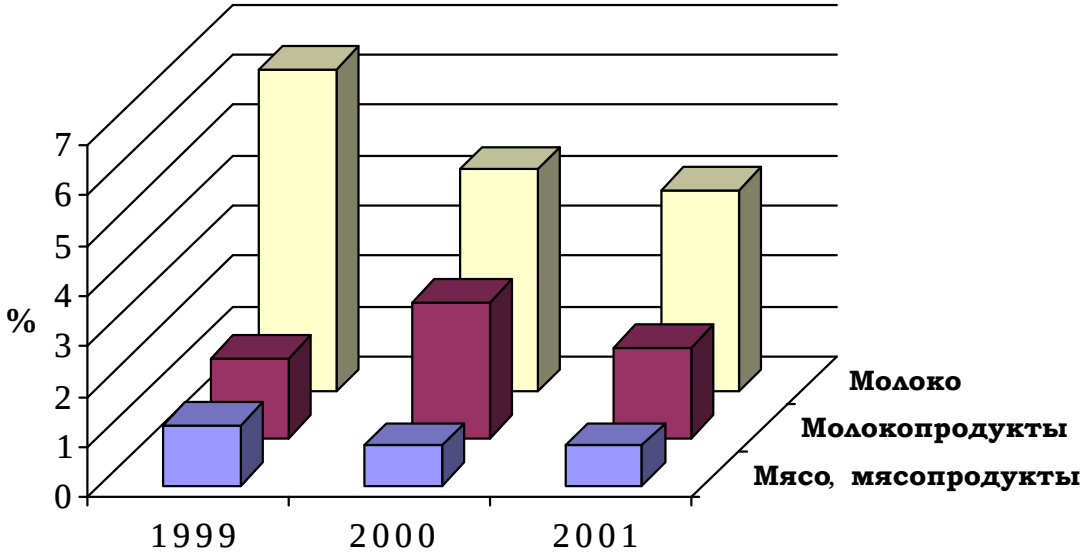
объёмепроизводстваТак, с 1986по 2001годпроизводство молока с превышением допустимого содержания ^{137}Cs снизилосьв 5,5 раза.

Динамика производства сельскохозяйственной продукции с превышением допустимого уровня содержания ^{137}Cs



В личных хозяйствах производство продуктов питания, загрязненных сверх допустимых норм, также сокращается, однако медленнее, чем в государственном секторе сельскохозяйственного производства. Так, за период с 1986 по 2001 год производство молока с содержанием ^{137}Cs выше 100 Бк/л в личных подсобных хозяйствах снизилось лишь в 1,7 раза.

Относительное количество пищевых продуктов из личных подсобных хозяйств, где превышены нормативы РДУ-99 по ^{137}Cs (%)



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Молоко и молочные продукты

В целом, в 10 % молока, получаемого в личных подсобных хозяйствах, содержание радионуклидов превышает допустимые уровни. Производство загрязненного молока отмечено преимущественно в населенных пунктах Гомельской, Брестской и Могилевской областей. Хотя во многих населенных пунктах имеются центры, где можно измерять содержание радионуклидов в продуктах питания, жители зачастую не проверяют молоко, произведенное в частном секторе, и используют его для личного потребления. Безусловно, это увеличивает радиационный риск для сельского населения, особенно для детей.

Употребление молока и молочных продуктов с повышенным содержанием радионуклидов обуславливает основной вклад в дозу внутреннего облучения людей (более 50 %) в тех местах, где населенные пункты расположены вдали от лесной зоны, и жители которых мало используют лесную продукцию.

Овощи

Овощи, в том числе картофель, загрязнены радионуклидами в гораздо меньшей степени по сравнению с молоком. Их потребление, как правило, вносит незначительный вклад в дозу внутреннего облучения людей.

Грибы и ягоды

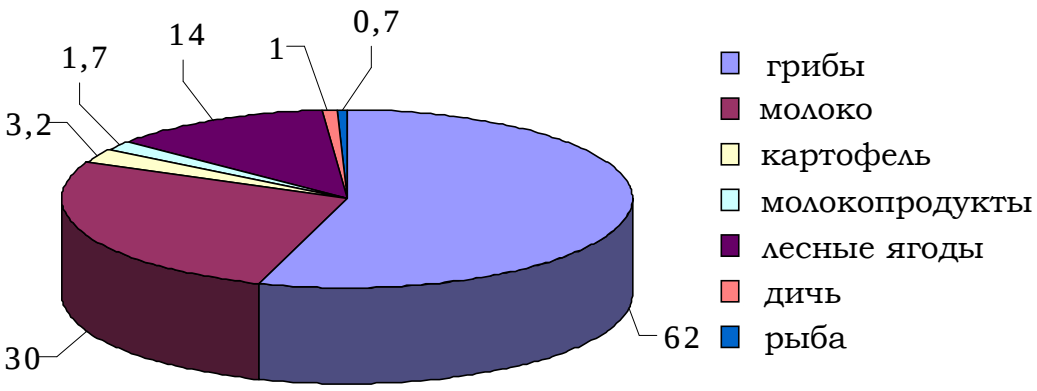
Иная ситуация складывается в населенных пунктах, расположенных в лесной зоне или вблизи нее. Как уже отмечалось, из пищевой продукции леса наиболее загрязнены грибы и ягоды (клюква, черника, брусника, голубика). Содержание радионуклидов в них может превышать допустимые уровни даже на территориях с незначительной плотностью загрязнения почвы по ^{137}Cs.

Примерно 40 % проанализированных проб очень популярной в Беларуси клюквы не соответствовует республиканским нормативам. Иногда своеобразным накопителем ^{137}Cs является и земляника. Ее удельная активность может достигать 150 - 300 Бк/кг при плотности загрязнения почвы всего 5 - 25 кБк/м^2 (0,15 - 0,7 Ки/км^2).

За счет потребления радиоактивно загрязненной пищевой продукции леса может формироваться до 70 - 80% дозы внутреннего облучения населения. Относительный вклад продуктов питания, загрязненных ^{137}Cs, в дозу внутреннего облучения жителей населенных пунктов, расположенных в лесной зоне, показан на следующем рисунке.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Вклад загрязненных ^{137}Cs продуктов питания в дозу внутреннего облучения жителей населенных пунктов лесной зоны (%)



На рисунке представлены результаты исследований проб пищевой продукции леса в процентах от количества проанализированной продукции за период с 2000 по 2002 год. Практически такая же картина наблюдалась и в последующие годы.

Мясо диких животных

О накоплении радионуклидов *дикими животными* уже упоминалось ранее. Различные виды животных по-разному накапливают радионуклиды. В 2002 году содержание ^{137}**Cs** в мясе диких животных, отловленных или отстрелянных на загрязненных территориях республики, изменялось в интервале от 2 000 до 250 000 Бк/кг.

Рыбная продукция

Что касается *рыбной продукции*, то в мышечной ткани рыб, обитающих в реках *вне 30-км зоны ЧАЭС*, содержание ^{137}**Cs**, в среднем, составляет 5 – 15 Бк/кг. Это значительно меньше допустимого уровня (370 Бк/кг). Однако *в непроточных водоемах* уровень загрязнения рыбной продукции по ^{137}**Cs** может достигать 300 000 Бк/кг (для хищных видов), поэтому следует избегать ее употребления в пищу.



Поскольку существенный вклад в дозу внутреннего облучения человека (а значит, и представлять опасность для его здоровья) могут вносить продукты, произведенные в частном секторе, а также «дары природы» (грибы, ягоды, дичь, рыба), содержание радионуклидов в них необходимо обязательно контролировать.

Итак...

Недостатки конструкции атомного реактора Чернобыльской атомной электростанции и ошибочные действия персонала, вплоть до нарушения правил эксплуатации реактора, привели к самой крупной ядерной катастрофе в истории развития атомной энергетики. Примерно 3,5 - 5,0 % общего количества радионуклидов, находившихся в реакторе непосредственно перед катастрофой, было выброшено в окружающую среду.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Основная часть радиоактивных изотопов стронция, плутония и америция сосредоточена в 30 км зоне ЧАЭС. Радиоактивныейод и цезий, распространилисьна многие сотни и даже тысячи километров от места катастрофы, что обусловило ее глобальный характер.

В результате катастрофы были загрязнены обширные пространства суши, приземные слои атмосферы и поверхностные водоемы. При этом, больше других пострадала Республика Беларусь.

Благодаря способности к самоочищению, атмосферный воздух и воды проточных водоемов постепенно очистились. Однако значительное количество радионуклидов скопилось в донных отложениях рек, озер и других водных резервуаров, расположенных на загрязненной территории.

На значительной территории страны почвы и произрастающая на них растительность оказались загрязненными долгоживущими радионуклидами. За счет миграции радионуклидов по пищевым цепям о загрязненной оказалась и продукция животного происхождения.

Процессы самоочищения почв за счет естественного распада радионуклидов и их выноса из корнеобитаемого слоя в нижележащие слои протекают медленно. Поэтому еще на протяжении длительного времени в тех местах, где не предпринимается никаких мер, следует ожидать загрязнения продукции животного и растительного происхождения.

В настоящее время основной вклад в эффективную дозу облучения населения пострадавших регионов вносит потребление загрязненных продуктов питания. Поэтому следует уделять должное внимание их контролю, особенно молочной продукции, произведеннойв частном секторе, а также даров природы (грибы, ягоды, лекарственные растения, рыба).

Употребление в пищу лишь нормативно чистых продуктов питания позволит населению существенно сократить дозовые нагрузки и уменьшить радиационный риск.

Вопросы для самоконтроля и обсуждения:

1. Как Вы думаете, каковы причины аварии, произошедшей на Чернобыльской АЭС в апреле 1986 года?
2. Какие радионуклиды определяли эффективную дозу облучения населения в зоне Чернобыльской катастрофы непосредственно после разрушения атомного реактора?



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

3. Почему аварию, произошедшую на Чернобыльской АЭС, называют глобальной радиационной катастрофой?

4. Какие Чернобыльские радионуклиды определяют в настоящее время эффективные дозы облучения населения?

5. Как и почему менялся со временем уровень радиоактивного загрязнения воздушной и водной сред после Чернобыльской катастрофы?

6. Что такое нормативно чистая продукция?

7. Какие документы в настоящее время определяют допустимые уровни содержания радионуклидов цезия и стронция в пищевых продуктах и питьевой воде в Республике Беларусь?

8. Какие продукты могут быть в наибольшей степени загрязнены радионуклидами Чернобыльского происхождения и требуют обязательного контроля перед их потреблением?

9. Почему рыбу замкнутых непроточных водоемов следует подвергать радиационному контролю?

10. Как Вы думаете, у представителей каких видов рыб, хищных или мирных, содержится больше радиоактивного цезия в мышечной ткани?

11. Почему хищные животные в большей степени накапливают радионуклиды по сравнению с травоядными?

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Ключевые слова и словосочетания : экономический ущерб , дозы облучения населения , медицинские , социально - психологические последствия

Катастрофа на Чернобыльской АЭС привела к радиоактивному загрязнению обширных территорий и серьезным экономическим , медицинским , социально -психологическим и другим последствиям , которые не преодолены до настоящего времени. Поскольку радиационных катастроф подобного масштаба никогда раньше не было, а их возможность даже не рассматривалась, пострадавшие государства (Беларусь, Украина, Россия) оказались не готовы к оперативному принятию адекватных мер, соответствующих масштабам катастрофы.

Изучив главу... Вы узнаете , какой огромный ущерб нанесла экономике Беларуси Чернобыльской катастрофа. Поймете , что она явилась причиной нарушений социально-экономических связей, психологического стресса, медицинских, демографических и других последствий. Анализ последствий произошедшей катастрофы поможет оценить случившееся и понять , что следует предпринять , чтобы лучше справиться с возникшими проблемами и быть готовыми к их решению, если подобное событие произойдет в будущем.

9.1 *Экономический ущерб*

Радиационная катастрофа 1986 года оказала негативное воздействие на все сферы жизни человека и, прежде всего, на сельскохозяйственноеи промышленное производство , лесное хозяйство , традиционное природопользование и традиционный уклад жизни.

Больше всего пострадало *сельское хозяйство* . Высокие уровни радиоактивного загрязнения почвы привели к тому , что *из оборота было выведено 2,64 тыс. км² сельхозугодий*. Сократились посевные площади и производство сельскохозяйственных культур, уменьшилось поголовье скота.

В зоне загрязнения оказались 132 месторождения полезных ископаемых, из которых *22 месторождения минерально -сырьевых ресурсов были полностью выведены из пользования* . Это почти 5 млн . м³ строительного песка, песчано-гравийных материалов и глин, 7,7 млн. т мела и 13,5 млн. т торфа.

Огромный урон нанесен *лесному хозяйству*. Около четверти лесного фонда Беларуси (2 млн. га) подверглось радиоактивному загрязнению. В Гомельской и Могилевской областях радионуклидами загрязнено соответственно 51,6 и 36,4 % общей площади лесных массивов . Заготовка древесины на территории с плотностьюзагрязненияпо ^{137}Cs 555 кБк/м² (15 Ки/км²) и выше полностью прекращена . В настоящее время

Месторождения полезных ископаемых в зоне радиоактивного загрязнения
(% от промышленных запасов республики.)

Пески:
формовочные — 47 %;
строительные и силикатные — 19 %;
пригодные для стекольного производства — 91 %;
цементное сырье — 16 %;
Мел — 20 %;
глины для производства кирпича — 13 %;
тугоплавкие глины — 40 %;
строительныйкамень— 65 %.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

ежегодный недобор товарной древесины составляет 2 млн. м^3, а к 2010 году, по оценкам специалистов, он достигнет 3,5 млн. м^3.

В результате отселения жителей с наиболее загрязненных радионуклидами территорий, деятельность многих промышленных предприятий приостановлена.

В наши дни *в зоне загрязнения находится около 340 промышленных предприятий*. Условия их функционирования заметно ухудшились. Предприятия несут большие потери и терпят убытки от снижения объемов производства и дополнительных расходов, связанных с необходимостью обеспечивать радиационную безопасность и получать нормативно чистую продукцию.

Суммарный ущерб, нанесенный республике Чернобыльской катастрофой, белорусские экономисты оценивают в 235 млрд. долларов США, что составляет 32 годовых бюджета республики 1985 года.

В суммарный ущерб входят:

- ущерб, нанесенный промышленности и социальной сфере, сельскому хозяйству, строительству, транспорту и связи, жилищно-коммунальному хозяйству в результате загрязнения минерально-сырьевых, земельных, водных, лесных и других ресурсов;
- потери, связанные с ухудшением здоровья населения;
- дополнительные затраты на преодоление последствий катастрофы и обеспечение безопасных условий жизнедеятельности населения.

В течение многих лет выводы белорусских ученых и специалистов о масштабах социально-экономических последствий Чернобыльской катастрофы для республики не признавались за рубежом, в том числе в России и Украине. Только на международной конференции «15 лет Чернобыльской катастрофы. Опыт преодоления» (Киев, 18 – 20 апреля 2001 года) расчеты белорусских специалистов были подтверждены и признаны.

Суммарный экономический ущерб Украины оценен в 201 млрд. долларов США. В связи с тем, что в России не проводилась эвакуация населения, ущерб для этой страны гораздо меньше.

Загрязненные в результате радиационной катастрофы регионы оказались в сложных социально-экономических условиях. Спад производства, отток населения, особенно квалифицированных кадров, низкий уровень

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

социально-бытового и медицинского обслуживания делали невозможным быстрое преодоление последствий катастрофы.

Еще много лет понадобится для реабилитации пострадавших территорий, т. е. восстановления их утраченного социального и экономического потенциала и создания безопасных условий для проживания и работы людей.

Размеры социально-экономического ущерба от Чернобыльской катастрофы для Беларуси и Украины несоизмеримы с экономическими возможностями этих стран, и его устранение нуждается в ближайшие десятилетия в помощи международного сообщества.

9.2. *Дозы облучения населения*

^{131}I

В первые недели после катастрофы существенный вклад в облучение населения Беларуси внесли короткоживущие радионуклиды, в число которых входили и изотопы йода (в основном, ^{131}I). Впоследствии влияние радиоактивного йода больше всего сказалось на состоянии щитовидной железы, поскольку именно в этом органе человека накапливается йод.

Максимальную дозу облучения радиоактивным йодом получили молодые люди, которые в 1986 году были детьми и подростками. Более 30 % детей в возрасте до 2 лет получили дозы выше 1 Гр. В самых загрязненных сельских населенных пунктах средние дозы облучения щитовидной железы детей младшего возраста достигали 3 Гр и более.

Примерно половина коллективной эффективной дозы облучения радионуклидами чернобыльского выброса получена жителями республики в первый год и около 80 % — в первые пять лет после катастрофы. Почти 5 % коллективной дозы приходится на лиц, родившихся уже после катастрофы.

^{137}Cs

В настоящее время радиационное воздействие на жителей республики более чем на 90 % обусловлено ^{137}Cs.

^{90}Sr, **ТУЭ**

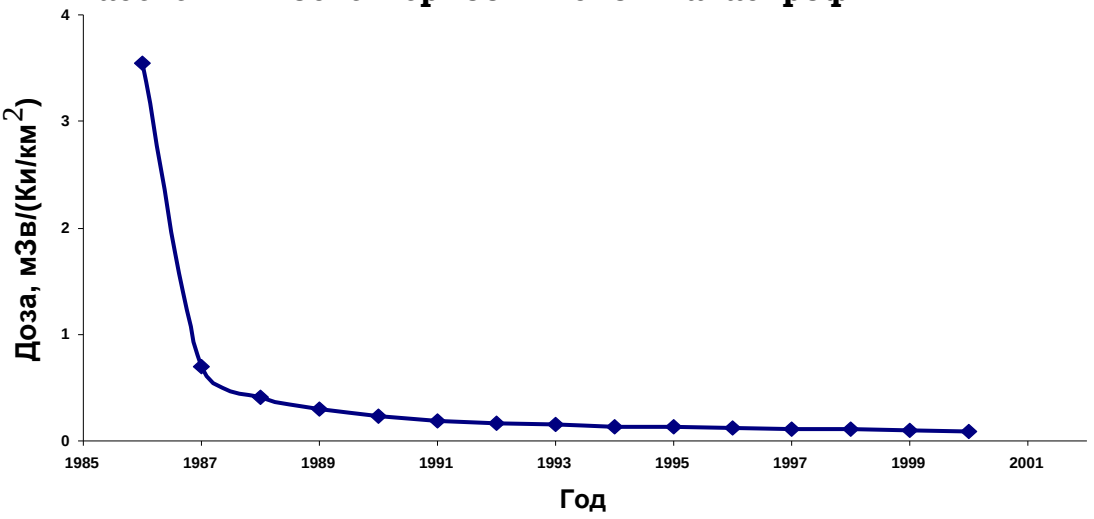
Вклад *радиоактивного стронция* в суммарную дозу облучения людей в результате Чернобыльской катастрофы

составляет 1 – 4 %, а *трансурановых элементов* (ТУЭ) — 0,1 – 1 %.

Со временем *доза внешнего облучения* населения постепенно снижалась из-за радиоактивного распада и заглубления радионуклидов в почву.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

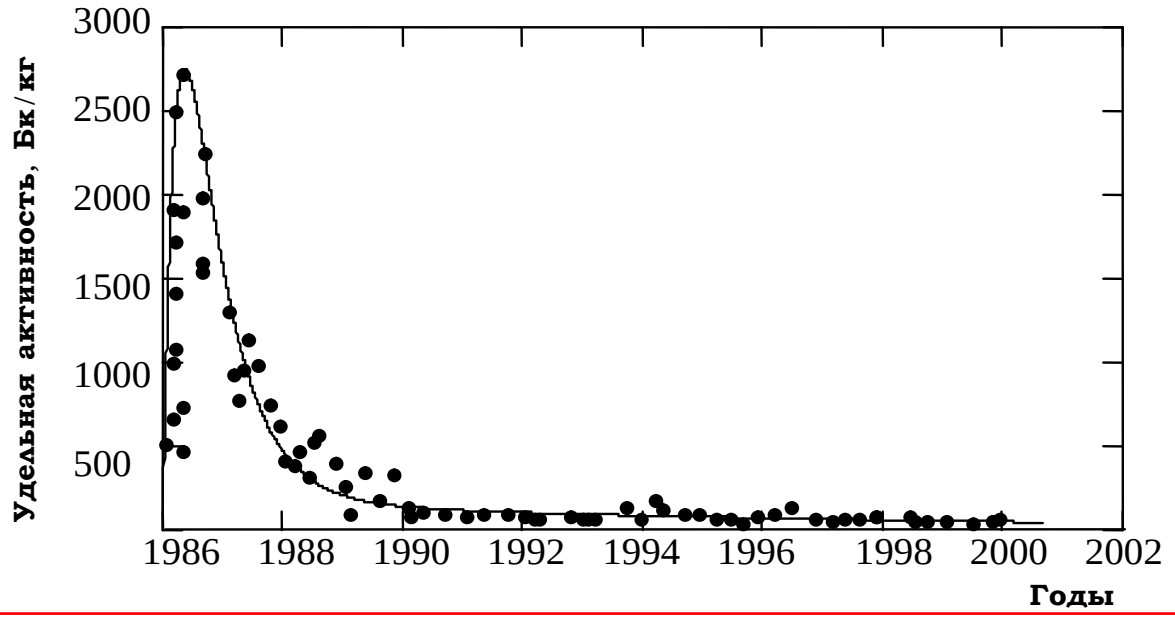
Изменение нормированной* дозы внешнего облучения населения после Чернобыльской катастрофы



* Нормированная доза — это отношение средней эффективной дозы внешнего облучения населения к плотности загрязнеия территории ^{137}Cs, мЗв/(Ки/км^2)

Изменение *дозы внутреннего облучения* ^{137}Cs можно проследить по результатам измерений содержания радиоактивного цезия в организме людей с помощью *счетчиков излучения человека (СИЧ)*. Со второй половины 1986 года до 1990 – 1991 годов содержание ^{137}Cs в организме жителей Беларуси заметно снижалось, а в последующие годы почти не изменялось.

Изменение содержания ^{137}Cs в организме жителей Беларуси, проживающих на радиоактивно загрязненных территориях



Напомним, что все населенные пункты Беларуси, пострадавшие от Чернобыльской катастрофы, делятся на зоны в соответствии с законодательством страны. При этом показателями для отнесения населенного пункта

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

к той или иной зоне является плотность загрязнения территории населенного пункта и среднегодовая эффективная доза облучения проживающего в нем населения.

В настоящее время среднегодовая эффективная доза облучения людей от чернобыльских радионуклидов во многих населенных пунктах не превышает 1 мЗв.

Если эффективная доза облучения населения от чернобыльских радионуклидов менее 1 мЗв в год, то проживание и трудовая деятельность на этой территории не требуют каких-либо ограничений.

Критические группы населения

Тем не менее, даже на таких территориях существуют *критические группы населения*, для которых среднегодовая эффективная доза облучения от чернобыльских радионуклидов может превышать 1 мЗв. Как правило, это многодетные или малообеспеченные семьи, пенсионеры, для которых значительную часть рациона составляют продукты личных хозяйств и «дары» леса.

Одну из критических групп составляют *работники лесного хозяйства*. Как правило, дозы внешнего облучения этих людей в 1,5 - 2 раза выше, чем у других категорий населения. При этом повышенные дозы облучения получают те, кто непосредственно занят в лесу, хотя часто значительные дозы получают и члены их семей, которые употребляют в пищу лесные продукты.

Распределение населенных пунктов в зависимости от среднегодовой эффективной дозы облучения их жителей (2001 год)

Область	Число населенных пунктов со среднегодовой эффективной дозой облучения				Всего населенных пунктов
	< 1 мЗв*	1 - 3 мЗв	3 - 5 мЗв	> 5 мЗв	
Брестская	118	41	8	-	167
Витебская	2	-	-	-	2
Гродненская	146	1	-	-	147
Гомельская	1 105	395	28	-	1 528
Минская	185	4	-	-	189
Могилевская	728	119	7	1	855
Всего по республике	2 285	560	43	1	2 888

* – в этих населенных пунктах плотность загрязнения территории радионуклидами превышает уровень, установленный законодательством Республики Беларусь для безопасного проживания

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Повышенные дозы облучения, полученные населением пострадавших регионов, сказались на здоровье людей.

9.3. *Здоровье населения*

После Чернобыльской катастрофы в стране возникло множество серьезных медицинских и психологических проблем. Как уже было отмечено, в первый послеаварийный период практически все население республики подверглось облучению радиоизотопами йода.

В настоящее время около двух миллионов человек проживают в регионах с плотностью загрязнения почвы ^{137}Cs более 37 кБк/м^2 (1 Ки/км^2).

Существуют две противоположные точки зрения о влиянии облучения, вызванного Чернобыльской катастрофой, на состояние здоровья людей. По одной из них малые дозы радиации не представляют угрозы для здоровья людей, по другой — даже при малых дозах длительное облучение людей, живущих на загрязненных территориях, оказывает негативное воздействие на их здоровье.

За годы, прошедшие после катастрофы, представление о ее последствиях существенно прояснилось. Стало понятно, что Чернобыль — это надолго, и не одно последующее поколение будет жить в условиях радиоактивного загрязнения.

Отсутствие у человека возможности обнаружить радиацию посредством органов чувств (она не видна, не имеет вкуса, запаха и т.д.) и дефицит знаний о ее природе и действии на организм создают у людей психологическую основу для беспокойства, тревоги и стрессов.

Часто именно эти факторы, а не сама радиация, становятся причиной заболеваний людей, даже таких серьезных, как появление злокачественных образований.

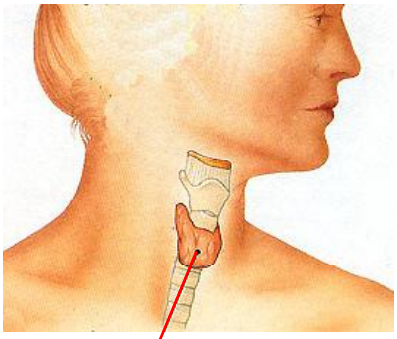
В целом, после катастрофы на ЧАЭС состояние здоровья населения, проживающего на загрязненных территориях, заметно ухудшилось. Увеличилась частота нервно-психических, сердечно-сосудистых, аллергических и эндокринных заболеваний, наблюдается снижение адаптационных и иммунных возможностей организма человека. Однако далеко не всегда это можно связать с непосредственным воздействием ионизирующего излучения.

В «чистых» регионах республики состояние здоровья населения тоже ухудшается. Но все же заболеваемость в пострадавших вследствие катастрофы на ЧАЭС районах несколько выше и имеет тенденцию к росту.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Заболевания щитовидной железы

В первую очередь, отмечается рост заболеваемости щитовидной железы. У *взрослого населения* Беларуси рак щитовидной железы встречался до катастрофы на ЧАЭС относительно редко: за 10-летний период до 1986 года было зарегистрировано лишь 557 случаев этого заболевания у лиц в возрасте от 19 до 50 лет. С 1992 года наблюдается рост заболеваемости раком щитовидной железы, который прослеживается до настоящеговремени. За 18 послеаварийныхлет среди взрослого населения выявлено более 6 тысяч случаев этого заболевания.



Щитовидная железа человека

В настоящее время во всех возрастных группах населения, которое подверглось действию повышенных доз радиации в результате Чернобыльской катастрофы , риск возникновения заболеваний щитовидной железы в 6 – 10 раз выше, чем в среднем у жителей республики.

Беспокойство медиков вызвал и тот факт, что в Беларусиувеличениезаболеваемостираком щитовидной железы началось уже через четыре года после катастрофы. По данным же японских ученых, после атомной бомбардировки Хиросимы и Нагасаки рост заболеваемости раком щитовидной железы начал отмечаться только через 10 лет после ядерных взрывов.

Заболевания молочной железы

Кроме щитовидной железы, чувствительным к воздействию радиации органом является молочная железа у женщин. После Чернобыльской катастрофы наблюдается ускорение темпов роста заболеваемости раком молочной железы — примерно в 3 раза по сравнению с 1986 годом. Отмечается также тенденция роста заболеваемости раком других органов. В пострадавших районах существует повышенный риск возникновения опухолей почек, мочевого пузыря, легких, прямой и ободочной кишки.

Заболевания ЖКТ

Заболеванияжелудочно-кишечноготракта наиболее часто регистрируются у лиц, проживающих в районах с загрязнением ^{137}Cs более 555 кБк/м^2 (15 Ки/км^2), и в значительно меньшей степени, почти как в среднем по республике , у населения , которое проживает на территории с уровнем загрязнения от 37 до 555 кБк/м^2 (от 1 до 15 Ки/км^2).

Несмотря на опасения специалистов, не выявлено роста заболеваемостираком желудка. Более того, наблюдается тенденция к снижению заболеваемости подобного типа, за исключением районов с плотностью загрязнения ^{137}Cs более 555 кБк/м^2 (15 Ки/км^2).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

В целом, заболеваемость эвакуированных жителей Беларуси и проживающих на территориях с невысоким уровнем радиоактивного загрязнения мало отличается от среднего уровня заболеваемости жителей республики.

Заболевания неонкологической природы

Для всех категорий населения, пострадавшего от катастрофы на ЧАЭС, наблюдается и рост заболеваемости неонкологической природы, прежде всего, аутоиммунным тиреоидитом (болезнь щитовидной железы), катарактой, болезнями системы кровообращения, психоневрологическимирасстройствами. Однако все эти заболевания, исключая катаракту, по существующим представлениям, напрямую не связаны с радиационным воздействием.

По одной из точек зрения, *продолжительное воздействие* на организм человека радиации в малых дозах вызывает снижение функциональных резервов организма. Большинство же ученых полагает, что причиной роста общей заболеваемости населения является *совместное воздействие радиации и других сопутствующихфакторов*(например, неблагоприятных экологических факторов природного и антропогенного характера, психологических потрясений, связанных с катастрофой, ухудшения социально-экономических условий).

После Чернобыльской катастрофы у некоторых жителей загрязненных районов Беларуси отмечены изменения в составе крови, функционировании кроветворных органов, сердечно-сосудистой и нервной систем, органов дыхания и пищеварения. По сведениям официальной статистики, наблюдается увеличение частоты ишемической болезни сердца (в 3,5 раза по сравнению с 1986 годом). При этом более высокая заболеваемость сердечно-сосудистыми заболеваниями отмечена в группах ликвидаторов и эвакуированного населения. Среди людей, проживающих на загрязненной территории, даже с уровнем выше 555 кБк/м^2 (15 Ки/км^2) по ^{137}Cs, эти показатели значительно ниже.

Сердечно-сосудистые заболевания

Детский организм обладает повышенной чувствительностью к действию неблагоприятных факторов, связанных с катастрофой. Их влияние может вызывать изменения в функционировании органов и систем органов детского организма. Особое беспокойство вызывает рост заболеваемости раком щитовидной железы у людей, облученных в детском и подростковом возрасте.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



Как правило, дети, проживающие в районах радиоактивного загрязнения, больше страдают от нарушения нормального образа жизни и требуют более внимательного отношения к себе. Правильная организация распорядка дня, полноценное питание, соблюдение санитарно-гигиенических правил особенно важны для таких детей.

После катастрофы в пострадавших районах республики отмечается рост невротических и психосоматических расстройств. Страх ожидания последствий облучения неблагоприятно сказывается на психофизиологическом состоянии людей. У людей, проживающих на территории с плотностью загрязнения ^{137}Cs выше 555 кБк/м^2 (15 Ки/км^2), наблюдается более высокий, по сравнению с остальным населением республики, уровень психических расстройств.

Острое облучение. Большие дозы

К моменту катастрофы на Чернобыльской АЭС о действии радиации на живые организмы многое было известно из экспериментов на животных, наблюдений за людьми, подвергшимися облучению при лечении различных заболеваний, в результате аварий на атомных ледоколах и атомных станциях, во время ядерных взрывов в Хиросиме и Нагасаки. Однако большинство этих данных касается действия больших и средних доз облучения, полученных в течение короткого промежутка времени.

Хроническое облучение. Малые дозы

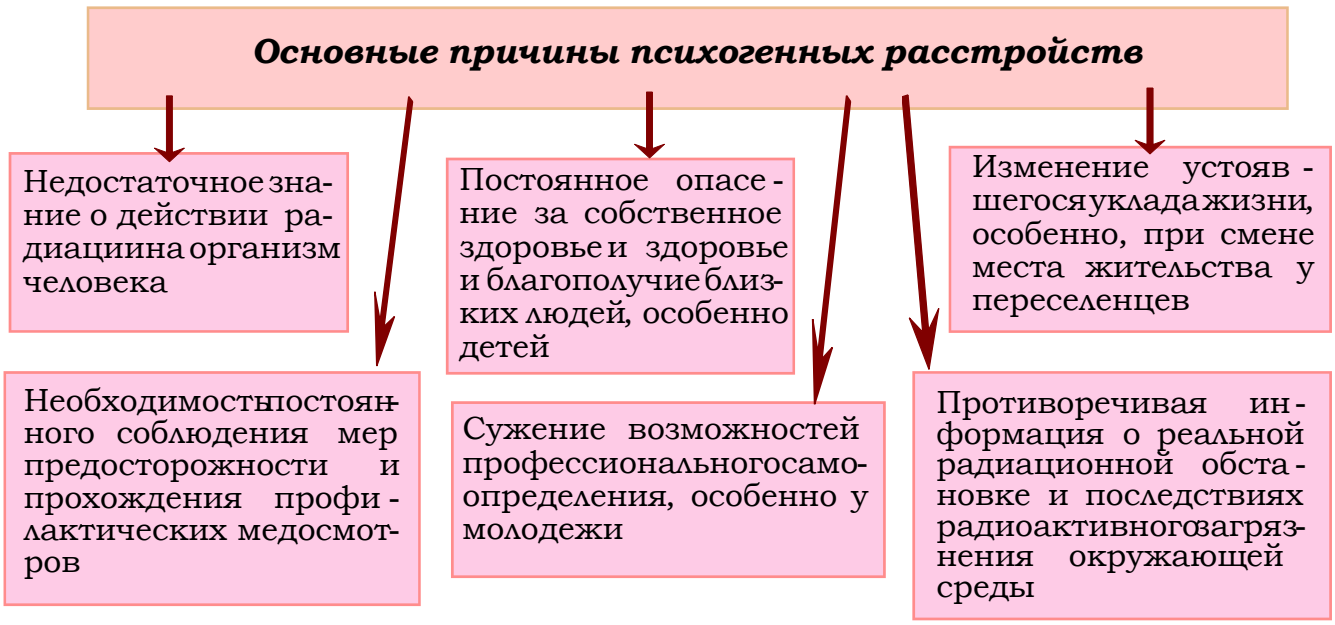
Особенностью последствий Чернобыльской катастрофы является действие на людей ионизирующего излучения в малых дозах на протяжении длительного периода времени. Поэтому имеющиеся данные по последствиям облучения людей при больших и средних дозах не могли быть использованы для прогнозирования медицинских последствий произошедшей радиационной катастрофы. Действие подобного облучения на организм человека еще далеко не изучено, и у специалистов в области медицины нет единой точки зрения по этому вопросу.

Тем не менее, установлено, что действию радиации в малых дозах, как и других неблагоприятных химических и физических факторов окружающей среды, можно противостоять, усиливая защитные функции организма человека. Для этого нужно знать основы радиационной безопасности и гигиены и пользоваться этими знаниями, чтобы сохранить здоровье. Вот почему так важно распространение радиоэкологических знаний среди населения и воспитание радиологической культуры жителей загрязненных районов.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

9.4. Социально-психологические последствия

Под влиянием Чернобыльской катастрофы у значительной части пострадавшего населения изменилось эмоциональное состояние. Как известно, накопление отрицательных эмоций ведет к истощению нервно-психических механизмов защиты и нарушениям адаптационных систем организма, отвечающих за способность приспосабливаться к новым условиям.



Как результат, у пострадавшего населения отмечается:

- снижение уровня психической адаптации,
- чувство неуверенности в себе,
- неустойчивая самооценка,
- пессимистическая оценка будущего.

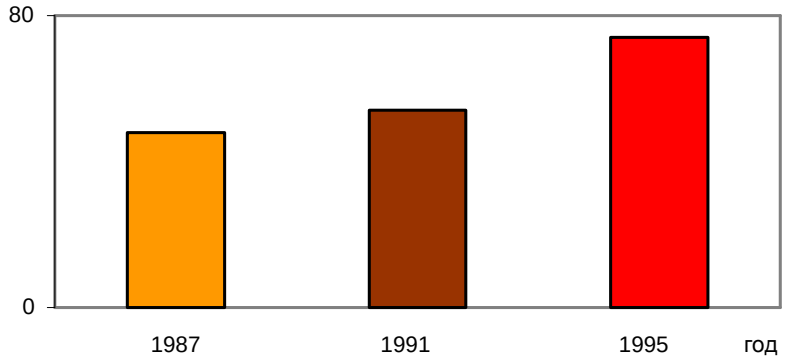
Почти у двух третей обследованного населения наблюдалось чувство утраты личной безопасности, что само по себе является свидетельством глубочайшей социально-психологической травмы.

Социально-радио-экологический стресс

Подобное состояние можно охарактеризовать как *социально-радиоэкологический стресс*. Ситуация еще больше обостряется по мере накопления у человека отрицательных эмоций. Как показали наблюдения, со временем число людей, подверженных такой разновидности стресса, увеличивалось.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Количество людей, подверженных стрессу (% от обследованного населения в пострадавших районах Беларуси)



Адаптационные нарушения

Массовый социально-радиоэкологический стресс порождает несколько видов *адаптационных нарушений (синдромов)*:

- *повышенные тревожные ожидания*, ведущие к болезни («бегство в болезнь»);
- *социально-психологическая апатия* (безразличие, нежелание что-либо изменять в своей жизни);
- *сосредоточенность на неприятных переживаниях* (крайнее проявление — постоянное ощущение безысходности).

Демографическая ситуация

Чернобыльская катастрофа и ее последствия совпали по времени с кризисными явлениями в жизни общества. Сочетание этих факторов стало причиной негативной *демографической ситуации* в Беларуси. Низкая рождаемость и рост смертности привели к снижению численности населения республики. Начиная с 1994 года, абсолютная численность населения Беларуси снижалась, и к 2004 году она сократилась почти на 300 тысяч человек (примерно на 3 %).

На пострадавших территориях картина еще более драматична. Число умерших в загрязненных районах в два раза и более превышает число родившихся, и пока тенденции к улучшению ситуации не наблюдается.

Например, в Гомельской области снижение численности населения отмечается с 1987 года. В 2004 году число жителей сократилось на 150,6 тыс. человек, т. е. на 9 % по сравнению с 1987 годом. В Могилевской области абсолютная численность населения стала убывать с 1990 года и к 2004 году снизилась на 88,1 тыс. человек, т. е. на 7 % по сравнению с 1987 годом.

Более 135 тысяч человек было переселено в ходе организованной эвакуации и не менее 200 тысяч человек самостоятельно покинули загрязненные районы.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



При этом, активнее всего уезжала из загрязненных районов молодежь, интеллигенция и квалифицированные специалисты. В настоящее время в некоторых наиболее пострадавших районах республики около 70 % населения составляют пенсионеры, что почти в три раза больше, чем в целом по республике.

Итак...

Значительный экономический ущерб, радиационные, медицинские, социально-демографические и другие изменения составляют негативные последствия Чернобыльской катастрофы.

Радиоактивно загрязненные регионы Беларуси оказались в сложных социально-экономических условиях. Больше всего пострадало *сельское хозяйство*. Сократились посевные площади и производство сельскохозяйственных культур, уменьшилось поголовье скота.

Стали меньше использоваться *местные минерально-сырьевые ресурсы*. Огромны потери в промышленном производстве.

В результате катастрофы часть населения Беларуси получила значительные дозы облучения. В первые недели после катастрофы наиболее ощутимый вклад в облучение людей внесли изотопы йода (в основном ^{131}I), впоследствии — радиоактивные изотопы цезия (^{134}Cs и ^{137}Cs).

В настоящее время радиационное воздействие на жителей республики более чем на 90 % обусловлено ^{137}Cs. Вклад *радиоактивного стронция* в суммарную дозу облучения людей составляет 1 – 4 %, а *трансурановых элементов* — 0,1 – 1 %.

После Чернобыльской катастрофы возникло множество серьезных медицинских и психологических проблем. Действие неблагоприятных факторов катастрофы может вызывать изменения в функционировании органов и систем организма человека. Особое беспокойство вызывает рост заболеваемости раком щитовидной железы у облученных в детском и подростковом возрасте.

Необходимо длительное время для восстановления утраченного социального и экономического потенциала пострадавших территорий и создания безопасных условий для проживания и работы людей.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Рассмотрение последствий Чернобыльской катастрофы позволяет лучше понять и оценить масштабы произошедшего события. Анализ последствий помогает также разобраться в том, что нужно сделать, чтобы решить те сложнейшие проблемы, которые возникли в результате крупномасштабного радиоактивного загрязнения окружающей среды.

Накопленный опыт по преодолению последствий Чернобыльской катастрофы имеет огромную ценность для всего мирового сообщества. Он помогает человечеству уменьшить вероятность подобных событий и быть готовым к решению проблем, которые могут возникнуть, если крупная радиационная авария где-нибудь произойдет в будущем.

Несмотря на ограниченные возможности, государство прилагает огромные усилия, чтобы преодолеть негативные последствия Чернобыльской катастрофы. С мерами, которые предпринимаются в этом направлении, Вы познакомитесь в следующей главе.

Вопросы для самоконтроля и обсуждения:

1. Какие радионуклиды в настоящее время определяют эффективную дозу облучения населения в зоне Чернобыльской катастрофы?
2. Какой ущерб нанесла Чернобыльская катастрофа Республике Беларусь?
3. Какая опасность для здоровья населения связана с поступлением радиоактивного йода в организм человека в первые месяцы после Чернобыльской катастрофы?
4. Как влияет психо-эмоциональное состояние человека на состояние его здоровья после Чернобыльской катастрофы?
5. При какой дозе облучения проживание и трудовая деятельность на территории Республики Беларусь не требуют каких-либо ограничений?
6. Как менялись во времени дозы облучения населения радиоактивным цезием после Чернобыльской катастрофы?



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Глава 10

ПРЕОДОЛЕНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ КАТАСТРОФЫ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Ключевые слова и словосочетания : Чернобыльская катастрофа , преодоление последствий , государственная политика , защита населения , снижение доз облучения

Преодоление последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС является одной из важнейших задач государственной политики Республики Беларусь. Кроме организации эвакуации населения из зоны с высоким уровнем радиоактивного загрязнения и работ по ликвидации последствий катастрофы непосредственно в районе ЧАЭС, была проведена огромная работа по радиационной и социальной защите населения, пострадавшего от катастрофы на Чернобыльской АЭС. Проведены мероприятия по дезактивации населенных пунктов, приняты законы и документы, позволяющие компенсировать материальный ущерб пострадавшим и регулировать любой вид деятельности на радиоактивно загрязненной территории. Осуществляются меры по снижению доз облучения, по повышению уровня медицинского обслуживания и оздоровлению жителей загрязненных районов.

Изучив главу... Вы познакомитесь с законами и документами , которые составили основу для проведения мероприятий по радиационной защите населения и природной среды после Чернобыльской катастрофы. Вы узнаете, что было практически сделано, чтобы уменьшить дозы облучения жителей пострадавших регионов и предотвратить распространение выпавших радионуклидов за пределы радиоактивно загрязненных территорий. Вы также познакомитесь с приемами , позволяющими снизить содержание радионуклидов в сельскохозяйственной продукции, узнаете, как нужно организовать питание, чтобы уменьшить радиационный риск и укрепить собственное здоровье.



10.1 *Что делает государство , чтобы преодолеть последствия катастрофы и защитить пострадавшее население*

Мероприятия

Чтобы организовать и координировать мероприятия по ликвидации последствий радиационной катастрофы в 1986 году была создана специальная Правительственная комиссия при Совете Министров СССР. В первые годы после катастрофы решение всех проблем , связанных с устранением последствий крупного радиационного выброса радионуклидов в окружающую среду, осуществлялось под руководством этой Правительственной комиссии и Министерства здравоохранения СССР.

В первую очередь, была проведена оценка радиационной обстановки и эвакуация населения из зоны с наиболее высоким уровнем загрязнения, организованы работы по ликвидации последствий катастрофы непосредственно в районе Чернобыльской АЭС. В этих работах участвовали десятки тысяч человек из всех союзных республик, в том числе и из Белорусской ССР.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Были проведены и другие мероприятия:

- организована йодная профилактика населения для уменьшения накопления в организме радиоактивного йода;
- проведена широкомасштабная дезактивация загрязненных радионуклидами населенных пунктов силами инженерных войск и гражданской обороны. Только за пределами 30-км зоны ЧАЭС было дезактивировано около 500 населенных пунктов, из них более половины подвергались дезактивации дважды и трижды.

Йодная профилактика — употребление внутрь медицинских препаратов, содержащих нерадиоактивный йод, что способствует уменьшению поглощения радиоактивных изотопов йода в организме человека

Чтобы уменьшить облучение людей, уже в 1986 году Национальным комитетом по радиационной защите (НКРЗ) СССР были введены:

- временные допустимые уровни содержания йода в питьевой воде и других продуктах питания;
- предельные дозы облучения населения;
- допустимые уровни радиоактивного загрязнения помещений, транспортных средств, одежды, кожных покровов.

По мере изменения и уточнения радиационной обстановки эти нормативные величины неоднократно пересматривались и корректировались. Разрабатывались и другие документы, которые определяли порядок проведения защитных мероприятий. С 5 мая по 9 декабря 1986 года Правительством республики было разработано и утверждено 32 нормативных документа, необходимых для осуществления мер по ликвидации последствий Чернобыльской катастрофы и социальной защите населения.

Обследование территории



Многие решения Правительства касались обустройства переселенцев на новых местах, компенсационных выплат пострадавшим гражданам и улучшения их материального положения, организации отдыха и оздоровления детей, подростков и беременных женщин.

Уже в первые годы после катастрофы, несмотря на десятки постановлений и распоряжений, которые были приняты Советом Министров БССР по вопросам, связанным с ликвидацией ее последствий, стало ясно, что без четкой государственной политики и специального законодательства невозможно решить весь комплекс возникших проблем.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Государственные Программы

22 марта 1989 года ЦК КПБ и Совет Министров БССР приняли постановление о разработке *Государственной программы* преодоления в Белорусской ССР последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на *1990 – 1995 годы и до 2000 года*. Программа была разработана и в июле 1989 года одобрена XI сессией Верховного Совета БССР, а в октябре 1989 года окончательно принята на XII сессии Верховного Совета БССР.

В Программе намечалось:

- *осуществить* комплекс мер, чтобы максимально снизить дозы облучения населения от радионуклидов чернобыльского выброса;
- *обеспечить* сохранность здоровья людей за счет медицинской профилактики, оздоровления, социального обеспечения и отселения из населенных пунктов, в которых не гарантировано безопасное проживание;
- *создать* безопасные для здоровья людей условия жизни в районах, которые подверглись радиоактивному загрязнению;
- *повысить* качество жизни населения в радиоактивно загрязненных районах;
- *провести* научные исследования по проблемам, связанным с радиационным воздействием на человека и окружающую среду и т. д.

В апреле 1990 года Верховным Советом СССР была утверждена *Государственная союзно-республиканская программа* неотложных мер по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС. Однако после распада Советского Союза Республике Беларусь самой пришлось решать все чернобыльские проблемы на своей территории.

28 июля 1992 года Президиум Совета Министров нового государства — Республики Беларусь одобрил *Государственную программу* по преодолению в стране последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на *1993 - 1995 годы и на период до 2000 года*.

В 1991 году в республике был образован *Государственный комитет по проблемам последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС*, который в 1994 году был преобразован в Министерство по чрезвычайным ситуациям и защите населения от последствий катастрофы на ЧАЭС.

В настоящее время координация и контроль деятельности министерств и организаций, которые реализуют государственную политику в области преодоления последствий катастрофы и защиты населения, осуществляет *Комитет по проблемам последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС при Совете Министров Республики Беларусь (Комчернобыль)*.

В настоящее время выполняется Государственная программа по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на 2001 – 2005 годы и на период до 2010 года.

Чернобыльские проблемы по-прежнему остаются общегосударственными, и их решению Правительство и Президент Республики Беларусь уделяют значительное внимание.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Законы

Чтобы решать проблемы, возникшие после радиационной катастрофы, понадобилось разработать и принять законы, которые на государственном уровне обеспечивали социальную защиту пострадавших и регулировали различные виды деятельности на радиоактивно загрязненных территориях.

В 1991 году Верховный Совет Республики Беларусь принял законы «*О социальной защите граждан, пострадавших от катастрофы на Чернобыльской АЭС*» и «*О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС*».

Закон «*О социальной защите граждан, пострадавших от катастрофы на Чернобыльской АЭС*»

Этот закон защищает права и интересы граждан, которые:

- принимали участие в ликвидации последствий катастрофы;
- отселены и выехали на новое место жительства с радиоактивно загрязненных территорий;
- проживают в настоящее время на территориях, загрязненных радионуклидами;
- участвовали в ликвидации или пострадали от аварий и их последствий на других гражданских или военных ядерных объектах;
- пострадали в результате испытаний, учений и других работ, связанных с ядерными установками, включая ядерное оружие.

Закон «*О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС*»

Последняя редакция этого закона принята 24 июля 2002 года.

Закон регулирует

- режим территорий радиоактивного загрязнения;
- условия
  - проживания,
  - осуществления любого вида деятельности на этих территориях (хозяйственной, научно-исследовательской и др.).

Территория радиоактивного загрязнения Республики Беларусь — это часть территории Республики, на которой в результате катастрофы на ЧАЭС возникло долговременное радиоактивное загрязнение окружающей среды любым из следующих радионуклидов с плотностью загрязнения почв, превышающей

по ^{137}Cs — 37 кБк/м^2 (1 Ки/км^2);

по ^{90}Sr — 5,55 кБк/м^2 (0,15 Ки/км^2);

по сумме изотопов ^{238}Pu, ^{239}Pu, ^{240}Pu — 0,37 кБк/м^2 (0,01 Ки/км^2).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Этот закон направлен на:

- снижение радиационного воздействия на население и окружающую среду;
- проведение мероприятий, защищающих природу и способствующих восстановлению природных экосистем;
- рациональное использование природного, хозяйственного и научного потенциала радиоактивно загрязненных территорий.

В 1998 году Национальным собранием Республики Беларусь был принят закон *«О радиационной безопасности населения»*.

Закон *«О радиационной безопасности населения»*

Радиационная авария — это потеря управления источником ионизирующего излучения, вызванная *неисправностью, повреждением оборудования, неправильными действиями персонала, стихийными бедствиями, иными причинами,* которые могли привести или привели к облучению людей или радиоактивному загрязнению окружающей среды сверх установленных норм.

В этом законе

- дается современное определение понятия *«радиационная авария»* и других понятий, используемых в радиационной безопасности;
- излагаются принципы, лежащие в основе практического обеспечения радиационной безопасности;
- указывается, какие конкретные мероприятия обеспечивают радиационную безопасность на территории Республики Беларусь.

Закон предусматривает переход в Республике Беларусь от устаревших радиационных норм к нормам, которые учитывают накопленные знания и опыт мирового сообщества и соответствуют международным стандартам.

Бюджетные затраты

В разные годы затраты на Программы по преодолению последствий Чернобыльской катастрофы составляли значительную часть республиканского бюджета — от 6,6 до 16,8 %. К сожалению, возможности страны не позволяют в полной мере финансировать необходимые меры, чтобы преодолеть нанесенный катастрофой ущерб. Тем не менее, благодаря усилиям органов государственного управления, законодательных органов, научных организаций и других учреждений, где работают специалисты самого разного профиля, удалось решить ряд важнейших проблем.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

1. Создана нормативно - правовая база практически по всем направлениям преодоления последствий катастрофы

Основные нормативные документы в области радиационной безопасности и защиты населения

- Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия и стронция в пищевых продуктах и питьевой воде (РДУ-99)
- Нормы радиационной безопасности (НРБ-2000)
- Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСП-2002)
- Каталог прогнозируемых годовых эффективных доз облучения жителей населенных пунктов РБ (2004 год)
- Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия и стронция в сельскохозяйственном сырье
- Регламент лесохозяйственной деятельности на загрязненных территориях
- Республиканские допустимые уровни содержания ^{137}Cs в древесине, продукции из древесины и прочей непищевой продукции лесного хозяйства
- Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия и стронция в основных видах кормов

2. Благодаря защитным мерам в сельском хозяйстве, значительно снижен уровень радиоактивного загрязнения сельскохозяйственной продукции

3. Создана надежная система радиационного контроля

- *Разработаны* высокочувствительные приборы для контроля содержания радионуклидов в производимой продукции, питьевой воде и т. д.;
- *созданы предприятия* по их производству.

Произведены:

- *гамма-* и *бета*-радиометры (более 4 000:
- дозиметры *гамма*-излучения;
- высокочувствительные *гамма-* и *бета*-спектрометры.

Выпуск приборов помог решить проблемы радиационного контроля

В системе Министерства сельского хозяйства и продовольствия

Ежегодно анализируются свыше 11 млн. проб сельскохозяйственной продукции

В учреждениях здравоохранения

- определяют содержание радиоактивного цезия в организме человека с помощью более 100 счетчиков излучения человека (СИЧ);
- ежегодно контролируют около 200 000 проб продуктов питания с помощью более 2 тысяч радиометрических и спектрометрических установок.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

4. *Действует система социальной защиты населения, пострадавшего от катастрофы на ЧАЭС*

Пострадавшие от катастрофы на ЧАЭС

Согласно Закону "О социальной защите граждан, пострадавших от катастрофы на ЧАЭС", *пострадавшими от катастрофы на Чернобыльской АЭС* официально признаны:

- участники ликвидации последствий катастрофы
- потерпевшие от нее.

Участниками ликвидации последствий катастрофы на ЧАЭС являются граждане:

- принимавшие в 1986 - 1989 годах участие в работах по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС в пределах зоны эвакуации (отчуждения);
- занятые в 1986 - 1989 годах на эксплуатации или других работах на Чернобыльской АЭС (в том числе, временно направленные или командированные);
- принимавшие в 1986 - 1987 годах участие в работах по дезактивации, строительству, жизнеобеспечению населения в зонах первоочередного и последующего отселения.

Потерпевшее население

К населению, *потерпевшему* от катастрофы на ЧАЭС, относятся граждане (включая детей во внутриутробном состоянии), которые

- проживают (проживали) на территориях радиоактивного загрязнения;
- работают (работали) на территориях радиоактивного загрязнения, в том числе и те, которые были заняты на эксплуатации или других работах на ЧАЭС в 1986-1989 годах;
- дети и подростки, у которых обнаружены заболевания кроветворных органов (острые лейкозы), щитовидной железы (аденома, рак) и злокачественные опухоли.

Социальная защита населения

Ежегодно на социальную защиту пострадавшего населения используется 30 – 50 % средств, выделяемых из бюджета страны на преодоление последствий катастрофы. В наибольшей мере социальными льготами пользуются те, кто стали инвалидами в результате катастрофы (около 10 000 человек).

Ежегодно не менее 250 тыс. человек (включая 212 тыс. детей) получают бесплатное санаторно-курорт-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

ное лечение. В 2000 году в Беларуси на оздоровление было направлено 293 895 детей и взрослых.

Ощутимой социальной поддержкой является бесплатное питание детей, проживающих на загрязненных территориях . Его получают около 300 тыс. учащихся.

За 18 лет, прошедших после Чернобыльской катастрофы, из 470 населенных пунктов, расположенных в радиоактивно загрязненных районах, отселено 137,6 тыс. человек. За эти годы для переселенных граждан построено свыше 66 тысяч квартир и домов приусадебного типа. Фактически, в сельской местности было построено 239 поселков с необходимой инфраструктурой и предприятиями сервиса.

Построены новые школы (на 28,8 тыс. мест), дошкольные учреждения (на 2,9 тыс. мест), больницы (на 1,9 тыс. коек) и т. д.

Чтобы обеспечить население , проживающее в загрязненных радионуклидами районах , чистым топливоми водой, в республикепроложеноболее 2 000км газопроводови около 1 900 км водопроводов Построено 22 000 км автомобильных дорог с твердым покрытием, проведено благоустройство населенных пунктов , животноводческих ферм, механизированных дворов и других объектов. В ближайшей перспективе в пострадавших районах запланировано газифицировать около 80 тыс. домов.

5. *Осуществляется комплекс мер по повышению уровня медицинского обслуживания населения в загрязненных радионуклидами районах*

Проводится постоянное наблюдение за состоянием здоровья населения . Ежегодно около миллиона человек проходят специальное медицинское обследование.

В 2003 году в Гомеле начал работать построенный под патронажем Президента Республики Беларусь Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека.

10.2 *Защитные мероприятия*

Никогда ранее ни в одной стране мира не проводили мероприятия по защите окружающей среды и сельскохозяйственных комплексов от последствий радиоактивного загрязнения в таких масштабах, как после Чернобыльской катастрофы. Поэтому никто из специалистов не обладал опытом проведения подобных работ.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

На первый взгляд, одним из самых надежных способов очистки радиоактивно загрязненной территории является полное удаление загрязненного радионуклидами грунта, растительности, строений и других объектов. Однако вряд ли целесообразно проводить такое мероприятие из-за:

- многообразия объектов, подлежащих дезактивации,
- огромных трудозатрат,
- возникающих трудностей при ведении сельскохозяйственного производства после удаления плодородного слоя почвы.

Дезактивационные работы

На практике применяли несколько иную стратегию. В период с 1986 по 1989 год осуществляли *широкомасштабную дезактивацию* (очистку территории от выпавших радионуклидов) только в пределах наиболее пострадавших населенных пунктов. Загрязненный радионуклидами верхний слой почвы срезали и удаляли, затем очищенные участки засыпали чистым грунтом.









Радиоактивные вещества с поверхности загрязненных зданий, оборудования, транспорта и т. д. смывали специальными дезактивирующими растворами. Нередко для предотвращения переноса радиоактивных веществ загрязненные поверхности обрабатывали специальными составами, образующими защитные пленочные покрытия полимерного типа.

Меняли также кровли, заборы, сносили не подлежащие дезактивации загрязненные строения. Чтобы уменьшить перенос радиоактивных веществ с пылью, асфальтировали дороги и тротуары.

Образующиеся в результате работ жидкие отходы дезактивации переводили в твердое состояние и вместе с другими радиоактивными отходами свозили в специальные пункты, расположенные в зоне отселения, для захоронения.

В настоящее время на загрязненных территориях Беларуси создана система пунктов захоронения отходов дезактивации (ПЗОД), построенных по типовым проектам.

В Беларуси до катастрофы на ЧАЭС имелся только один пункт захоронения радиоактивных отходов, который из-за малого объема и расположения вне зоны отселения не мог быть использован для размещения чернобыльских радиоактивных отходов. Поэтому собран-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

ные отходы дезактивации помещали в зоне отселения просто в вырытые траншеи, дно и стены которых были покрыты водонепроницаемым материалом, чтобы предотвратить вынос радиоактивных веществ за пределы мест захоронения, и засыпали грунтом. В результате, на территории Беларуси было создано более 80 подобных пунктов захоронения радиоактивных отходов.

Начиная с 1991 года, дезактивационные работы проводили лишь на территории наиболее важных социально значимых объектов (детские сады, школы, лечебные и оздоровительные учреждения, производственные объекты, места массового посещения людьми). К 2000 году дезактивация социально значимых объектов и промышленного оборудования, в основном, была завершена. Позднее проводились работы по дезактивации приусадебных участков.

В результате проведения дезактивационных работ удалось улучшить радиационную обстановку, однако для ликвидации последствий Чернобыльской катастрофы этого было далеко не достаточно.

Уменьшение экологических последствий

Чтобы защитить население и окружающую среду, проводятся мероприятия по уменьшению *экологических последствий* катастрофы. Поскольку радиоактивное загрязнение территории Беларуси в наибольшей степени затронуло лесное и сельское хозяйства, защитные меры, в основном, проводятся в этих отраслях хозяйственной деятельности.

Защитные меры направлены на

- получение *нормативно чистой* продукции,
- обеспечение радиационной безопасности работников лесхозов и сельскохозяйственного производства,
- ограничение выноса радионуклидов за пределы загрязненных территорий.

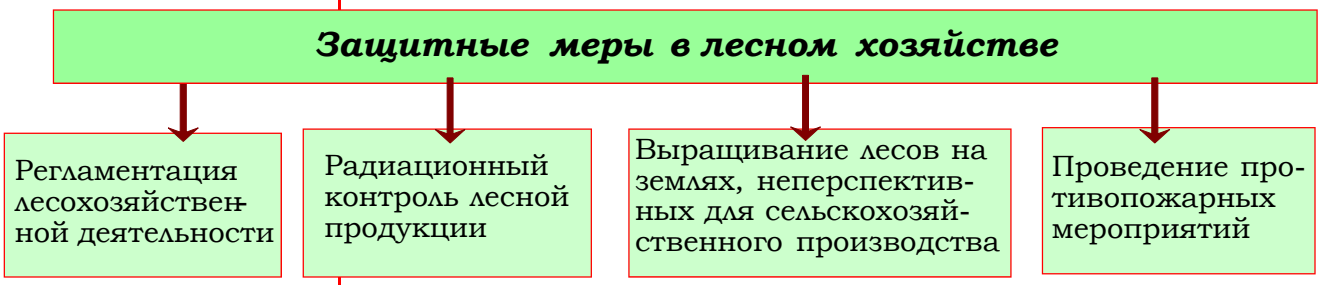
Лесное хозяйство

По оценкам ученых, в результате Чернобыльской катастрофы наиболее загрязненными оказались леса. Лесные территории с плотностью загрязнения по ^{137}Cs более 37 кБк/м^2 (1 Ки/км^2) занимают в Беларуси площади около 200 тыс. км^2. Территория 51 лесхоза оказалась в различной степени загрязненной чернобыльскими радионуклидами.

После Чернобыльской катастрофы обеспечение радиационной безопасности населения и работников лесного хозяйства является приоритетной задачей при

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

осуществлении любого вида деятельности на лесных территориях . Ниже приведены защитные меры , осуществляемые в настоящее время в лесном хозяйстве.



Одной из защитных мер является строгая *регламентация лесохозяйственной деятельности* . Это означает , что на территории лесов с плотностью загрязнения по ^{137}Cs *более 37 кБк/м²* (1 Ки/км²) проводятся лишь ограниченные виды лесозаготовительных и лесохозяйственных работ. В следующей таблице перечислены виды лесопользования, разрешенные и запрещенные на территориях с различными уровнями загрязнения по ^{137}Cs. В основном , они касаются заготовки пищевой, лекарственной и некоторых видов технической продукции.

Регламентирование лесопользования на загрязненных радионуклидами территориях

Виды лесопользования	Плотность загрязнения по ^{137}Cs, кБк/м² (Ки/км²)			
	37 - 74 (1 - 2)	74 - 185 (2 - 5)	185 - 555 (5 - 15)	555 и выше (15 и выше)
	— Разрешено		— Запрещено	
Сбор грибов-аккумуляторов и грибов, сильнонакапливающих радиоактивный цезий				
Сбор грибов, средне- и слабонакапливающих радиоактивный цезий				
Заготовка лесных ягод и плодов				
Ведение пчеловодства				
Заготовка лекарственного сырья				

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Виды лесопользования	Плотность загрязнения по ^{137}Cs, кБк/м² (Ки/км²)			
	37 - 74 (1 - 2)	74 - 185 (2 - 5)	185 - 555 (5 - 15)	555 и выше (15 и выше)
	— Разрешено		— Запрещено	
Заготовка технического сырья				
Выпас откормочного* и рабочего скота и заготовка сена для него				
Выпас молочного скота и заготовка сена для него				
Заготовка хвойной лапки и веточного корма				
Охота и рыбная ловля				
Заготовка мха				
Заготовка новогодних елок				
Заготовка березового сока				

* за 1,5 – 2 месяца до убоя животных следует переводить на безвыгульное содержание с использованием чистых кормов

Сбор грибов и заготовка лесных ягод и плодов

Как видно из таблицы, на территории с уровнем загрязнения по ^{137}Cs более 74 кБк/м² (2 Ки/км²) запрещено собирать любые виды грибов и ягод.

На территории с уровнем загрязнения по ^{137}Cs от 37 до 74 кБк/м² (1 – 2 Ки/км²) разрешена заготовка любых лесных ягод и плодов, а сбор грибов — только слабо- и средненакапливающих радиоактивный цезий.

Примеры грибов и ягод, отличающихся по степени накопления радиоактивного цезия, приведены в разделе 8.6.

Ведение пчеловодства

Пчеловодством можно заниматься на территориях с плотностью загрязнения по ^{137}Cs до 555 кБк/м² (15 Ки/км²). При этом собранный мед обязательно подлежит радиометрическому контролю. Не рекомендуется размещать ульи и пасеки на расстоянии менее 10 км от мест с уровнем загрязнения по ^{137}Cs 555 кБк/м² и выше.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Заготовка лекарственного и технического сырья

Лекарственное и техническое сырье (лесные травы и их отдельные части, листья древесных и кустарниковых растений, кора, споры, почки и т. п.) накапливают значительное количество радионуклидов.

Больше всего накапливают радиоактивный цезий:
споры плауна булавовидного,
побеги багульника болотного,
листья брусники.
листья черники,
трава золототысячника,
зверобоя,
пижмы обыкновенной,
толокнянки,
кора дуба и крушины.

Меньше всего накапливают радиоактивный цезий:
фиалка трехцветная,
ландыш майский,
душица обыкновенная,
тмин песчаный,
тимьян обыкновенный,
наперстянка крупноцветная.

Сбор лекарственного сырья допускается лишь при плотности загрязнения территории ^{137}Cs до 74 кБк/м^2 (2 Ки/км^2) с обязательным радиометрическим контролем собранного сырья.

Заготовка технического сырья (луба, лыка, дубильной коры) разрешается на срубленных деревьях при уровне загрязнения территории ^{137}Cs до 185 кБк/м^2 (5 Ки/км^2) и также с обязательным радиометрическим контролем сырья.

Предельно допустимые уровни содержания ^{137}Cs в некоторых видах лесной продукции приведены в следующей таблице.

Допустимые уровни содержания ^{137}Cs в меде, ягодах, лекарственном и некоторых видах технического сырья

Наименование продукции	Содержание ^{137}Cs, Бк/кг
Мед	3 700
Лекарственно-техническое сырье (цветы, листья, травы, клубни, корневища, грибы и др.)	1 850
Высушенные плоды и ягоды	2 590

Выпас скота и заготовка сена

Выпас скота и заготовка сена в лесах без согласования с органами лесного хозяйства **запрещены**.

Выпас *рабочего скота*, а также заготовка для него сена допускается на естественных лесных пастбищах и сенокосах с плотностью радиоактивного загрязнения территории ^{137}Cs до 185 кБк/м^2 (5 Ки/км^2).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Выпас *откормочного скота* и заготовка для него сена допускается на территориис плотностью загрязнения ^{137}Cs до *185 кБк/м²* (*5 Ки/км²*), однако за 1,5 – 2 месяца до предполагаемого убоя скот следует переводить на наименее загрязненные корма и безвыгульное содержание.

Выпас *молочного скота* на лесных пастбищах и заготовка для него сена на лесных сенокосах допускается при плотности загрязнения территории ^{137}Cs до *74 кБк/м²* (2 Ки/км²).

Заготовка хвойной лапки, веточного корма, мха, новогодних елок, березового сока

Заготовка хвойной лапки, веточного корма и мха на лесных территориях запрещена во всех зонах радиоактивного загрязнения. Особенно загрязненным является мох, поскольку он активно накапливает радионуклиды из почвы.

Заготовка новогодних елок разрешена только в зоне с плотностью загрязнения ^{137}Cs до *185 кБк/м²* (*5 Ки/км²*).

Березовый сок является одним из самых чистых пищевых продуктов леса. Его заготовка разрешена на территории с плотностью загрязнения ^{137}Cs до *555 кБк/м²* (*15 Ки/км²*) с обязательным радиометрическим контролем заготовленного сока.

Охота и рыбная ловля

В охотничьих угодьях с плотностью загрязнения территории ^{137}Cs до *185 кБк/м²* (*5 Ки/км²*) разрешается вести охоту с выборочным радиационным контролем охотничьих трофеев.

В охотничьих угодьях с плотностью загрязнения ^{137}Cs от *185* до *555 кБк/м²* (*5 – 15 Ки/км²*) установлен обычный режим охоты на зверей и птиц, однако обязательна проверка мяса убитых животных на содержание радионуклидов.

Из-за миграции диких птиц на большие расстояния при охоте на них даже на территории с плотностью загрязнения радиоактивным цезием до *37 кБк/м²* (*1 Ки/км²*) добытое мясо необходимо проверять на содержание радионуклидов.

В угодьях с плотностью загрязнения ^{137}Cs *555 кБк/м²* (*15 Ки/км²*) и более охота **запрещена**.

Рыболовством разрешено заниматься на территориис плотностью загрязнения радиоактивным цезием до *555 кБк/м²* (*15 Ки/км²*). При этом рыбу рекомендуется ловить в реках и проточных водоемах,

Знаки, предупреждающие о радиационной обстановке



РАДИОАКТИВНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ!
Сбор грибов и ягод разрешается с обязательным радиометрическим КОНТРОЛЕМ!

Знак устанавливается в зоне с уровнем радиоактивного загрязнения 1-5 **Ки/км²** (*37-185* ***кБк/м²***) – на дорогах республиканского и областного значения перед въездом в зону



РАДИОАКТИВНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ!
Выпас скота, сенокошение, сбор грибов и ягод, заготовка дров ЗАПРЕЩЕНЫ!

Знак устанавливается в зоне с уровнем радиоактивного загрязнения 5-15 **Ки/км²** (*185-555* ***кБк/м²***) – на дорогах перед въездом в зону и в местах, наиболее посещаемых людьми



РАДИОАКТИВНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ!
ВХОД И ВЪЕЗД ЗАПРЕЩЕН!

Знак устанавливается в зоне с уровнем радиоактивного загрязнения 15 **Ки/км²** (*555* ***кБк/м²***) **и более** – на дорогах и по границам лесных массивов, расположенных возле населенных пунктов

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

которые из-за постоянной смены воды менее загрязнены по сравнению с замкнутыми непроточными водоемами.

Уровень радиоактивного загрязнения рыб зависит от места их обитания.

Наиболее загрязненными являются придонные и хищные виды рыбы:	***Наименее загрязнены обитатели верхней части водоемов***
карась, карп, линь, окунь, щука, сом	плотва, лещ, судак, голавль

Перед приготовлением рыбу рекомендуется тщательно очистить, вымыть и обязательно удалить голову, плавники и внутренности.

Помимо рассмотренных видов лесохозяйственной деятельности, важную роль в экономике республики играет заготовка древесной продукции. В основном она осуществляется в зонах с уровнем загрязнения по ^{137}Cs до $555\ кБк/м^2$ ($15\ Ки/км^2$). Древесина, продукция из древесины и древесных материалов и другие виды продукции лесного хозяйства непищевого назначения подлежат обязательному радиационному контролю.

В настоящее время в нашей стране действуют Республиканские допустимые уровни, регламентирующие содержание ^{137}Cs в древесной продукции (РДУ/ЛХ-2001).

Республиканские допустимые уровни содержания ^{137}Cs в древесине, древесных материалах, продукции из них и прочей непищевой продукции лесного хозяйства

№ п/п	Наименования групп продукции	Удельная (объемная) активность, Бк/кг, л
1	Лесоматериалы круглые:	
1.1	Лесоматериалы круглые для строительства стен жилых зданий	740
1.2	Лесоматериалы круглые прочие	1 480
2	Древесное технологическое сырье	1 480
3	Топливо древесное	740
4	Пилопродукция, изделия и детали из древесины и древесных материалов:	
4.1	Пилопродукция, изделия и детали из древесины и древесных материалов для строительства (внутренней обшивки) стен жилых зданий	740
4.2	Пилопродукция, изделия и детали из древесины и древесных материалов прочие	1 850
5	Прочая непищевая продукция лесного хозяйства	1 850

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

С целью предотвращения поставок потребителям лесной продукции, загрязненной выше допустимых уровней, в 16 наиболее загрязненных лесхозах страны были созданы специальные подразделения *радиационного контроля*, в том числе и передвижные.

Радиационный контроль

В конторах лесхозов, лесничеств, деревообрабатывающих цехов установлены информационные стенды, на которых приведены

- карты–схемы радиоактивного загрязнения лесов;
- действующие нормы на содержание радионуклидов в лесной продукции;
- уровни радиоактивного загрязнения местной лесной продукции;
- адреса лабораторий и постов, где можно проверить продукцию.

Лесные территории с плотностью загрязнения ^{137}Cs 37 кБк/м^2 (1 Ки/км^2) и выше занимают в Республике Беларусь площадь около 2 млн.км^2

Получить информацию о радиационной обстановке в окрестностях конкретного населенного пункта можно в ближайшем лесхозе.

На территории с плотностью загрязнения ^{137}Cs свыше *185 кБк/м^2* (*5 Ки/км^2*), а также на землях, подверженных водной и ветровой эрозии, которые неперспективны для сельскохозяйственного производства, проводятся мероприятия *по выращиванию лесов (облесение)*. Эта мера способствует предотвращению распространения радионуклидов на более чистые территории в результате водной и ветровой эрозии почв.

Выращивание лесов

Чтобы не допустить распространения радионуклидов вследствие пожаров, проводятся также профилактические *противопожарные мероприятия*. На дорогах при въездах в лес устанавливают шлагбаумы, а непосредственно на лесной территории — пожарно-наблюдательные вышки и мачты. В лесах создают противопожарные разрывы и просеки.

Противопожарные мероприятия

В засушливые периоды, когда повышается пожарная опасность, усиливается авиапатрулирование лесов.

Важнейшей задачей сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения является получение нормативно чистой продукции, т. е. продукции с содержанием радионуклидов в пределах установленных норм. Для ее решения разработан и выполняется комплекс специальных защитных мероприятий.

Сельское хозяйство

Растениеводство

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Защитные меры в сельском хозяйстве

- Подбор культур и сортов с минимальным уровнем накопления радионуклидов
- Обработка почвы
- Защита сельскохозяйственных растений
- Регулирование водного режима

Подбор культур и сортов с минимальным уровнем накопления радионуклидов

Подбор культур и сортов с минимальным уровнем накопления радионуклидов является наиболее доступным средством снижения поступления радионуклидов из почвы в растения. Специалисты в области сельскохозяйственной радиологии установили, что растения по-разному накапливают радионуклиды.

Растительную продукцию в порядке снижения накопления ^{137}Cs можно расположить в следующей последовательности:

Максимум

- зеленая масса рапса, клевера, гороха, вики,
- зеленая масса люпина,
- многолетние злаковые травы,
- солома овса,
- зеленая масса кукурузы,
- зерно овса, ячменя,
- картофель,
- кормовая свекла,
- зерно озимой ржи и пшеницы.

Минимум

По снижению накопления ^{90}Sr растительная продукция располагается в следующем порядке:

Максимум

- зеленая масса клевера, люпина, гороха, рапса, вики,
- зеленая масса многолетних злаковых трав,
- зеленая масса озимой ржи,
- кормовая свекла,
- зеленая масса кукурузы,
- солома овса, озимой ржи,
- зерно ячменя, овса, озимой ржи
- картофель

Минимум

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Выявленные специалистами закономерности накопления радионуклидов различными сельскохозяйственными культурами являются основой формирования структуры посевов и специализации растениеводства в загрязненных районах.

Эффективной мерой, снижающей поступление радионуклидов в растения, является обработка почвы.

Обработка почвы

Глубокая вспашка

Может снижать поступление радионуклидов в растения в 5 –10 раз, однако заглубляет плодородный слой почвы и делает невозможным получение хорошего урожая сельскохозяйственных культур.

Известкование кислых почв

Внесение доломитовой муки или др. веществ, уменьшающих кислотность почвы, снижает поступление радионуклидов в урожай сельскохозяйственных растений в 1,5 – 3 раза.

Внесение удобрений

- *калийных* (в почвы с низким содержанием обменного калия),
- *органических*,
- *фосфорных* (на почвах с низким содержанием доступного растениям фосфора),
- *азотных*,
- *медленно действующих — типа карбамида и сульфата аммония, которые выпускает Гродненский ПО «Азот»*,
- *микроудобрений* (*например сульфата марганца*).

Уменьшает поступление ^{137}Cs и ^{90}Sr в растения в 1,3 – 3 раза.

! Чрезмерно высокие дозы азотных удобрений могут усиливать поступление радионуклидов из почвы в растения.

Глубокое рыхление

Периодически применяют на переуплотненных, подвергнутых эрозии (разрушению) и избыточно увлажняемых почвах

Снижению содержания радионуклидов в растительной продукции способствует также проведение комплексных мероприятий по защите растений.

Защита сельскохозяйственных растений

- от вредителей
- от болезней
- от сорняков

Эти меры позволяют увеличивать урожайность и снижать (до 40 %) концентрацию радионуклидов в растениеводческой продукции

Практически все агротехнические приемы, увеличивающие плодородие почв и урожайность сельскохозяйственных культур, способствуют снижению удельной активности сельскохозяйственной продукции.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Регулирование водного режима

Одним из способов снижения накопления радионуклидов сельскохозяйственными культурами является *регулирование водного режима* переувлажненных почв.

Меньше всего растения накапливают радионуклиды, когда уровень воды располагается на глубине 90 – 120 см от поверхности почвы.

Подъем воды до уровня 35 – 50 см от поверхности почвы приводит к увеличению накопления радионуклидов в растениеводческой продукции до 20 раз.

Снижение поступления радионуклидов из почвы в растения позволило обеспечить животноводство кормами с уровнями загрязнения, допустимыми для получения нормативно чистой мясной и молочной продукции.

Животноводство

В системе мероприятий по снижению содержания радионуклидов в продукции животноводства можно выделить следующие приемы:

- производство кормов с допустимым содержанием радионуклидов;
- изменение условий содержания и рационов кормления крупного рогатого скота, использование наименее загрязненных кормов на заключительной стадии откорма;
- введение в рацион специальных добавок, снижающих переход радионуклидов в продукцию животноводства;
- технологическая переработка продуктов животноводства;
- перепрофилирование отраслей животноводства (замена молочного скотоводства на мясное или скотоводства на свиноводство, птицеводство и т. д.).

Производство нормативно чистых кормов

В настоящее время в Республике Беларусь действуют следующие нормативы по содержанию радионуклидов цезия и стронция в кормах.

Допустимые уровни содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в кормах

Виды кормов	Допустимое содержание радионуклидов в кормах, Бк/кг	
	^{137}Cs	^{90}Sr
Сено	1 480	260
Солома	370	185
Сенаж	600	100

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Виды кормов	Допустимое содержание радионуклидов в кормах, Бк/кг	
	^{137}Cs	^{90}Sr
Силос	300	50
Зеленая масса	185	37
Зерно, фураж	200	100

Кроме производства кормов с допустимым уровнем содержания радионуклидов, были также разработаны и внедрены другие методы получения продукции животноводства, соответствующей действующим в республике нормативам. Например, для получения нормативно чистого мяса была разработана схема откорма животных, по которой на заключительной стадии перед убоем их на протяжении 2 – 3 месяцев содержали на кормах с наиболее низким уровнем загрязнения радиоактивным цезием.

Изменение условий содержания

Эффективным способом снижения загрязнения продуктов животноводства (молока, мяса) ^{137}Cs является использование кормовых добавок, избирательно связывающих радионуклиды в желудочно-кишечном тракте животных. К таким добавкам относятся ферроцианидные препараты — *ферроцин* или *ферроцианид*.

Кормовые добавки

Ферроцин — соединение, состав которого отражает химическая формула $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$
Ферроцианид — $KFe[Fe(CN)_6]$

Механизм действия таких препаратов основан на способности ферроцианидов образовывать с цезием нерастворимые соединения, которые в процессе пищеварения не усваиваются в организме животного и естественным путем выводятся из организма.

Обычно ферроцианидные препараты применяют в виде добавки к комбикормам и отдельно в виде болюсов — капсул, наполненных ферроцианидным препаратом.

Болюсы с ферроцианидом предназначены для введения в организм крупного рогатого скота через пищеварительный тракт. В пищеварительном тракте оболочка болюса растворяется и содержащийся в капсуле препарат взаимодействует с радиоактивным цезием.

В настоящее время выпускаются комбикорма - концентраты с ферроцианидом для крупного и мелкого рогатого скота.

Комбикорм, содержащий 0,6 % ферроцианида, в количестве 0,5 кг дают ежедневно утром дойным коровам

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

в течение лактационного периода, а также в течение 2 - 3 месяцев на заключительном этапе откорма крупного рогатого скота. Такой же комбикорм в количестве 0,15 кг дают ежедневно по утрам и молочным козам в течение лактационного периода, а также мелкому рогатому скоту на протяжении 1,5 – 2 месяцев перед убоем.

Применение комбикорма с добавкой ферроцианида в рекомендуемых дозах не вызывает у животных побочных эффектов. При этом его не рекомендуется назначать животным одновременно со средствами, усиливающими перистальтику желудочно-кишечного тракта, а также со слабительными, поскольку подобные средства снижают эффективность действия ферроцианидного препарата.

Применяют также брикеты соли-лизунца, содержащей *ферроцином*. Брикеты помещают в кормушки или раскладывают на пастбищах в местах отдыха животных.

Продукцию, полученную от животных, которым скармливали препараты ферроцианидов , можно использовать без ограничения при условии содержания в ней ^{137}Cs ниже допустимых уровней.

Применение ферроцианидных препаратов позволяет в 2 - 5 раз (в зависимости от уровня загрязнения кормов) снизить содержание ^{137}Cs в молоке и мясе.

Полесский государственный радиационно-экологический заповедник

Важнейшим мероприятием *радиоэкологической защиты* территории, пострадавшей от катастрофы на Чернобыльской АЭС, явилось создание Полесского государственного радиационно-экологического заповедника (ПГРЭЗ).

Заповедник был создан в 1988 году на белорусской территории зоны отчуждения.

Проживавшее на этой территории население (24,7 тыс. человек) в 1986 году было эвакуировано. Тогда же на этой территории была прекращена хозяйственная деятельность.

В 1993 году к ПГРЭЗ присоединили прилегающую отселенную территорию, и площадь заповедника достигла 2,154 тыс. км^2.

Максимальная плотность загрязнения территории ПГРЭЗ:

- по ^{137}Cs — 49 950 кБк/м^2 (1 350 Ки/км^2),
- по ^{90}Sr — 2 590 кБк/м^2 (70 Ки/км^2),
- по изотопам плутония — ^{238}Pu, ^{239}Pu, ^{240}Pu и ^{241}Am — 185 кБк/м^2 (5 Ки/км^2).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Высокий уровень загрязнения территории заповедника изотопами плутония и америция не позволит даже в отдаленном будущем возвратить основную часть его земель в хозяйственное пользование.

Основными задачами ПГРЭЗ являются:

- охрана территории заповедника и предотвращение выноса радионуклидов с его территории;
- защита лесов и бывших сельхозугодий от пожаров;
- обеспечение естественного развития природы;
- проведение научных наблюдений за радиационно-экологическим состоянием и изменением природной среды в условиях радиоактивного загрязнения и прекращения хозяйственной деятельности;
- выращивание лесов на территориях с почвенным покровом, подверженным ветровой и водной эрозии.

На территории заповедника действует особый *правовой режим*. Вокруг заповедника построены заградительные сооружения и установлены *предупреждающие* знаки. Территория заповедника охраняется. Въезд на территорию заповедника осуществляется только по пропускам через систему контрольно-пропускных пунктов. Это делается для того, чтобы предотвращать:

- самовольное проникновение граждан и транспортных средств на территорию заповедника,
- неконтролируемый вывоз грузов,
- браконьерство, сбор даров леса.

Вместе с другими мерами, предпринимаемыми Правительством Республики Беларусь, создание заповедника направлено на защиту человека и среды его обитания от повышенного радиационного воздействия радионуклидов чернобыльского выброса.

Для снижения радиационного риска и сохранения здоровья населения среди других предпринимаемых мер особое значение на современном этапе имеет организация правильного питания. Об этом и пойдет речь в следующем разделе.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

10.3 Правильное питание

Рацион питания — это состав и количество продуктов питания, потребляемых живым организмом за определенный промежуток времени (за сутки — *суточный рацион*, за месяц — *месячный рацион* и т. д.)

При повышенном содержании радионуклидов в окружающей среде рацион питания должен не только удовлетворять потребности организма в питательных веществах, но и иметь профилактическую направленность, т. е. способствовать увеличению сопротивляемости организма действию радиации.

Это особенно важно для подрастающего поколения. Недостаточное потребление питательных веществ в детском и юношеском возрасте

- способствует появлению нарушений обмена веществ;
- может вызвать задержку физического и психического развития;
- приводит к снижению иммунитета.

Иммунитет — это способность живых организмов противостоять действию негативных факторов, в том числе и ионизирующего излучения в повышенных дозах.

Изменения, возникающие в детском организме из-за нехватки питательных веществ, могут приобрести необратимый характер и впоследствии не поддаваться исправлению

В рационе питания жителей радиоактивно загрязненных районов должно содержаться необходимое количество *основных питательных веществ*.

Основные питательные вещества

- *Белки*, содержащие необходимые организму *аминокислоты* (особенно, серосодержащие)
- *Сложные углеводы*, отличные от крахмала
- *Фосфолипиды*
- *Жирные кислоты*

Белки

Белки являются незаменимыми веществами, без которых невозможна жизнь человека. Они обеспечивают рост и регенерацию клеток и тканей, участвуют в процессах кроветворения, способствуют усвоению питательных и других биологически важных веществ, а также развитию иммунитета.

Аминокислоты, являющиеся основной составной частью белков, необходимы для образования гормонов и ферментов, формирования костной ткани, обновления клеток. Недостаточное поступление белков может приводить к негативным изменениям во всех системах организма. Одним из наиболее ранних проявлений белковой недостаточности является снижение иммунитета.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Содержащиеся в пище белки должны включать все аминокислоты, необходимые организму человека для нормальной жизнедеятельности. Белки входят в состав продуктов как животного, так и растительного происхождения. Основные источники полноценного белка перечислены в следующей таблице.

Полноценные белки — это белки, содержащие все аминокислоты, необходимые организму человека для нормальной жизнедеятельности

Основные источники полноценного белка	
Продукты животного происхождения	Продукты растительного происхождения
Говядина, свинина, птица, мясо кролика	Фасоль, горох, зеленый горошек
Яйца куриные, утиные, индюшачьи, перепелиные и другие	Чечевица, гречневая и овсяная крупы
Рыба и морепродукты	Хлебопродукты из муки грубого помола и отрубей
Творог, твердые сыры	Капуста, картофель

Фосфолипиды и жирные кислоты

Важную роль в питании человека играют *фосфолипиды* и *жирные кислоты*. Поскольку эти вещества входят в состав клеточных мембран, без них невозможно развитие клеток. *Фосфолипиды* и *жирные кислоты* оказывают влияние на проницаемость клеточных мембран, поэтому от них зависит устойчивость организма к воздействию ионизирующих излучений, инфекционным болезням, канцерогенным факторам.

Недостаток *фосфолипидов* и *жирных кислот* приводит к нарушению нормального развития растущего организма, снижая его сопротивляемость неблагоприятным внешним воздействиям.

Основные источники фосфолипидов и жирных кислот:

- *растительные масла (подсолнечное, кукурузное, оливковое и др.),*
- *животные жиры.*

Пектин и клетчатка

Сложные углеводы такие, как *пектин* и *клетчатка*, также чрезвычайно важны для организма человека, особенно в неблагоприятных экологических условиях.

Эти вещества обладают способностью связывать и выводить тяжелые металлы и радионуклиды из организма человека, снижая тем самым их токсическое действие.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Пектини клетчатка способствуют также нормализации микрофлоры кишечника. Кроме того, они улучшают перистальтику кишечника, ускоряя выведение из организма токсичных продуктов, в том числе и радиоактивных.

Основные источники пектина и клетчатки:

- *зерновые культуры,*
- *фрукты, овощи и продукты их переработки — соки с мякотью, варенье, джемы,*
- *пектинсодержащие кондитерские изделия (зефир, пастила, мармелад).*

Подобно пектинам и клетчатке действуют в организме и *альгинаты* и *каррагенаты* — вещества, которые в больших количествах содержатся в морских водорослях ламинариях (морской капусте).

Витамины

Незаменимы в питании и *витамины* — специфические органические вещества сравнительно небольшой, по сравнению с биополимерами, молекулярной массы.

От *витаминов* не зависит калорийность пищи, но они крайне необходимы для нормального функционирования организма человека. *Витамины* регулируют обмен веществ. Без них невозможно усвоение пищи, нормальная работа печени, почек, функционирование всех систем организма. Кроме того, *витамины* поддерживают устойчивость организма к воздействию неблагоприятных факторов внешней среды.

Важнейшие витамины

***A*, *B*$_1$, *B*$_2$,**
***B*$_6$, *B*$_9$, *B*$_{12}$,**
***C*, *Д*, *E*, *K*, *PP* (*B*$_3$)**

При отсутствии *витаминов* нарушаются процессы обмена веществ и кроветворения. *Витамины* необходимы организму в небольших количествах — от микрограммов до нескольких миллиграммов в день в зависимости от их состава.

В организме человека могут синтезироваться лишь отдельные *витамины*, при этом, зачастую, в недостаточном количестве. Поэтому витамины обязательно должны поступать в организм с пищей, а если в рационе недостаточно витаминов, — в виде поливитаминных препаратов.

В следующей таблице приведены важнейшие витамины, их функции в организме человека, последствия их дефицита и продукты, содержащие эти витамины.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Характеристики важнейших витаминов

Витамин	Роль в организме человека	Реакция организма при дефиците витамина	Продукты, содержащие витамин
A ***(ретинол)***	• Участвует в процессах роста и обновления тканей организма, • способствует защите организма от инфекций и препятствует образованию опухолей, • обладает радиопротекторными свойствами, • необходим для поддержания нормальной работы органов зрения, • помогает при аллергии, • регулирует деятельность нервной системы. Витамин *A* лучше действует в комплексе с витаминами *C* и *E*.	Возможно • ухудшение зрения в ночное время и даже слепота, • появление трудно заживающих трещин на коже, через которые в организм может проникать инфекция.	Печень и почки животных, рыбий жир, яичные желтки, сливочное масло, сливки, молоко. Многие растительные продукты, имеющие красную, оранжевую, желтую и зеленую окраску (морковь, томаты, красный перец, капуста, шпинат, листья салата, зеленый лук и др.) содержат *бета-каротин* — провитамин витамина *A*, из которого в организме человека в присутствии жиров синтезируется витамин *A*.
B_1 ***(тиамин)***	Участвует в углеводном, белковом, азотистом и жировом обмене.	Возможны нарушения в работе • нервной, • сердечно-сосудистой, • пищеварительной, • других систем организма.	Бобовые, отруби, ячменная и овсяная крупы, хлеб из муки грубого помола (особенно ржаной), орехи (лесные, грецкие, арахисовые), куриные яйца, печень, почки и мясо животных, картофель, пекарские дрожжи.
B_2 ***(рибофлавин)***	• Участвует в обмене белков, углеводов и жиров; • необходим для нормальной работы Ø органов пищеварения (особенно печени), Ø органов зрения; • необходим для поддержания здоровья кожи. *При высоком содержании в пище углеводов или жиров потребность организма в витамине B_2 повышается в несколько раз.*	Возможны • нарушения процессов желудочной секреции, • болезни желудка и кишечника, • сухость и зуд кожи, • нарушения процессов кроветворения, роста, • нарушения функционирования органов зрения (повышенная чувствительность к свету).	Капуста, свежий зеленый горох, яблоки, зеленая фасоль, помидоры, репа, пивные дрожжи, печень животных, говядина, яйца, молоко и молочные продукты, свежепроращенные зерна пшеницы. *Витамин B_2 разрушается на свету, поэтому молоко и молочные продукты, постоявшие на свету несколько часов, не только прокисают, но и теряют витамин B_2.*

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Витамин	Роль в организме человека	Реакция организма при дефиците витамина	Продукты, содержащие витамин
***B_6* (*пиридоксин*), *PP* (*B_3*) (*ниацин*)**	Влияют на Ø функционирование нервной системы, Ø процессы кроветворения.	Возможны • нарушения деятельности нервной системы, процессов кроветворения, • снижение устойчивости организма к неблагоприятным внешним воздействиям, • анемия, • быстрая утомляемость, чувство постоянной усталости	Крупы, хлеб, бобовые, мясо и печень животных.
***B_9* (*фолиевая кислота*), *B_{12}* (*цианокобаламин*)**	Необходимы для • нормального функционирования всех клеток организма, • образования клеток крови, в том числе эритроцитов и лимфоцитов.	При дефиците витамина B_9 возможна • непереносимость белка *глютена*, что приводит к нарушению усвоения питательных веществ. При дефиците витамина B_{12} возможны • анемия, • повреждение нервных клеток.	Печень и почки животных, говядина, рыба, дрожжи, зеленые листовые овощи, спаржа, брокколи, чечевица, соя, цельнозерновые крупы.
***C* (*аскорбиновая кислота*)**	• Принимает участие в окислительно-восстановительных реакциях, протекающих в организме; • влияет на Ø белковый обмен, Ø сопротивляемость организма инфекциям, Ø эластичность кровеносных сосудов, Ø состояние зубов и десен; • замедляет процессы старения организма.	Возможны • снижение сопротивляемости организма инфекциям, • уменьшение эластичности кровеносных сосудов, • ухудшение состояния зубов и десен.	Черная смородина, лимоны, апельсины, плоды шиповника, кресс-салат, красный перец, помидоры, репа и разнообразная зелень.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Витамин	Роль в организме человека	Реакция организма при дефиците витамина	Продукты, содержащие витамин
Д *(**кальциферол**)*	• Регулирует обмен фосфора и кальция в организме, • влияет на формирование костной ткани, способствуя превращению органических соединений фосфора в неорганические, • регулирует работу нервной и иммунной систем, • необходим для нормальной работы сердца, свертывания крови.	У младенцев и детей возможно • развитие рахита — тяжелого заболевания, при котором снижается всасывание кальция из пищи. Это приводит к нарушению процесса формирования костей и к деформации конечностей, таза, грудной клетки	Печень морских рыб, особенно трески и палтуса, рыбий жир, куриные и др. яйца, молоко, сливочное масло. В растительных продуктах содержатся провитамины витамина *Д* (*стерины*), которые под действием ультрафиолетовых лучей могут преобразовываться в организме человека в витамин *Д*. *В организме светлокожих людей под действием ультрафиолетовых лучей витамин Д синтезируется вдвое быстрее, чем у людей со смуглой кожей.*
Е *(**токоферол**)*	• Влияет на формирование клеток крови, • стабилизирует клеточные мембраны, • участвует в белковом обмене, • нормализует Ø мышечную деятельность, Ø состояние половых желез, гипофиза, надпочечников, щитовидной железы; • способствует нормальному функционированию иммунной системы, разрушая вещества, отравляющие клетки этой системы; • обладает мощными антиоксидантными свойствами • необходим для противораковой, противовирусной и противомикробной защиты организма. *Действие витамина Е усиливается в комбинации с витаминами А, С и группы В.*	Возможны • активация окислительных процессов в клетках, что ведет к образованию холестериновых бляшек на стенках кровеносных сосудов, • развитие ожирения.	Растительные масла, зародыши злаков, ячменная и овсяная крупы, фасоль, бобы, дрожжи, орехи (лесные, грецкие, арахисовые), зеленые овощи (салат-латук, листовой салат), яйца, печень, почки, картофель.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Витамин	Роль в организме человека	Реакция организма при дефиците витамина	Продукты, содержащие витамин
K	• Поддерживает необходимую концентрацию в крови протромбина — вещества, обеспечивающего свертываемость крови; • играет важную роль в обмене веществ в костной и соединительных тканях; • участвует в работе почек, • помогает включить накопленные организмом углеводы в процесс внутриклеточного обмена веществ; • помогает работе печени; • придает нам бодрость и способствует долголетию.	Возможны • нарушения в работе кишечника; • пониженная свертываемость крови и плохое заживление ран; • кровотечения из носа; • повышенная утомляемость;	Зеленые листовые овощи и салаты (розовая и зеленая листовая капуста, шпинат, брокколи, кресс-салат, цветная капуста), фасоль, огурцы, цуккини, помидоры. *Обезболивающие средства, прогорклый жир и консерванты* в пище разрушают витамин ***K*** и препятствуют его усвоению.

Возможные причины дефицита *витаминов* в организме человека:

- недостаточное или несбалансированное содержание витаминов в пище;
- неполное их всасывание при нарушении работы кишечника;
- нарушение усвоения витаминов в результате заболевания различных органов;
- повышенная потребность в витаминах в определенные периоды жизни человека (при заболевании, беременности женщин, интенсивном росте, во время стрессов, повышенной физической активности, после хирургического вмешательства и т. д.).



Организм человека нуждается в *определенном количестве витаминов*. Нежелателен как недостаток, так и избыток витаминов. Признаки *дефицита витаминов* часто трудно распознать, поэтому человек не должен принимать *витамины* без разбора и в большом количестве. О том, какие витамины и в каком количестве следует принимать каждому человеку, обязательно нужно проконсультироваться со специалистом.

Чтобы организм человека нормально развивался и функционировал, он также нуждается в достаточном

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

количестве *кальция, фосфора, магния, железа, натрия, калия, цинка, йода, селена и других биологически важных элементов*. Эти элементы необходимы для роста и развития костной, мышечной и нервной тканей, а также для образования компонентов крови. Они являются обязательной частью продуктов питания и обычно их называют «*минералами*».

«Минералы»

В следующей таблице приведены примеры биологически важных минералов, указаны их функции в организме человека , последствия дефицита этих минералов, а также продукты, содержащие их.

Характеристики важнейших минералов

«Минерал»	Роль «минерала» в организме человека	Реакция организма при дефиците «минерала»	Продукты, содержащие «минерал»
Кальций	• Входит в состав костной ткани и практически всех клеток организма; • участвует в работе всех органов и систем организма человека; • препятствует накоплению в организме радиоактивного стронция, поскольку является его химическим аналогом и конкурирует со стронцием за место в костной ткани. *При достаточном количестве кальция в пище он вытесняет из костной ткани уже попавший туда радиоактивный стронций.*	Возможны • серьезные нарушения обмена веществ; • увеличение накопления радиоактивного стронция в организме человека.	Яйца, сыр, молоко и кисломолочные продукты, морепродукты, бобовые, хлеб, крупы, яблоки, абрикосы, свекла, ежевика, капуста, морковь, крыжовник, виноград, фасоль, лук, апельсины , персики , ананасы, редис, клубника , проращённые зерна пшеницы.
Калий	• Регулирует работу сердца, почек, печени, скелетных мышц; • препятствует накоплению радиоактивного цезия в организме человека.	Возможны • нарушения в деятельности сердца, почек, печени, скелетных мышц и др. органов и тканей; • увеличение накопления радиоактивного цезия в организме человека.	Фрукты, ягоды, листовые овощи , бобовые , картофель , курага , изюм, чернослив, овсяная крупа , грейпфруты, петрушка, редис, помидоры, капуста, ржаной хлеб, листья одуванчика.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

«Минерал»	Роль «минерала» в организме человека	Реакция организма при дефиците «минерала»	Продукты, содержащие «минерал»
Железо	• Является составной частью гемоглобина крови. Именно железо связывает кислород, который по кровеносной системе доставляется всем органам и тканям; • входит в состав многих ферментов и участвует в химических превращениях, происходящих в клетках организма.	Наиболее часто недостаток железа проявляется у женщин и детей. Постоянная физиологическая потеря железа с кровью обуславливает повышенную потребность в железе женского организма (от 10 до 20 мг в сутки) по сравнению с мужским (5 – 10 мг).	Мясо, печень, почки, рыба, икра, овсяная крупа, яичные желтки, сухофрукты, крыжовник, горчица, кресс-салат, крапива, гранаты, апельсины, абрикосы, айва, хурма, рябина садовая, горох, мята, ананасы, редис, малина, клубника, помидоры, цветная капуста, свекла, яблоки, проращённые зерна пшеницы.
Фосфор	• Необходим для Ø функционирования нервной системы, Ø роста и развития костной ткани, Ø процессов кроветворения; • является элементом, от которого зависит деятельность практически всех систем организма.	Возможны нарушения • роста и развития костной ткани, • функционирования нервной системы, • процессов кроветворения и др.	Бобы, цветная капуста, сельдерей, салат-латук, сыр, печень трески, яичный желток, рыба (особенно лосось, сардины), креветки, мясо животных, овсяная крупа, грибы, соя, грецкие орехи, проращённые зерна пшеницы.
Магний	Является жизненно важным элементом и находится во всех тканях организма: • необходим для нормального функционирования клеток; • участвует в большинстве реакций обмена веществ; • играет важную роль в поддержании ионного баланса в мышечной ткани.	Возможны нарушения • нормальногофункционированияклеток; • процессов обмена веществ; • ионного баланса в мышечной ткани	Овсяная и пшенная крупы, сырые яичные желтки, цветная капуста, салат-латук, печень животных, рыба, тыква, мята, цикорий, петрушка, арахис, грецкие орехи, курага, сливки, проращённые зерна пшеницы.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

«Минерал»	Роль «минерала» в организме человека	Реакция организма при дефиците «минерала»	Продукты, содержащие «минерал»
Селен	Входит в состав одного из основных ферментов антиоксидантной системы организма: • Обладает антиканцерогенным и антимутагенным действием; • стимулирует деятельность иммунной системы; • усиливает защитные функции организма, в том числе, и к действию ионизирующего излучения.	Возможно • снижение сопротивляемости организма воздействию негативных факторов. *Низкое содержание селена в продуктах питания, производимых в Беларуси, связано с особенностями почв республики, которые бедны селеном.*	Рисовая, ячменная и овсяная крупы, чеснок, рыба. *В республике начато производство некоторых продуктов питания с добавлением соединений селена (например, куриные яйца).*

Макроэлементы

Элементы, которые необходимы организму в относительно большом количестве (их суточная потребность измеряется граммами и миллиграммами), называют *макроэлементами*. Перечисленные в таблице элементы, за исключением селена, относятся к макроэлементам.

Микроэлементы

Однако некоторые элементы, играющие важную роль в жизнедеятельности организма человека, особенно в детском возрасте, необходимы ему в чрезвычайно малых количествах (их суточная потребность измеряется микрограммами). Такие элементы называют *микроэлементами*. К ним относятся *медь, цинк, кобальт, йод, фтор* и др.

Содержание достаточных количеств микроэлементов в рационе питания особенно важно для населения, проживающего на загрязненных радионуклидами территориях, так как недостаток подобных элементов ослабляет защитные функции организма.

Основные источники микроэлементов:

- куриные и другие яйца,
- морепродукты (рыба, кальмары, креветки, морская капуста и др.),
- печень,
- бобовые.

Для населения, проживающего в условиях повышенного радиационного риска, особый интерес представляют *вещества, которые связывают радионуклиды и выводят их из организма.*

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Основные источники веществ, способствующих выведению радионуклидов из организма человека:

плоды черноплодной рябины, черной смородины, черники, облепихи, вишни, боярышника, сливы, клюквы, винограда, брусники, яблоки, чайный лист, мята, крапива.

Кроме связывания и выведения радионуклидов из организма человека, эти продукты

- укрепляют стенки сосудов,
- обладают противовоспалительным действием,
- способствуют разрушению жиров и жироподобных веществ,
- снижают кровяное давление.

Антиоксиданты

В условиях радиоактивного загрязнения местности особое значение приобретают *антиоксиданты*.

Антиоксиданты — это вещества, препятствующие накоплению избыточного количества химически активных радикалов, которые образуются в организме человека под влиянием различных факторов, в том числе и под действием ионизирующего излучения. Следовательно, антиоксиданты защищают клетки организма от действия радиации.

Антиоксидантным действием обладают

- *витамины А, С, Е;*
- *витаминно-минеральные комплексы, среди прочих, содержащие витамины А, С, Е;*
- *бета-каротин* (содержится в моркови и других овощах);
- *вещества, содержащиеся в проращённых зернах пшеницы;*
- *вещества, содержащиеся в экстракте березового гриба;*
- *соединения селена и цинка.*

Чтобы сохранить здоровье в условиях повышенного радиационного риска, населению следует знать о *радиопротекторных* свойствах тех или иных пищевых продуктов и использовать эти знания при составлении рациона питания.

Радиопротекторы — это вещества, способные уменьшать негативное воздействие ионизирующего излучения на организм человека.

К веществам, которые обладают радиопротекторными свойствами, способствуют ограничению накопления и выведению радиоактивных веществ из организма человека, а также укрепляют защитные функции организма, можно отнести *белки, пектин и клетчатку соли калия, кальция, антиоксиданты, витамины и др.*

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

На радиоактивно загрязненной территории не нужна специальная диета. При составлении рациона питания населению следует лишь учитывать некоторые рекомендации.

Рекомендации по составлению рациона питания для населения радиоактивно загрязненных территорий

- Рацион питания должен включать *повышенное* (до 10 % от суточной потребности) *количество белка*, чтобы поддерживать в организме на необходимом уровне содержание гормонов и ферментов, которые имеют белковую природу. Белки повышают устойчивость организма к хроническому внутреннему облучению, поскольку

  !

  - обеспечивают регенерацию клеток и тканей организма,
  - участвуют в процессах кроветворения,
  - способствуют укреплению иммунитета.

- Пищевые продукты должны включать достаточное количество *фосфолипидов* и *ненасыщенных жирных кислот*, которые
  - входят в состав клеточных мембран,
  - регулируют процессы перекисного окисления липидов.

  Богаты ненасыщенными жирными кислотами растительные масла, рыба, орехи, семена тыквы и подсолнуха. Их обязательно следует включать в рацион питания, особенно детям.
- Рацион должен быть обогащен *клетчаткой* и *пектином*, которые
  - связывают радионуклиды и другие токсичные продукты;
  - ускоряют выведение радионуклидов и других токсичных продуктов из организма, улучшая перистальтику кишечника.
- Продукты питания должны включать все необходимые организму *витамины* и элементы *минерального питания*, в том числе, и *микроэлементы*.

Чтобы организм был полностью обеспечен веществами, необходимыми для его нормального функционирования, целесообразно использовать разнообразные продукты питания, которые дополняют друг друга по составу компонентов

Безусловно, следует употреблять в пищу продукты, прошедшие ***радиационный контроль****, особенно это касается продукции, произведенной в личном хозяйстве. Кроме этого, необходимо выполнять определенные гигиенические требования, чтобы ограничить поступление радионуклидов в организм человека.*

!

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Поступление радионуклидов с продуктами питания, полученными на радиоактивно загрязненной территории, можно сократить, если

- тщательно мыть овощи и фрукты,
- очищать корнеплоды от кожуры,
- удалять сухожилия из мяса,
- вымачивать мясо и рыбу перед приготовлением в течение 1 – 2 часов в подсоленной воде,
- исключать из меню костные бульоны,
- подвергать продукты питания специальной обработке.

О том, как снижают содержание радионуклидов в продуктах питания различные виды технологической и кулинарной обработки, видно из данных, приведенных в следующей таблице.

Изменение содержания радионуклидов в продуктах питания при технологической и кулинарной обработке

Исходный продукт	Готовый продукт (блюдо)	Снижение содержания радионуклидов по сравнению с исходным продуктом	
		^{137}Cs	^{90}Sr
Молоко	Творог	в 3 - 6 раз	в 3 - 7 раз
	Сыр	в 8 - 10 раз	в 2 раза
	Масло сливочное	до 50 раз	до 100 раз
	Сливки	в 3 - 14 раз	до 20 раз
Сливки	Масло	до 6 раз	до 6 раз
Говядина свежая	Говядина отварная	в 2 - 6 раз	до 2,5 раз
	Бульон	до 50 %	до 40 %
Рыба очищенная	Рыба отварная	до 10 раз	до 2 раз
	Рыба жареная	в 1,7 раза	практически не меняется
Картофель	Картофель отварной	в 1,7 раза	в 2 раза
Зерно (пшеница, рожь, ячмень, гречиха)	Хлеб, крупа	в 1,2 - 2,5 раза	в 1,5 - 3 раза

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Выведению радиоактивных веществ из организма человека способствуют и некоторые дополнительные процедуры, которые нетрудно осуществлять в домашних условиях.

Рекомендации по выведению радионуклидов из организма человека:

- Употреблять в пищу продукты, богатые *пектинами*, которые связывают радионуклиды и способствуют их выведению из организма (*соки с мякотью, яблоки, персики, крыжовник, клюква, абрикосы, слива, черная смородина, клубника, вишня, черешня, дыня, цитрусовые, зефир, джемы, мармелад*).
- Обеспечивать регулярный отток (*пассаж*) мочи и желчи за счет
  - дополнительного употребления 500 мл жидкости в сутки в виде *морсов, соков, компотов*,
  - приема настоев трав и плодов, обладающих слабым мочегонным действием (*ромашки, зверобоя, бессмертника, тысячелистника, мяты, шиповника, укропа, тмина, зеленогочая*).
- Регулярно опорожнять кишечник
  - употребляя продукты, богатые клетчаткой (*хлеб грубого помола, пшенная, гречневая, перловая и овсяная крупы, капуста, свёкла, морковь, чернослив*);
  - принимая *отвар льна, крапивы, ревеня, чернослива*

Несмотря на всю важность правильного питания, одного этого недостаточно для поддержания здоровья. Не менее существенную роль для сохранения работоспособности и хорошего самочувствия играет и образ жизни, который ведет человек, особенно в условиях повышенного радиационного риска. Об этом и пойдет речь в следующем разделе.

10.4 Здоровый образ жизни

Здоровье человека формируется под воздействием многих факторов. Специалисты полагают, что здоровье человека зависит

- от наследственности и биологических особенностей организма — на 18 – 20 %;
- от влияния окружающей среды — на 17 – 20 %;
- от уровня развития системы здравоохранения — на 8 –10 %.

Однако в основном (на 49 – 55 %), здоровье человека зависит от образа жизни, который он ведет.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Под *образом жизни человека* подразумевают:

- условия его труда и быта;
- то, как он использует свободное время,
  как удовлетворяет свои материальные и духовные потребности,
  как участвует в общественной и политической жизни;
- нормы и правила поведения, которых он придерживается в своей жизни;
- умения и навыки, которыми он пользуется, чтобы укрепить собственное здоровье.

С современной точки зрения, понятие «*здоровый образ жизни*» — это *осознанное постоянное выполнение гигиенических правил по укреплению и сохранению индивидуального здоровья и здоровья общества в целом.*

Гигиеническая гимнастика

Чтобы сохранить здоровье, особенно в сложных радиоэкологических условиях, человек должен вести *здоровый образ жизни.* Прежде всего, для этого необходимы:

- здоровое питание;
- двигательная активность;
- гигиенически рациональная организация труда в сочетании с полноценным активным отдыхом.







Важным элементом здорового образа жизни является регулярное занятие детей и взрослых физической культурой и спортом. Простейший и доступный для всех вид физической культуры — это *утренняя гигиеническая гимнастика.*

В отличие от специальных видов гимнастики, утренняя гигиеническая гимнастика представляет собой комплекс сравнительно простых, общеразвивающих и силовых упражнений, воздействующих на основные группы мышц тела. Такие упражнения не требуют большого физического напряжения.

Утреннюю гимнастику рекомендуется делать после сна, перед водными процедурами, в чистом, хорошо проветренном помещении, по возможности, с музыкальным сопровождением.

Утренняя гимнастика полезна как в физиологическом, так и в гигиеническом отношении. Обычно она включает 12 –15 упражнений на сгибание, разгибание, приседания, махи, повороты голо-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

вы, туловища, круговые движения рук и ног, ходьбу, бег, прыжки и другие движения. Все эти упражнения развивают и укрепляют опорно-двигательный аппарат, органы дыхания и кровообращения, улучшают деятельность желудка и кишечника. Они увеличивают циркуляцию крови, повышают тонус мышц, стимулируют обменные процессы, тем самым, способствуя выведению радионуклидов из организма человека.

Кроме того, занятия утренней гимнастикой улучшают психоэмоциональное состояние человека и способствуют наиболее эффективной его физической и умственной деятельности в течение рабочего дня.

Утреннюю гимнастику целесообразно сочетать с *закаливанием организма*

Закаливание

Закаливание — это адаптация (приспособление) организма к изменению температуры окружающей среды и смене погодных условий.

Закаливание организма достигается многократным воздействием воздуха и воды на тело человека. Закаливание повышает способность организма приспосабливаться не только к изменениям температуры окружающей среды, но и к другим неблагоприятным воздействиям (биологическим, радиационным, психологическим и др.) Оно снижает восприимчивость к инфекциям, способствует формированию положительных психофизиологических реакций.

Закаливание имеет особое значение для здоровья детей, причем уже с грудного возраста.

Основные правила, которых следует придерживаться при проведении закаливающих процедур

- *Постепенность* — постепенное увеличение интенсивности и продолжительности воздействия закаливающего фактора
- *Систематичность* — регулярное, а не эпизодическое выполнение закаливающих процедур
- *Учет индивидуальных особенностей человека* — характер, интенсивность и режим закаливания определяется возрастом, полом, состоянием здоровья и другими особенностями организма человека

Непременное условие здорового образа жизни — *отказ от вредных привычек* (курения, потребления алкоголя, различных видов наркотиков)

Отказ от вредных привычек

Неблагоприятные последствия *курения* для здоровья человека, прежде всего, связаны с химическим составом вдыхаемого табачного дыма и его повышенной температурой. Вместе с дымом в организм человека попадает более 100 вредных веществ, в том числе: никотин, синильная кислота, оксид углерода, аммиак, мышьяк, радиоактивные полоний (^{219}Po) и свинец (^{210}Pb).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



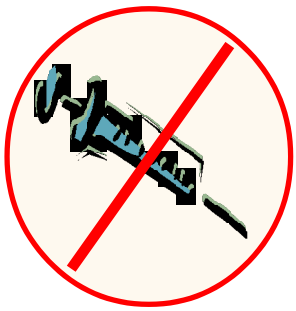
Курение отрицательно влияет на состояние зубов, полости рта, органов дыхания, слизистой оболочки желудка и кишечника, на деятельность эндокринных желез. Оно снижает внимание, ухудшает память и постепенно ослабляет способность к умственной деятельности. Особенно вредит курение беременным женщинам, отрицательно влияя на растущий плод.

Большую опасность (особенно для детей и беременных женщин) представляет вынужденное *пассивное курение* — вдыхание дыма во время пребывания в помещении, загрязненном табачным дымом.

Алкоголь также оказывает на организм человека отрицательное воздействие. Бытующее до настоящего времени представление о способности алкоголя защитить от вредного действия ионизирующего излучения ошибочно.



Как показали многочисленные наблюдения, под влиянием алкоголя могут происходить преждевременные роды, увеличивается смертность новорожденных. С алкогольной интоксикацией беременных женщин многие ученые связывают возрастание с 60 – 70-х годов XX столетия частоты возникновения нарушений в развитии детей. К числу типичных нарушений, возникающих при этом, относят косоглазие, врожденные пороки сердца, аномалии развития конечностей . Описано также несколько тысяч случаев аномалий черепа и головного мозга, дефектов развития внутренних органов, которые обусловленны потреблением алкоголя беременными женщинами.



С алкогольной интоксикацией женщин в период беременности связывают и повышенную раздражительность родившихся детей. Нередко такие дети отстают и в психическом развитии.

Алкоголь и наркотики отрицательно влияют на все органы, снижают интеллект человека, вплоть до полной деградации личности. Будучи сильными ядами, эти вещества особенно пагубно действует на центральную нервную систему детей.

Распорядок дня

Важнейшей составляющей здорового образа жизни является *гигиенически рациональный распорядок дня*, т. е. разумное чередование активной деятельности и отдыха, бодрствования и сна. Распорядок дня каждого человека имеет свои особенности, но, в среднем, для работающих и учащихся сутки должны делиться на три примерно равные части (каждая по 8 часов):

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Отдых

- *трудовая деятельность (учеба)*,
- *личное время*,
- *сон*.

Основными видами *отдыха* являются:

- *ежегодный*,
- *еженедельный*,
- *ежедневный*,
- *кратковременный отдых в течение рабочего дня*.

Поскольку отдых является физиологической потребностью организма , пренебрежение *ежедневным* и *еженедельным* отдыхом опасно для здоровья и работоспособности человека.

Особое внимание следует обращать на *еженедельный отдых* школьникам и работникам умственного труда. Многие из них пренебрегают еженедельным отдыхом, посвящают выходные дни все той же напряженной умственной работе, которой занимались на протяжении рабочей недели.

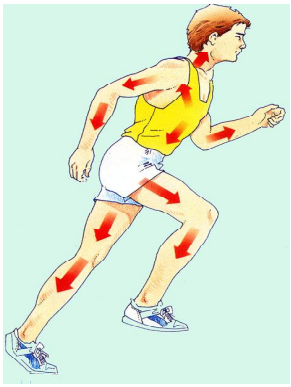
Лучшими формами отдыха для людей, которые проживают в районах, загрязненных радионуклидами, являются занятия физкультурой и спортом.

Обязательный элемент *ежедневного отдыха* — 7 – 8 - часовой сон для взрослых и старших школьников.

Чтобы обеспечить полноценный сон, рекомендуется:

- отходить ко сну в одно и то же время;
- спать в хорошо проветренном помещении (желательно при открытой форточке летом и зимой);
- устранять беспокоящий шум;
- прекращать занятия, требующие умственного и эмоционального напряжения , в том числе, и просмотр телепередач, не менее чем за 2 часа перед тем, как укладываться спать;
- в течение 20 – 30-минут прогуляться на свежем воздухе перед отходом ко сну.

В условиях повышенного радиационного риска двигательная активность, закаливающие процедуры, а также гигиенически рациональная организация труда и отдыха в сочетании со здоровым питанием, организованным с учетом рекомендаций специалистов, помогут человеку укрепить организм и повысить его сопротивляемость действию негативных факторов окружающей среды, в том числе, и ионизирующего излучения в повышенных дозах.



Кровь доставляет кислород во все части тела этого спортсмена

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Итак...



За годы, прошедшие после Чернобыльской катастрофы, благодаря усилиям органов государственного управления, законодателей, ученых и специалистов сделано очень многое, чтобы сократить негативные последствия радиоактивного загрязнения окружающей среды для населения и природы.

Однако все усилия и государства, и общества не принесут желаемых результатов, если сами люди не осознают, что в значительной мере от них зависит величина дозы облучения и способность организма противостоять воздействию радиации.

Проживая на территории с повышенным уровнем радиоактивного загрязнения, тем не менее, можно значительно уменьшить дозу облучения организма и степень радиационного риска, сохранить собственное здоровье и здоровье своих близких. Для этого необходимо:

- интересоваться радиоэкологической ситуацией в своем населенном пункте и его окрестностях;
- по возможности избегать посещения или сокращать время пребывания в местах наибольшего загрязнения;
- использовать рекомендации специалистов по снижению поступления радионуклидов в продукцию растительного и животного происхождения, получаемую в подсобном хозяйстве;
- контролировать уровень загрязнения потребляемой природной продукции (грибов, ягод, лекарственных растений и т. п.) и использовать лишь нормативно чистые продукты;
- правильно организовать распорядок дня и собственное питание, пользуясь рекомендациями специалистов;
- отказаться от вредных привычек — курения, потребления алкоголя и других наркотических веществ;
- постепенно и последовательно закаливать организм;
- по возможности повышать двигательную активность, занимаясь гигиенической гимнастикой и физкультурой;
- ни в коем случае не отказываться от отдыха и разумно организовывать его;
- не концентрироваться на негативных сторонах жизни и не погружаться в болезнь.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

В заключение, напомним кратко наиболее важные витамины и элементы, необходимые для нормального функционирования организма человека, и продукты, богатые ими.

Витамин А

Продукты: *шиповник, морковь, петрушка, сельдерей, черемша, лук-порей, томаты, сладкий перец, чеснок, салат, черноплодная рябина, облепиха.*

Витамины группы В

Продукты: *мясо, молочные продукты, дрожжи, хлеб, гречка, чай, овощи, фрукты.*

Витамин С

Продукты: *шиповник, облепиха, черная смородина, цитрусовые, петрушка, черемша, сладкий перец.*

Витамин Е

Продукты: *подсолнечное и другие виды растительного масла, облепиха, бобовые, гречка, кукуруза, зеленый горошек, чеснок, лук, черная смородина, брюссельская капуста, салат, морковь.*

Йод

Продукты: *морская капуста, креветки, кальмары, птичьи яйца, овес, гречка, просо, бобовые, кедровые орехи, редис, морковь, черноплодная рябина.*

Кальций

Продукты: *творог, сыр, икра, птичьи яйца, бобовые.*

Калий

Продукты: *изюм, курага, чернослив, орехи, урюк, морковь.*

Железо

Продукты: *мясо и рыба, яблоки, салат, изюм.*

Кобальт

Продукты : *щавель, укроп, зеленый лук, рыба, морковь, свекла, крапива, клюква, рябина, черная смородина, орехи, горох, фасоль, бобы.*

Магний

Продукты: *зерновые.*

Вопросы для самоконтроля и обсуждения:



1. Какие законы защищают интересы граждан Республики Беларусь, пострадавших от последствий Чернобыльской катастрофы?
2. Какие меры по защите населения от излучения радионуклидов чернобыльского выброса осуществляют в лесном хозяйстве?

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

3. При каком уровне радиоактивного загрязнения территории можно собирать дикорастущие ягоды?
4. При каком уровне радиоактивного загрязнения территории можно собирать грибы и какие?
5. Какие меры способствуют снижению поступления радионуклидов из почвы в растительную продукцию?
6. Какие меры рекомендуется проводить , чтобы уменьшить содержание радионуклидов в продукции животноводства?
7. С какой целью создан Полесский государственный радиационно-экологический заповедник?
8. Какие технологические и кулинарные приемы уменьшают содержание радионуклидов в продуктах питания?
9. Что означает сбалансированный рацион питания человека?
10. Какие вещества , повышающие устойчивость организма человека к действию ионизирующего излучения, Вы знаете?
11. Перечислите наиболее биологически важные витамины и «минералы», необходимые для нормального функционирования организма человека?

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Приложение

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Словарь терминов



Аварийный выброс радиоактивных веществ — Поступление радиоактивных веществ в окружающую среду в результате нарушения технологического процесса или аварии на предприятии ядерного топливного цикла.

Авария радиационная — Потеря управления источником ионизирующего излучения, вызванная неисправностью или повреждением оборудования, неправильными действиями персонала, стихийными бедствиями, а также иными причинами, которые могли привести или привели к облучению людей или радиоактивному загрязнению окружающей среды.

Автолиз — Разрушение тканей, клеток организма или их частей под действием собственных ферментов (саморастворение, самопереваривание).

Активационный метод — *См.* ***Метод активационный***

Активность — Количественная характеристика радиоактивного вещества, соответствующая числу самопроизвольных (спонтанных) ядерных превращений содержащихся в нем радионуклидов в единицу времени. В системе СИ единицей измерения активности является Беккерель (Бк). 1 Бк соответствует одному ядерному превращению в секунду. Внесистемная единица измерения активности — Кюри (Ки). 1 Ки = $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Бк, т. е. 1 Ки соответствует $3{,}7 \cdot 10^{10}$ ядерным превращениям в секунду.

Активная зона ядерного реактора — Часть внутреннего пространства ядерного реактора, в которой осуществляется цепная реакция деления ядер тяжелых элементов.

Альфа-распад — Ядерное превращение, при котором ядро атома испускает *альфа*–частицу. Образуется новое дочернее ядро, заряд которого на две относительные единицы, а массовое число на 4 а.е.м. меньше, чем у исходного материнского ядра.

Альфа–частица — Ядро атома гелия (^4He), состоящее из двух протонов и двух нейтронов, которые прочно связаны между собой. Масса *альфа*–частицы равна 4 а.е.м., а заряд — «плюс» 4.

Антиоксиданты — Вещества, препятствующие накоплению избыточного количества химически активных радикалов, которые образуются в организме под влиянием различных факторов, в том числе и под действием ионизирующего излучения.

Атомная бомба — *См.* ***Бомба атомная***

Атом — Наименьшая электронейтральная химически неделимая частица вещества, состоящая из положительно заряженного ядра и отрицательно заряженных электронов. Поперечное сечение атома — порядка 10^{-10} м, атомного ядра — $10^{-14} - 10^{-15}$ м.

Атомная единица массы (а.е.м.) — Единица измерения атомных масс, равная 1/12 части массы атома изотопа углерода ^{12}C. 1 а.е.м. = $1{,}661 \cdot 10^{-27}$ кг. Масса атома, выраженная в атомных единицах массы (относительная атомная масса), является безразмерной

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

величиной, которая показывает, во сколько раз масса атома больше 1/12 массы атома изотопа углерода ^{12}C.

Атомная электростанция

Предприятие, на котором энергия, выделяющаяся в процессе осуществления некоторых видов ядерных реакций (цепных реакций деления тяжелых атомных ядер или реакций термоядерного синтеза легких ядер) преобразуется в тепловую и электрическую энергию.

Б

Базовые дозиметрические величины

См. ***Дозиметрические величины базовые***

Безопасность радиационная

Степень защищенности настоящего и будущего поколения людей от вредного воздействия ионизирующего излучения

Беккерель

Единица измерения активности радионуклидов, входящих в состав вещества. В радиоактивном веществе активностью 1 Бк за 1 секунду происходит, в среднем, одно спонтанное ядерное превращение в секунду.

Белки (протеины)

Важнейшие биополимеры, мономерами которых являются аминокислоты. Белки играют исключительно важную роль в жизнедеятельности организмов. Выполняют в организме функции: структурную (входят в состав клеток и тканей), каталитическую (ферментативную), транспортную, защитную, сократительную, регуляторную, рецепторную, энергетическую.

Белковый обмен

Совокупность процессов превращения белков и их производных в организме.

Бета-распад

Ядерное превращение, при котором ядро атома испускает *бета*-частицу (электрон). Образуется новое дочернее ядро, заряд которого увеличивается на единицу, а массовое число остается без изменения.
Бета-частица (электрон) образуется в ядре при распаде нейтронов:

$$n \rightarrow p + e$$

Бета-частица

Элементарная частица (электрон) с массой покоя $9{,}11 \cdot 10^{-31}$ кг и зарядом «минус» $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл (Кулон). Абсолютная величина заряда электрона принята за единицу измерения заряда.

Биогеоценоз

Природный комплекс, включающий сообщество совместно обитающих живых организмов и среду их обитания, которые объединены обменом веществ и энергии на относительно однородном участке территории.

Биологические молекулы

Органические молекулы, входящие в состав живого организма и выполняющие важную роль в его жизнедеятельности. Различают малые биологические молекулы (молекулы аминокислот, глицерола, холина, высших карбоновых кислот, моносахаридов и т. д.) и молекулы биополимеров (полисахариды, белки, нуклеиновые кислоты и др.)

Биологические нарушения

Изменения структуры и функций биологических молекул в живых клетках, которые приводят к биохимическим, физиологическим и другим изменениям в организме.

Биом

Крупная экосистема, расположенная в определенной климатической и ландшафтно–географической зоне (например, тундра, степь, тайга, пустыня).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Биополимеры — Органические макромолекулы, состоящие из большого числа повторяющихся звеньев (мономеров) — полисахариды, белки, нуклеиновые кислоты. Соответствующие мономеры — моносахариды, аминокислоты, нуклеотиды.

Биосфера — Совокупность всех экосистем планеты в пределах атмосферы, гидросферы и литосферы, охватывающая все биомы.

Биоценоз — Единое сообщество совместно обитающих групп различных организмов (растений, животных, микроорганизмов), населяющих относительно однородное жизненное пространство.

Болезнь лучевая — Комплексная реакция организма на действие больших доз ионизирующего излучения. Различают *острую* и *хроническую* лучевую болезнь. *Острая* лучевая болезнь возникает при *однократном кратковременном* воздействии ионизирующего излучения на организм в дозах 1 Гр и выше, а *хроническая* — при длительном облучении и постепенном накоплении поглощенной дозы до 0,7 – 1 Гр и выше.

Бомба атомная — Вид боеприпаса, взрыв которого происходит в результате развития неуправляемого цепного процесса деления атомных ядер тяжелых элементов. В зависимости от способа достижения условий, при которых начинается цепная реакция ядерного деления, атомные бомбы могут быть двух типов: *пушечного* и *имплозивного*.

Бомба водородная — Вид боеприпаса, взрыв которого происходит в результате развития неуправляемой реакции термоядерного синтеза атомных ядер химических элементов, расположенных в начале Периодической системы Д.И. Менделеева. (Относится к термоядерному оружию).

Бомба нейтронная — Вид боеприпаса, взрыв которого обусловлен теми же процессами, что и в водородной бомбе, однако, конструкционные особенности нейтронной бомбы обеспечивают выход в окружающую среду мощного потока нейтронов. Нейтронная бомба предназначена для максимального поражения всего живого при минимальном, по сравнению с другими видами ядерного оружия, разрушении зданий, сооружений и других подобных объектов.

В

Весовые множители излучения (взвешивающие коэффициенты) — Множители для поглощенной дозы в органе или биологической ткани, приписываемые каждому виду излучения. Используются при оценке эквивалентной дозы, чтобы учесть неодинаковую способность разных видов излучения индуцировать биологические эффекты. Чем больше нарушений вызывает излучение в органе или биологической ткани, тем больше его весовой множитель. Например, весовые множители *гамма-* и *бета-*излучений равны 1, а *альфа-*излучения — 20.

Весовые множители тканевые (взвешивающие коэффициенты для тканей и органов) — Множители для эквивалентной дозы, приписываемые тканям или органам. Используются при оценке эффективной дозы, чтобы учесть чувствительность тканей или органов к действию ионизирующего излучения. Характеризуют вероятность возникновения стохастических радиационных эффектов при облучении конкретного органа или ткани.

Вещества радиоактивные — Вещества, в состав которых входят радионуклиды, как природные, так и искусственно полученные.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Витамины — Низкомолекулярные органические вещества различной химической природы, неоходимые для нормального обмена веществ и поддержания жизнедеятельности организма.

Вмешательство при радиационной аварии — Мероприятие (действие), направленное на предотвращение либо снижение неблагоприятных последствий облучения или комплекса неблагоприятных последствий радиационной аварии.

Внешнее облучение — *См.* ***Облучение внешнее***

Внутреннее облучение — *См.* ***Облучение внутреннее***

Водоем замкнутый (непроточный) — Водоем (озеро, пруд и т. п.), который не имеет впадающих и вытекающих ручейков или рек, обеспечивающих смену воды в нем.

Водоем открытый (проточный) — Водоем (река, озеро и т. д.), в котором обеспечивается смена воды за счет собственного течения или с помощью впадающих и вытекающих ручейков или рек.

Водоем открытый (слабопроточный) — Водоем, имеющий впадающие и вытекающие ручейки или реки, которые обеспечивают в нем смену воды лишь в незначительной степени.

Водородная бомба — *См.* ***Бомба водородная***



Газ радиоактивный — Вещество в газообразном состоянии, содержащее радионуклиды.

Гаметы — Половые клетки.

Гамма-излучение — Коротковолновое электромагнитное (фотонное) излучение с длиной волны менее 0,2 нм. Сопровождает ядерные превращения. Испускается при переходе атомных ядер из возбужденного (метастабильного) состояния на более низкие энергетические уровни. Является ионизирующим излучением.

Гены — Отдельные участки молекул *ДНК*, ответственные за хранение информации по определенному наследуемому признаку организма

Гигиена питания — Раздел гигиены, посвященный изучению качества пищевых продуктов, а также разработке системы рационального питания, способствующей сохранению и улучшению здоровья людей.

Глобальный — 1. Охватывающий весь земной шар, всемирный.
2. Всесторонний, полный, всеобщий, универсальный.

Горячие частицы — Радиоактивные частицы, удельная активность которых не менее чем на 2 порядка превышает удельную активность окружающей среды.

Грей — Единица измерения поглощенной дозы ионизирующего излучения. 1 Гр соответствует поглощению 1 Джоуля энергии излучения в расчете на 1 килограмм вещества, подвергающегося облучению. 1 Гр = 1 Дж/кг.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Д

Дезактивация

Комплекс мероприятий по снижению уровня радиоактивного загрязнения какой-либо среды или поверхности каких-либо объектов.

Деление атомного ядра

Ядерная реакция, в результате которой тяжелое атомное ядро делится на более легкие ядра, называемые осколками деления.

Детектор

Устройство, в котором энергия ионизирующего излучения преобразуется в электрическую или другие виды энергии, что позволяет регистрировать излучение.

Детерминированные эффекты

См. ***Радиационные эффекты детерминированные***

Доза поглощенная

Количество энергии ионизирующего излучения, поглощенной облучаемым веществом в расчете на единицу его массы. В системе СИ единицей измерения является *Грей* (*Гр*).
1 Гр = 1 Дж/кг.

Доза предотвращаемая

Прогнозируемая доза в случае возможной радиационной аварии, которая может быть предотвращена защитными мероприятиями.

Доза эквивалентная ($\boldsymbol{H}_{T,R}$)

Величина, характеризующая способность ионизирующего излучения вызывать радиационные эффекты в органе или биологической ткани. Эквивалентная доза равна произведению поглощенной дозы в органе или биологической ткани на соответствующий весовой множитель излучения, учитывающий способность излучения индуцировать радиационные эффекты.

$$\boldsymbol{H}_{T,R} = D_{T,R} \cdot W_R,$$

где $D_{T,R}$ — средняя поглощенная доза в органе или ткани.
W_R — весовой множитель для излучения R.
Единицей измерения эквивалентной дозы в системе СИ является *Зиверт* (*Зв*).

Доза эффективная

Величина, характеризующая степень воздействия ионизирующего излучения на организм человека. Используется для оценки суммарного биологического эффекта при облучении организма человека в целом или отдельных его органов с учетом их радиочувствительности. Эффективная доза равна сумме произведений эквивалентных доз облучения отдельных органов или тканей, умноженных на соответствующие тканевые весовые множители.

$$\mathbf{E} = \sum_{T} W_T \mathbf{H}_T$$

Единицей измерения эффективной дозы в системе СИ является *Зиверт* (*Зв*).

Доза эффективная годовая

Доза, полученная человеком от источников ионизирующего излучения в течение года, которая равна сумме эффективных доз внешнего и внутреннего облучения за один и тот же год.

Доза эффективная коллективная

Доза, полученная коллективом людей от какого-либо источника (источников) излучения за определенный промежуток времени. Она равна сумме индивидуальных эффективных доз членов рассматриваемого коллектива за этот период времени. Является мерой коллективного риска возникновения стохастических радиационных эффектов. Единица измерения — *человеко-зиверт* (*чел.-Зв*).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Доза эффективная коллективная полная (ожидаемая)

Коллективная доза, которую получили или получат все поколения людей от какого–либо источника облучения за время его существования.

Дозиметр

Прибор, предназначенный для определения эффективной дозы внешнего облучения человека за определенный промежуток времени.

Дозиметрия

Раздел прикладной ядерной физики, в котором изучают величины, характеризующие ионизирующее излучение и его взаимодействие с веществом. Эти величины могут быть сопоставлены с радиационными эффектами в облучаемых объектах живой и неживой природы.

Дозиметрические величины

Величины, характеризующие ионизирующее излучение и последствия его воздействия на облучаемый объект.

Дозиметрические величины базовые

Физические величины, которые могут быть непосредственно измерены (например, поглощенная доза, активность, энергия излучения).

Дозиметрические величины нормируемые

Величины, с помощью которых устанавливают пределы облучения людей (эквивалентная и эффективная дозы). Эти величины не могут быть непосредственно измерены. Их рассчитывают по базовым дозиметрическим величинам, которые измеряются непосредственно, с учетом особенностей ионизирующего излучения и радиочувствительности облучаемых органов или биологических тканей. В современных дозиметрах такой расчет осуществляется по специальной программе, введенной в прибор.

Дозовый коэффициент

См. ***Коэффициент дозовый***

Е

Естественный радиационный фон

См. ***Радиационный фон естественный***

Ж

Жизнь

Особая форма организации материи со специфическим обменом веществ и энергией с окружающей средой.

З

Заболеваемость или частота заболеваний

Число заболевших людей в группе определенной численности.

Загрязнение радиоактивное

Присутствие радиоактивных веществ в объектах окружающей среды и в теле человека в количествах, превышающих установленные уровни.

Закаливание

Адаптация (приспособление) организма к изменению температуры окружающей среды и смене погодных условий.

Замедлители

Вещества, используемые в атомных реакторах, работающих на тепловых нейтронах, для замедления нейтронов высоких и средних энергий и превращения их в медленные тепловые нейтроны. Тем самым регулируется количество тепловых нейтронов, инициирующих реакцию ядерного деления. Замедлители позволяют поддерживать цепную реакцию ядерного деления и регулировать ее скорость.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Захоронение радиоактивных отходов — Безопасное размещение радиоактивных отходов, которые в дальнейшем не предполагается извлекать.

Здоровье — Состояние физического, психического и социального благополучия.

Здоровый образ жизни — Осознанное постоянное выполнение гигиенических правил по укреплению и сохранению индивидуального здоровья и здоровья общества в целом.

Зиверт — Единица измерения эквивалентной и эффективной доз. В случае эквивалентной дозы *1 Зиверт* соответствует поглощенной дозе величиной в *1 Грей* для ионизирующего излучения, весовой множитель которого равен единице (например, *гамма*- или *бета*-излучение). Это означает, что, если *поглощенная* доза *гамма*- или *бета*-излучения в каком-то органе или ткани составляет *1 Грей*, то *эквивалентная* доза, полученная этим органом, равна *1 Зиверту*. В случае *альфа*-излучения, для которого весовой множитель равен 20, при поглощенной дозе в *1 Грей* эквивалентная доза составляет *20 Зиверт*.
Поскольку эффективная доза равна эквивалентной дозе, умноженной на безразмерный тканевый весовой множитель, она также измеряется в Зивертах.

Зона отчуждения (отселения) — Территория с высоким уровнем радиоактивного загрязнения. В Беларуси в результате катастрофы на ЧАЭС — территория с уровнем загрязнения:
более 555 кБк/м² (15 Ки/км²) по ^{137}Cs;
более 111 кБк/м² (3 Ки/км²) по ^{90}Sr;
более 3,7 кБк/м² (0,1 Ки/км²) по ^{238}Pu, ^{239}Pu и ^{240}Pu.
Территория, с которой в 1986 году и в последующие годы было проведено отселение людей. В этой зоне разрешены лишь ограниченные виды деятельности в соответствии с действующими нормами радиационной безопасности.

И

Излучение — Перенос энергии в пространстве потоком быстродвижущихся частиц (*корпускулярное* излучение) или электромагнитной волной (*фотонное* излучение).

Излучение ионизирующее — Излучение, прохождение которого через вещество вызывает ионизацию атомов или молекул вещества.

Излучение корпускулярное — Поток быстродвижущихся частиц с массой покоя, отличной от нуля (например, электронов, протонов нейтронов, *альфа*-частиц).

Излучение фотонное — Перенос энергии в пространстве электромагнитной волной. *Гамма*-, рентгеновское, ультрафиолетовое, инфракрасное излучение, видимый свет, радиоволны — все это различные виды фотонного излучения.

Изотопы — Атомы одного и того же химического элемента, имеющие одинаковое количество протонов, но отличающиеся по числу нейтронов в ядре.

Иммунитет — Способность живого организма противостоять действию негативных факторов среды, в том числе и ионизирующего излучения, сохраняя при этом свою целостность и биологическую индивидуальность.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Иммунная система	Совокупность органов, тканей, клеток организма, обеспечивающих формирование иммунитета.
Иммунодефицитное состояние	Врожденные или приобретенные заболевания иммунной системы.
Ингаляционное поступление радионуклидов	Поступление радионуклидов в организм человека через органы дыхания.
Инкорпорирование радиоактивных веществ	Попадание радионуклидов в организм при дыхании, потреблении пищи и воды, через кожу.
Интерфаза	В делящихся клетках — это часть клеточного цикла между двумя последовательными митозами, в неделящихся клетках — промежуток времени от последнего митоза до смерти клетки.
Ионизация вещества	Образование заряженных атомов или молекул (ионов) в результате потери или присоединения электронов.
Ионизация прямая	Ионизация вещества под действием корпускулярного излучения.
Ионизация косвенная	Ионизация вещества под действием фотонного излучения. В этом случае ионизацию вещества вызывают свободные электроны, образующиеся в результате взаимодействия фотонного излучения с орбитальными электронами атомов (например, фотоэлектроны и комптоновские электроны при прохождении *гамма*–излучения через вещество).
Ионизирующее излучение	*См.* ***Излучение ионизирующее***
Источник ионизирующего излучения	Вещество, содержащее радионуклиды естественного или искусственного происхождения, а также техническое устройство, генерирующее ионизирующее излучение.

Й

Йодная профилактика	Профилактическая процедура, заключающаяся в пероральном введении в организм соединений стабильного йода с целью снижения накопления радиоактивного йода и уменьшения степени облучения щитовидной железы.

К

Клетка	Мельчайшая структурно–функциональная единица всех живых организмов, наделенная всеми основными признаками живой материи.
Клеточный цикл	Период существования клетки от момента ее образования путем деления материнской клетки до собственного деления или смерти.
Комптоновский эффект	Эффект, возникающий при взаимодействии *гамма*–кванта с орбитальным электроном. *Гамма*-квант передает часть своей энергии орбитальному электрону. В результате, электрон покидает атом, а сам *гамма*–квант, потеряв часть энергии, меняет направление своего движения.
Корпускулярное излучение	*См.* ***Излучение корпускулярное***

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Космическое излучение — Излучение, поступающее на Землю из космического пространства, в том числе, и с ближайшей к нам звезды — Солнца. Включает корпускулярную и фотонную компоненты.

Коэффициент всасывания (резорбции) — Доля радионуклидов, поступивших в кровь в легких, желудочно–кишечном тракте или через кожу от общего количества радионуклидов, поступивших в эти органы (например, с воздухом, пищей, водой).

Коэффициент дозовый — Эффективная доза, полученная человеком от радиоизотопа, присутствующего в воздухе, в пищевых продуктах и воде, активностью *1 Бк*.

Коэффициент накопления радиоизотопа растительностью — Отношение удельной активности растительной биомассы к удельной активности почвы в области корневого питания растения.

Коэффициент пожизненного риска — Вероятность возникновения стохастических радиационных эффектов при получении человеком эффективной дозы, равной *1 Зв*.

Коэффициент размножения нейтронов — Отношение количества нейтронов, освобождающихся при делении атомных ядер на определенном этапе развития цепной реакции ядерного деления, к количеству нейтронов, освобождающихся при делении ядер на предшествующем этапе ядерной реакции.

Кратность накопления радиоизотопа — Отношение максимально накопленного количества радиоизотопа в органе (ткани) или в организме в целом к количеству радиоизотопа, ежесуточно поступающего в организм.

Критическая масса — Минимальная масса делящегося вещества, обеспечивающая протекание самоподдерживающейся цепной реакции ядерного деления.

Критический размер ядра — Размер ядра, при котором резко возрастает вероятность самопроизвольного (спонтанного) ядерного деления.

Кюри — Внесистемная единица измерения активности. 1 Кюри (Ки) соответствует $3{,}7 \cdot 10^{10}$ самопроизвольным ядерным превращениям в секунду. *1 Ки* примерно равен активности 1 г радия.

Л

Латентный период — Промежуток времени после какого-либо нарушения в организме (например, вызванного воздействием ионизирующего излучения), в течение которого нет никаких видимых признаков заболевания.

Липиды — Жироподобные вещества, практически нерастворимы в воде, но растворимые в неполярных растворителях (бензоле, эфире, хлороформе и др.). Входят в состав всех живых клеток. Играют важную роль в процессах жизнедеятельности организма. Являются основными компонентами клеточных мембран и влияют на их проницаемость. Служат запасным источником энергии. Выполняют другие жизненно важные функции.

Личная гигиена — Совокупность гигиенических знаний и навыков, выполнение которых способствует сохранению и укреплению здоровья человека.

Лучевая болезнь — *См.* ***Болезнь лучевая***

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

М

МАГАТЭ

Международное Агентство по Атомной Энергии — межправительственная организация, созданная в 1957 году для развития международного сотрудничества в области использования ядерной энергии в мирных целях. Контролирует деятельность предприятий атомной энергетики и обращение с радиоактивными отходами. Оказывает содействие всем странам в развитии ядерной энергетики и помогает обеспечивать ее безопасность.

Магнитосфера Земли

Область околоземного пространства, заполненная потоками электрически заряженных частиц космического происхождения. В основном, магнитосферу заполняют частицы, захваченные из потока излучаемых Солнцем частиц. Магнитосфера простирается на расстояние до 8 – 14 земных радиусов по направлению к Солнцу и на расстояние до нескольких сотен земных радиусов в обратном направлении. В магнитосфере расположены *радиационные пояса* Земли.

Макроэлементы

Химические элементы, содержащиеся в организме в относительно большом количестве и необходимые для его нормальной жизнедеятельности. Суточная потребность организма в макроэлементах измеряется граммами и миллиграммами.

Мейоз

Особый способ деления клеток, в результате которого происходит уменьшение числа хромосом в дочерних клетках. Посредством мейоза образуются половые клетки — гаметы.

Мелиоранты

Вещества, способствующие улучшению агрохимических показателей почв и получению устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур.

Мембрана плазматическая (клеточная)

Наружная оболочка клетки, образованная двойным слоем фосфолипидов, в который включены белковые молекулы. Через мембрану постоянно транспортируются вещества. Внутрь клетки поступают питательные вещества и кислород, наружу выводятся продукты жизнедеятельности клетки и вещества, необходимые для взаимодействия клеток друг с другом.

Метод активационный

Метод определения качественного и количественного состава вещества. Он основан на измерении энергии излучения радионуклидов, образовавшихся в веществе при воздействии на него нейтронного, протонного, *гамма-* и других видов излучения.

Метод «меченых» атомов

Метод, основанный на применении радиоактивных изотопов для изучения поведения атомов тех или иных химических элементов в природных и техногенных системах.

Метод радиоуглеродный

Метод определения возраста образцов растительного или животного происхождения по содержанию радиоактивного изотопа углерода ^{14}**C**.

Миграция радионуклидов

Процессы перераспределения радионуклидов между компонентами экосистем под влиянием природных или техногенных факторов в результате химических, физических и физико-химических преобразований (перехода из состава одних химических соединений в состав других, изменения агрегатного состояния радиоактивного вещества, коллоидообразования и т. д.).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Микроэлементы — Химические элементы, содержащиеся в организме в чрезвычайно малых количествах и необходимые для его нормальной жизнедеятельности. Суточная потребность в них измеряется микрограммами.

Митоз — Основной способ деления соматических клеток, при котором образуется две дочерние клетки с набором хромосом, аналогичным набору родительской клетки.

МКРЗ — Международная Комиссия по радиологической защите, целью которой является обобщение данных по воздействию ионизирующих излучений на организмы и разработка рекомендаций по защите человека от облучения.

Могильник радиоактивных отходов — Сооружение, предназначенное для захоронения твердых радиоактивных отходов.

Морфология — Наука о форме и строении организмов.

Мощность дозы — Скорость изменения дозы (поглощенной, эквивалентной, эффективной), т. е. изменение дозы в единицу времени. В системе СИ единицей измерения *мощности поглощенной дозы* ионизирующего излучения является *Грей в секунду* (*Гр/с*) и его производные (*мГр/с*, *мкГр/с*), а *мощности эквивалентной* и *эффективной* доз — *Зиверт в секунду* (*Зв/с*) и его производные (*сЗв/с*, *мЗв/с*, *мкЗв/с*).

Мутации — Наследуемые изменения генетического материала организма.

Н

Нейтрон — Элементарная электронейтральная частица с массой покоя 1,0087 а.е.м. Входит в состав ядер атомов химических элементов.

Нейтронная бомба — *См.* ***Бомба нейтронная***

НКДАР ООН — Научный Комитет по действию атомной радиации, образованный Генеральной Ассамблеей ООН в 1955 году. Анализирует имеющиеся данные по биологическим эффектам ионизирующего излучения.

НКРЗ РБ — Национальная комиссия по радиологической защите Республики Беларусь. Разрабатывает и утверждает нормы радиационной безопасности для жителей республики. При разработке и утверждении норм радиационной безопасности НКРЗ РБ исходит из принятых международных норм по радиационной безопасности. При этом учитывается отечественный опыт и опыт стран, достигших высокого уровня радиационной защиты населения.

Нормирование — Установление допустимых уровней облучения человека, выше которых ущерб, наносимый облучением человеку, становится неприемлемым.

Нормируемые дозиметрические величины — *См.* ***Дозиметрические величины нормируемые***

Нуклеиновые кислоты — Фосфоросодержащие биополимеры, обеспечивающие хранение и передачу наследственной информации. Состоят из нуклеотидов. В природе существует два вида нуклеиновых кислот — *дезоксирибонуклеиновая кислота* (*ДНК*) и *рибонуклеиновая кислота* (*РНК*). *ДНК* состоит из

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

	2 полинуклеотидных цепочек, закрученных одна относительно другой. *РНК* представляет собой одну полинуклеотидную цепочку.
Нуклеотид	Сложное химическое соединение, состоящее из азотистого основания, углевода (рибозы или дезоксирибозы) и одного или нескольких остатков фосфорной кислоты.
Нуклид	Атом, в ядре которого содержится определенное число протонов и нейтронов . Понятие « нуклид » иногда используют для обозначения не определенного атома, а только его ядра.
Нуклоны	Общее название протонов и нейтронов, входящих в состав атомного ядра.
О	
Облако радиоактивное	Скопление взвешенных в атмосфере радиоактивных веществ. Образуется при наземном или воздушном ядерном взрыве, а также при крупной аварии ядерной установки с выбросом радиоактивных веществ в атмосферу.
Область малых доз	Поглощенные дозы ионизирующего излучения, не превышающие 0,2 Гр.
Облучение	Воздействие излучения на любой объект.
Облучение внешнее	Облучение от источников излучения, находящихся вне организма.
Облучение внутреннее	Облучение от источников , находящихся в организме . Источниками внутреннего облучения организма , как правило , являются радионуклиды , попадающие в организм с пищей, водой, воздухом и через поврежденную кожу.
Облучение острое	Кратковременное воздействие ионизирующего излучения на биологический объект с поглощением большой дозы излучения.
Облучение равномерное	Облучение с одинаковой эквивалентной дозой для всех органов и тканей организма.
Облучение хроническое	Продолжительное воздействие ионизирующего излучения на биологический объект . Как правило , подобное облучение происходит при поглощении небольшой дозы излучения (не более 1 мГр/год).
Обмен веществ	Совокупность всех процессов превращения веществ и энергии , происходящих в живом организме , а также между организмом и окружающей средой.
Обстановка радиационная	Состояние радиоактивно загрязненной территории, которое оценивается по плотности загрязнения местности радионуклидами и мощности эффективной дозы внешнего облучения человека.
Окружающая среда	Совокупность окружающих человека природных объектов (почва, атмосфера, вода, флора и фауна) в их связи и взаимодействии. Иногда в понятие «окружающая среда» включают и искусственно созданные элементы среды (жилые строения, промышленные предприятия, водохранилища, каналы, сельскохозяйственные комплексы и др.).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Орган	Часть животного или растительного организма, имеющая определенную форму и строение и выполняющая определенную функцию. Обычно в состав органа входит несколько тканей, одна из которых является основной. В каждом органе животного организма имеется нервная ткань (нервные окончания) и кровеносные сосуды.
Органеллы (органоиды)	Внутриклеточные структуры (клеточные органы), находящиеся в цитоплазме. Имеют разное строение и выполняют специфические функции в процессе жизнедеятельности клетки. Они ответственны за хранение и передачу генетической информации, транспорт веществ, синтез и превращения веществ и энергии, деление, движение и другие функции.
Организм	Всякое живое существо, обладающее совокупностью свойств, отличающих его от неживой материи. Основной структурной и функциональной единицей любого организма является клетка, важнейшим строительным материалом — биологические полимеры и другие биологические молекулы. В организме выделяются органы, специализирующиеся на выполнении определенных функций. Организму присущ обмен веществ, энергией и информацией с окружающей средой и между его отдельными частями, что обеспечивает рост и развитие, саморегуляцию, целостность и устойчивость организма. Для него характерна раздражимость (способность отвечать на внешние воздействия специфическими реакциями) и адаптация к среде обитания. Живые организмы размножаются, передавая свои признаки строения и свойств потомкам, т.е. способны к самовоспроизводству.
Организмы – автотрофы	Организмы, способные к самостоятельному синтезу необходимых им органических веществ за счет энергии света (фотосинтез) или энергии, которая выделяется при окислении неорганических веществ (хемосинтез).
Организмы – автогетеротрофы	Организмы, которые в зависимости от условий могут осуществлять синтез органических веществ или употреблять их в готовом виде из окружающей среды.
Организмы– гетеротрофы	Организмы, которые используют для питания готовые органические вещества (например, произведенные организмами-автотрофами).
Осадки радиоактивные	Оседающие из атмосферы на земную поверхность радиоактивные вещества, попавшие в атмосферу в результате наземных и воздушных ядерных взрывов или аварий на ядерных установках.
Острое облучение	*См.* ***Облучение острое***
Острые последствия облучения	*См.* ***Последствия облучения острые***
Отдаленные последствия облучения	*См.* ***Последствия облучения отдаленные***
Отработанное ядерное топливо	Ядерное топливо, в котором продукты ядерных превращений, поглощающие нейтроны, накопились в таком коли-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

честве, что это препятствует протеканию цепной реакции ядерного деления.

Отражатели — Конструкционные элементы в ядерном реакторе, применяемые для уменьшения потерь нейтронов, участвующих в реакции ядерного деления.

Отходы радиоактивные . — Побочные продукты , образующиеся на всех стадиях получения , использования и регенерации ядерного топлива, с содержанием радионуклидов выше установленных норм.

Охрана среды обитания человека — Совокупность мер политического, экономического, правового , социального , культурного , медицинского , санитарно -гигиенического и противоэпидемического характера, направленных на уменьшение вредного воздействия факторов среды обитания на здоровье человека.

П

Период полураспада радиоизотопа — Промежуток времени, за который распадается половина любого количества радиоизотопа.

Период биологического полувыведения радиоизотопа — Промежуток времени, в течение которого активность накопленного в организме (или в отдельном органе) радиоизотопа сокращается наполовину в результате естественных биологических процессов.

Период полувыведения радиоизотопа эффективный — Промежуток времени, в течение которого активность радиоизотопа в организме уменьшается вдвое за счет процессов биологического выведения и радиоактивного распада радиоизотопа.

Пероральное поступление радионуклидов — Поступление радионуклидов в организм человека с пищей и водой.

Плазма — Особое физическое состояние вещества, существующее при температуре ~ $10^6 – 10^9$ К. В этом состоянии атомы вещества полностью или частично утрачивают электроны. Ядра, ионы и электроны движутся с огромной скоростью. В состоянии плазмы находится большая часть вещества во Вселенной (звезды, галактические туманности, межзвездная среда).
Плазмой можно управлять с помощью электрических и магнитных полей.

Плазматическая (клеточная) мембрана — *См.* ***Мембрана плазматическая (клеточная)***

Плотность радиоактивного загрязнения — Активность радионуклидов в расчете на единицу площади поверхности объекта. Эта величина обычно применяется для характеристики уровня загрязнения территории . Единица измерения в системе СИ — Бк/м². Внесистемная единица — Ки/км². *1 Ки/км² = 37 кБк/м²*

Поглощенная доза — *См.* ***Доза поглощенная***

Популяция — Совокупность особей одного вида, объединенных общим местом обитания. Отдельные особи популяции свободно скрещиваются между собой и дают плодовитое потомство. Популяция способна регулировать свою численность и поддерживать ее на определенном уровне.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Последствия облучения острые — Патологические изменения в организме, возникающие в результате кратковременного воздействия ионизирующего излучения в больших дозах на значительную часть тела или при локальном облучении критических органов, тканей или систем органов, повреждение которых в наибольшей степени влияет на жизнедеятельность организма. Проявляются сразу или в течение нескольких часов, дней, недель после облучения.

Последствия облучения отдаленные — Изменения в организме, вызванные действием на него ионизирующего излучения и возникающие спустя длительное время после облучения.

Предел годового поступления радиоизотопа — Суммарная активность (в Бк) радиоизотопа, поступление которого в организм условного человека в течение года может привести к получению эффективной дозы, равной пределу годовой дозы.

Предел дозы (годовой) — Величина годовой эффективной или эквивалентной дозы от техногенных источников ионизирующего излучения, которая не должна превышаться в условиях нормальной работы источников ионизирующего излучения.

Предотвращаемая доза — *См.* ***Доза предотвращаемая***

Пробег частиц в веществе — Расстояние, которое преодолевают в веществе частицы (протоны, нейтроны, электроны, *альфа*-частицы и др.), пока их энергия не станет равной энергии окружающей среды.

Проникающая способность ионизирующего излучения — Параметр, характеризующий глубину проникновения ионизирующего излучения в вещество. Зависит от вида и энергии излучения, а также от свойств облучаемого вещества (его химического состава и плотности).

Протон — Элементарная частица с массой покоя 1,0073 а.е.м. и зарядом «плюс» 1. Входит в состав ядра атома. Число протонов в ядре определяет заряд ядра и порядковый номер химического элемента в Периодической системе Д.И. Менделеева.



Равномерное облучение — *См.* ***Облучение равномерное***

Рад — Внесистемная единица измерения поглощенной дозы ионизирующего излучения.
1 рад = 0,01 Гр.

Радиационная авария — *См.* ***Авария радиационная***

Радиационная безопасность — *См.* ***Безопасность радиационная***

Радиационная защита — Комплекс методов и средств, направленных на обеспечение безопасных условий труда персонала и жизни населения в условиях возможного воздействия ионизирующего излучения.

Радиационная дефектоскопия — Метод обнаружения дефектов структуры в промышленных изделиях с помощью источников ионизирующего излучения. Метод основан на способности ионизирующего излучения неодинаково поглощаться в местах расположения дефектов и на участках с ненарушенной структурой.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Радиационное поле — Область распространения и влияния источника ионизирующего излучения на физические свойства окружающей среды.

Радиационное торможение — Потеря энергии быстрых заряженных частиц в электрическом поле атома, сопровождаемая выделением электромагнитного (тормозного) излучения.

Радиационный контроль — Определение и регистрация параметров, характеризующих степень воздействия ионизирующего излучения на человека.

Радиационный риск — Вероятность возникновения у человека или его потомства какого-либо вредного эффекта в результате облучения.

Радиационный синдром — Необратимое повреждение жизненно важной системы органов под действием ионизирующего излучения.

Радиационный фон естественный — Характеристика радиационного поля, создаваемого источниками ионизирующего излучения естественного происхождения. Естественный радиационный фон формируется за счет космического излучения и излучения радионуклидов земной коры.

Радиационные эффекты — Все изменения, возникающие в объекте под действием ионизирующего излучения. Различают два вида радиационных эффектов, которые возникают в организме человека: *детерминированные* и *стохастические*.

Радиационные эффекты детерминированные — Эффекты, которые неизбежно возникают в результате облучения организма человека при превышении определенных дозовых уровней. Характерны для больших поглощенных доз (обычно 1 Гр и выше). Чем больше поглощенная доза, тем больше нарушений возникает в организме и тяжелее протекает заболевание, вызванное облучением.

Радиационные эффекты стохастические — Эффекты облучения, о которых невозможно определенно сказать, реализуются они или нет. Можно лишь оценить вероятность их возникновения. Характерны для средних (*0,2 – 1 Гр*) и малых (менее *0,2 Гр*) поглощенных доз ионизирующего излучения. Проявляются в виде раковых и генетических (наследственных) заболеваний. Вероятность возникновения стохастических эффектов возрастает с увеличением поглощенной дозы.

Радикалы — Атомы или атомные группировки с неспаренными электронами. Отличаются высокой химической активностью и легко вступают в реакции с атомами и молекулами окружающей среды.

Радиоадаптация — 1. Совокупность свойств организма, обеспечивающих его устойчивость (приспособление) к действию ионизирующего излучения.
2. Процесс выработки у живых организмов устойчивости к облучению в ходе эволюции.

Радиоактивное загрязнение — *См.* ***Загрязнение радиоактивное***

Радиоактивное облако — *См.* ***Облако радиоактивное***

Радиоактивное семейство — Группа радионуклидов, объединенных цепочкой последовательных самопроизвольных ядерных превращений (*альфа*- и *бета*-распадов). Известно четыре радиоактивных семейства, родоначальниками которых являются ^{238}U, ^{235}U, ^{232}Th, ^{237}Np. За исключением семейства нептуния, остальные до сих пор существуют на Земле.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Радиоактивность	Самопроизвольное превращение неустойчивых атомных ядер в более устойчивые ядра, сопровождающееся выделением энергии в виде излучения.
Радиоактивные вещества	*См.* ***Вещества радиоактивные***
Радиоактивные индикаторы	Радиоактивные изотопы, используемые для изучения поведения атомов химического элемента в различных процессах.
Радиоактивные осадки	*См.* ***Осадки радиоактивные***
Радиоактивные отходы	*См.* ***Отходы радиоактивные***
Радиоактивные элементы	Химические элементы, все изотопы которых радиоактивны.
Радиоактивный распад	Процесс самопроизвольного (спонтанного) распада атомных ядер неустойчивых нуклидов, сопровождаемый выделением энергии в виде излучения.
Радиоактивный след	*См.* ***След радиоактивный***
Радиационная безопасность	*См.* ***Безопасность радиационная***
Радиоиммунный анализ	Высокочувствительный метод определения содержания в организме человека разнообразных гормонов (гормонов поджелудочной и щитовидной желез, гипофиза и др.), белков сыворотки крови, ферментов и других биологически важных веществ с использованием радиоактивных индикаторов
Радиолиз воды	Химическое преобразование молекул воды под действием ионизирующего излучения.
Радиологическое воспитание и обучение	Целенаправленная деятельность, призванная сформировать систему взглядов и убеждений, практических навыков, норм поведения для сохранения и укрепления здоровья в условиях воздействия на организм человека техногенных источников ионизирующего излучения.
Радиологическая культура	Система взглядов, убеждений, практических навыков, норм поведения для сохранения и укрепления здоровья в условиях воздействия на организм человека ионизирующего излучения.
Радиометр	Прибор, предназначенный для измерения активности и определения удельной активности образцов почвы, растительности, воды, продуктов питания и др.
Радионуклиды	Неустойчивые атомы, ядра которых самопроизвольно превращаются в ядра атомов других химических элементов или других изотопов одного и того же элемента с выделением в окружающую среду энергии в виде излучения.
Радионуклиды искусственного происхождения	Радионуклиды, получаемые при осуществлении ядерных реакций в искусственных условиях (например, в ядерных реакторах и при проведении ядерных взрывов). Известно свыше 1 000 искусственно полученных радионуклидов.
Радионуклиды природного происхождения	Радионуклиды, существующие в окружающей среде и образующиеся без участия человека. Известно свыше 300 радионуклидов природного происхождения.
Радиопротекторы	Вещества, способные уменьшать негативное воздействие ионизирующего излучения на организм.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Радиорезистентность (радиоустойчивость) — Относительная устойчивость клеток, тканей и всего организма к действию ионизирующего излучения.

Радиоэкология — Наука, которая изучает особенности существования организмов и их сообществ, их взаимоотношения между собой и с окружающей средой в условиях постоянного воздействия ионизирующего излучения.

Радиочувствительность — Чувствительность биологических объектов к действию ионизирующего излучения. Мерой радиочувствительности является доза облучения, вызывающая гибель 50% клеток или организмов.

Радон — Радиоактивный химический элемент (Rn), атомы которого образуются в результате распада атомов радия. В обычных условиях радон представляет собой инертный газ, который тяжелее воздуха. Повсеместно выделяется из земной коры. На открытом пространстве он не представляет опасности для человека. Однако он может накапливаться во внутренних плохо проветриваемых помещениях жилых и производственных зданий. При вдыхании воздуха, содержащего радон, основную опасность представляют продукты его распада (радиоактивные изотопы полония, висмута, свинца), которые задерживаются в органах дыхания.

Рацион питания — Состав и количество продуктов питания, потребляемых живым организмом за определенный промежуток времени (за сутки — суточный рацион, за месяц — месячный рацион и т.д.).

Репарация ДНК — Свойственный клеткам всех организмов процесс восстановления структуры поврежденной *ДНК*.

С

След радиоактивный — Территория, загрязненная радиоактивными веществами по пути движения радиоактивного облака, образованного при ядерных взрывах или выбросах радиоактивных веществ в атмосферу в результате ядерных аварий.

Спектрометр — Прибор, предназначенный для определения качественного и количественного содержания радионуклидов в пробе. Измеряет число частиц или *гамма*-квантов в зависимости от их энергии.

Среда обитания человека — Совокупность объектов, явлений и факторов окружающей среды (природной и искусственной), которая определяет условия жизнедеятельности человека.

Стохастические эффекты — *См.* ***Радиационные эффекты стохастические***

Стратифицированные озера — Глубокие озера, в которых происходит слабое перемешивание воды. Температура озерной воды, ее химический состав (в том числе и концентрация радионуклидов) и другие характеристики заметно меняются с глубиной.

Стратосфера — Слой воздуха, расположенный над тропосферой на высоте от 8 – 10 км в высоких широтах и от 16 – 18 км вблизи экватора до 50 – 55 км над поверхностью Земли.

Стресс — Состояние, возникающее в организме под влиянием сильных внешних воздействий. При этом в организме происходят изменения, направленные на преодоление негативных последствий этих воздействий.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Счетчик излучения человека (СИЧ)

Прибор, являющийся разновидностью радиометра, который предназначен для определения содержания *гамма*-излучающих радионукнуклидов (например, ^{137}Cs, ^{40}K) в теле человека.

Т

Таксон

Группа организмов, связанных той или иной степенью родства, которые принадлежат к определенному виду, роду, семейству и т. д.

Теплоноситель

Вещество, которое используется в ядерном реакторе для отвода из активной зоны тепловой энергии, выделяющейся при реакции ядерного деления и сопутствующих ядерных превращениях.

Томография

Метод неразрушающего исследования внутренней структуры объекта с помощью излучения. Метод основан на послойном просвечивании объекта в различных направлениях и регистрации излучения, прошедшего через объект (так называемое сканирующее просвечивание).
В настоящее время в зависимости от используемого излучения существуют рентгеновская, магнитная, протонная, ультразвуковая, *гамма*- и другие разновидности томографии.

Трансурановые элементы

Элементы, расположенные в Периодической системе за ураном (Np, Pu, Am и др.).

Тропосфера

Самый нижний, примыкающий к земной поверхности слой атмосферы, простирающийся, в среднем, до высоты 10 км над полюсами и до высоты 16 – 18 км над экватором.

Тротиловый эквивалент

Показатель, который используется для оценки мощности взрыва боеприпасов, в том числе и ядерных. Определяется по количеству взрывчатого вещества тротила (тринитротолуола), которое требуется взорвать, чтобы взрыв по энергии соответствовал (был эквивалентен) взрыву боеприпаса.

У

Углеводы (сахара)

Органические соединения, общая формула которых может быть представлена в виде $C_n(H_2O)_m$. Большинство природных углеводов являются производными циклических форм моносахаридов Углеводы — источник энергии в организме

Ударная волна

Область сильно сжатого воздуха, распространяющаяся со сверхзвуковой скоростью по всем направлениям от места взрыва.

Управление цепной реакцией ядерного деления

Регулирование скорости реакции ядерного деления (числа актов деления тяжелых атомных ядер в единицу времени) путем поддержания в активной зоне реакции определенного количества нейтронов, способных вызывать ядерное деление.

Ф

Факторы среды обитания

Биологические (вирусные, бактериальные и иные), физико-химические (шум, вибрация, ультразвук, тепловые, ионизирующие и другие излучения), социальные (питание, водоснабжение, условия труда, быта, отдыха) и другие свойства среды обитания, которые оказывают воздействие на человека и его здоровье.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Ферми — Внесистемная единица измерения расстояния в масштабах атомного ядра. Названа по имени итальянского физика Энрико Ферми. *1 ферми (ф) = 10^{-15} м.*

Физическая культура — Составная часть культуры, представляющая собой совокупность духовных и материальных ценностей, создаваемых и используемых обществом в целях физического развития человека, укрепления здоровья и повышения его двигательной активности.

Физическое воспитание — Часть общего процесса воспитания человека. Этот процесс направлен на укрепление здоровья, гармоническое развитие форм и функций организма человека. Способствует повышению работоспособности, продлению жизни и творческому долголетию человека.

Фотон — Квант (порция) энергии электромагнитного излучения, обладающий свойствами волны и частицы

Фотонное излучение — *См.* ***Излучение фотонное***

Фотоэлектроны — Электроны, утратившие связь с атомным ядром под действием электромагнитного излучения.

Фотоэффект — Появление в веществе фотоэлектронов под действием электромагнитного излучения.



Химический элемент — Вид атомов, в ядрах которых содержится определенное количество протонов. Число протонов определяет величину положительного заряда ядер атомов химического элемента и положение элемента в Периодической системе Д.И. Менделеева.

Хромосомные аберрации — Структурные перестройки хромосом, сопровождающиеся их разрывом, за которым обычно следует соединение разорванных концов в новых сочетаниях. При этом возможна утрата части генного материала клетки.

Хроническое облучение — *См.* ***Облучение хроническое***



Цепная реакция ядерного деления — Процесс деления тяжелых атомных ядер в условиях, когда нейтроны, освобождающиеся в результате ядерного деления, вызывают новые акты деления тяжелых ядер, обеспечивая дальнейшее протекание реакции ядерного деления.

Цепная реакция деления неуправляемая — Цепная реакция ядерного деления, протекающая с нарастающей скоростью в результате увеличения числа свободных нейтронов, инициирующих новые акты деления.

Цепная реакция управляемая — Цепная реакция ядерного деления, скорость протекания которой регулируется за счет поддержания определенного количества нейтронов, инициирующих деление ядер тяжелых элементов.

Цитолиз — Полное или частичное растворение животной или растительной клетки. Происходит в норме при метаморфозе, может также происходить при патологии.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Цитоплазма — Высокоорганизованная многокомпонентная система сложной структуры, расположенная между ядром клетки и плазматической мембраной. Цитоплазма состоит из жидкого вещества — *гиалоплазмы* (матрикса) и *клеточных органелл (органоидов)*. *Гиалоплазма* представляет собой сложную коллоидную систему на основе воды, в состав которой входят белки, нуклеиновые кислоты, углеводы и другие вещества. *Органеллы* — митохондрии, рибосомы, лизосомы, эндоплазматический ретикулум, комплекс Гольджи и др. находятся в гиалоплазме во взвешенном состоянии.

Э

Эквивалентная доза — *См.* ***Доза эквивалентная***

Экология — Наука о взаимоотношениях живых организмов между собой и окружающей средой.

Экологическая система (экосистема) — Сообщество совместно обитающих живых организмов различных видов в совокупности с жизненным пространством, которое оно занимает и где осуществляется круговорот веществ и обмен энергией.

Электрон — Элементарная частица с массой покоя $9{,}11 \cdot 10^{-31}$ кг и зарядом «минус» $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл (Кулон). Абсолютная величина заряда электрона принята за единицу измерения заряда.

Энергия излучения — Энергия частиц (в случае корпускулярного излучения) или квантов электромагнитного излучения (в случае фотонного излучения). Единица измерения в системе СИ — Джоуль (Дж). Внесистемная единица измерения — электроновольт (эВ). *1 эВ = $1{,}602 \cdot 10^{-19}$ Дж.*

Эффективная годовая доза — *См.* ***Доза эффективная годовая***

Эффективная доза — *См.* ***Доза эффективная***

Эффективная коллективная доза — *См.* ***Доза эффективная коллективная***

Эффективная коллективная полная (ожидаемая) — *См.* ***Доза эффективная коллективная полная (ожидаемая)***

Эффективный период полувыведения — *См.* ***Период полувыведения эффективный***

Эффективный период полуочищения почвы — *См.* ***Период полуочищения почвы эффективный***

Эффекты детерминированные — *См.* ***Радиационные эффекты детерминированные***

Я

Ядерная зима — Возможное изменение климата вследствие выброса в атмосферу огромного количества веществ при ядерных взрывах в случае крупномасштабной ядерной войны. В результате длительного присутствия этих веществ в атмосфере, резко изменяются ее свойства — увеличивается поглощение солнечных лучей за счет находящихся в воздухе посторонних частиц. Температура у поверхности

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Земли понижается и происходит глобальное изменение климата.

Ядерное оружие — Оружие массового поражения , действие которого основано на использовании внутриядерной энергии , освобождающейся при протекании неуправляемой цепной реакции деления тяжелых атомных ядер или реакции термоядерного синтеза легких атомных ядер.

Ядерный взрыв — Мощный взрыв, вызванный высвобождением ядерной энергии при быстроразвивающейся цепной реакции деления тяжелых ядер, а также при реакции термо-ядерного синтеза легких атомных ядер.

Ядерный реактор — Устройство для осуществления управляемой цепной реакции деления тяжелых атомных ядер.

Ядерный топливный цикл — Весь процесс получения тепловой и электрической энергии за счет деления тяжелых атомных ядер — от разработки урановой руды до утилизации радиоактивных отходов.

Ядро атома — Положительно заряженная центральная часть атома, в которой сосредоточена практически вся его масса . Состоит из протонов и нейтронов, связанных между собой ядерными силами . Протон и нейтрон имеют общее название «нуклон», что в переводе с греческого означает «ядро». Число протонов определяет электрический заряд атомного ядра и порядковый номер химического элемента в Периодической системе.

Ядро клетки — Составная часть клетки, ограниченная двумембранной оболочкой, которая отделяет ядро от цитоплазмы. Главный управляющий центр клетки, где хранится генетическая (наследственная) информация . Выполняет функции передачи дочерним клеткам генетического материала в неизменном виде и функции регуляции клеточной активности.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Единицы измерения ионизирующего излучения и доз облучения

Таблица 1 **Единицы измерения ионизирующего излучения**

Величина, обозначение	Единица измерения		
	СИ	устаревшая	Соотношение между единицами измерения
Активность, *A* $A = dN / dt$ dN - число ядерных превращений за промежуток времени dt.	Бк	Ки	1 Ки = $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Бк
***Удельная активность вещества*, $A_{уд}$** $A_{уд} = A / m$, где A - активность вещества, масса которого равна m.	Бк/кг	Ки/кг	1 Ки/кг = $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Бк/кг
***Объемная активность вещества*, $A_{об}$** $A_{об} = A / V$, где A - активность вещества, объем которого равен V.	Бк/м^3	Ки/м^3	1 Ки/м^3 = $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Бк/м^3 1 Ки/м^3 = $3{,}7 \cdot 10^{7}$ кБк/м^3
Плотность радиоактивного загрязнения территории, A_s $A_s = A / S$, где A - активность радионуклидов на территории площадью S.	Бк/м^2	Ки/м^2	1 Ки/м^2 = $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Бк/м^2 1 Ки/км^2 = $3{,}7 \cdot 10^{4}$ Бк/м^2 = 37 кБк/м^2

Таблица 2 **Обозначение кратных и дольных единиц**

Наименование приставки	Отношение к главной единице	Сокращенное обозначение приставки	
		Русское	Международное
Атто	10^{-18}	а	A
Фемпто	10^{-15}	ф	F
Пико	10^{-12}	п	P
Нано	10^{-9}	н	N
Микро	10^{-6}	мк	μ
Милли	10^{-3}	м	m
Санти	10^{-2}	с	c
Деци	10^{-1}	д	d
Дека	10	да	da
Гекто	10^{2}	г	h
Кило	10^{3}	к	K
Мега	10^{6}	М	M
Гига	10^{9}	Г	G
Тера	10^{12}	Т	T
Пета	10^{15}	П	P
Экса	10^{18}	Э	E

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Таблица 3 **Единицы измерения доз облучения**

Величина, обозначение	Единица измерения		
	СИ	устаревшая	Соотношение между единицами измерения
Поглощенная доза, *D* $D = DE / Dm$, где DE — среднее количество энергии, переданное излучением веществу, масса которого равна Dm.	**Гр (Грей)**	Рад	**1 рад = $1 \cdot 10^{-2}$ Гр**
Мощность поглощенной дозы, $МД_D$ $МД_D = DD / Dt$, где DD — изменение поглощенной дозы за промежуток времени Dt	**Гр/с** Гр/ч	Рад/с Рад/час	**1 рад/с = $1 \cdot 10^{-2}$ Гр/с**
Эквивалентная доза, *H* $H = D \cdot W_R$ где D — средняя *поглощенная доза* излучения R-типа в органе или биологической ткани человека; W_R — весовой множитель излучения. $W_\gamma = W_\beta = 1$; $W_\alpha = 20$ W_γ, W_β, W_α — весовые множители соответственно *гамма*-, *бета*- и *альфа*-излучения.	**Зв (Зиверт)**	Бэр	**1 бэр = 10^{-2} Зв**
Мощность эквивалентной дозы, $МД_Н$ $МД_Н = DH/Dt$, где DH приращение эквивалентной дозы за время Dt.	**Зв/с** Зв/ч	Бэр/с	**1 бэр/с = 10^{-2} Зв/с**
Эффективная доза, *E* $E = H_{T1} \cdot W_{T1} + H_{T2} \cdot W_{T2} + \ldots$, где H_{T1}, H_{T2} и т. д. — эквивалентные дозы облучения органов или биологических тканей человека, которые обозначены индексами $T1$, $T2$… и т. д.; W_{T1}, W_{T2}, и т. д. — тканевые весовые множители, которые характеризуют относительную чувствительность соответствующих органов или тканей к действию ионизирующего излучения.	**Зв/с** Зв/ч	—	—
Мощность эффективной дозы, $МД_E$ $МД_E = DE/Dt$, где DE приращение эффективной дозы за время Dt.	**Зв/с** Зв/ч	—	—

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Величина, обозначение	Единица измерения		
	СИ	устаревшая	Соотношение между единицами измерения
Коллективная эффективная доза, $E_{кол}$, $E_{кол} = E_1 + E_2 + \ldots + E_n$ $E_1, E_2, \ldots E_n$ — индивидуальные эффективные дозы членов рассматриваемого коллектива людей, состоящего из n человек. Коллективная эффективная доза относится к определенному промежутку времени (например, 1 год).	**Чел.-Зв**	—	—

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Библиография

1. Андрюшин И.А., Чернышов А.К., Юдин Ю.А. Укрощение ядра: Страницы истории ядерного оружия и ядерной инфраструктуры СССР, Саров: Аналитич. Центр по проблемам нераспространения.– 2003. – 481 с. – ISBN 5-7493-0621-6.
2. Артемов Н.Е., Бондарев А.А., Карпов В.И. и др. Допустимые выбросы радиоактивных и вредных химических веществ в приземный слой атмосферы. – М.: Атомиздат, 1980.
3. Атлас загрязнения Европы цезием после Чернобыльской аварии. Люксембург: Европейская Комиссия, 176, А 3, 1998. – ISBN 92-828-3140-X. –Номер каталога CG-NA-16-733-29-c.
4. Атом без грифа «секретно»: точка зрения. – Москва – Берлин, 1992. – 144 с.
5. Аугуста И., Буриан З. По путям развития жизни. – Прага: Артия, 1963. – 176 с.
6. Биологический энциклопедический словарь / Гл. ред. М.С. Гиляров; Редкол. А.А. Баев, Г.Г. Винберг Г.А. Зварзин и др.– М.: Большая Российская энциклопедия, 1995. – 864 с., 30 л. ил. – ISBN 5-85270-002-9.
7. Браун Т., Лемей Г.Ю. Химия в центре наук. Т. 1, 2. – М.: Мир, 1983.
8. Бударко В.А., Киршин В.А., Антоненко А.Е. Радиобиологический справочник. – Мн.: Ураджай, 1992. – 336 с. – ISBN 5-7860-0622-0.
9. Булдаков Л.А. Радиоактивные вещества и человек. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 160 с. – ISBN 5-283-03018-0.
10. Быховский А.В., Зараев О.М. Горячие аэрозольные частицы при техническом использовании атомной энергии. – М.: Атомиздат, 1974. – 256 с.
11. Вдовенко В.М. Современная радиохимия. – М.: Атомиздат, 1969. – 544 с.
12. Войткевич Г.В. Химическая эволюция Солнечной системы. – М.: Наука, 1979. - 176 с.
13. Вопросы социальной защиты граждан, пострадавших от катастрофы на Чернобыльской АЭС. –Гомель: Комчернобыль при Совете Министров РБ – РНИУП «Институт радиологии», 2005. – 36 с.
14. Гигиена и здоровый образ жизни / Дурейко Л.И., Трофимова Г.А., Романенко Н.Э. и др.; под ред. Л.Ф. Кузнецовой – Мн.: Тонпик, 2003. – 164 с. – ISBN 985-6673-29-1.
15. Гладков К.А. Атом от А. до Я. М.: Атомиздат, 1974. – 272 с.
16. Гофман, Дж. Чернобыльская авария: радиационные последствия для настоящих и будущих поколений. Мн.: –Высшая школа, 1994. – 574с. – ISBN 5-339-00869-X
17. Гуманитарные последствия аварии на Чернобыльской АЭС. Стратегия реабилитации: Отчет, подготовленный по заказу ПРООН и ЮНИСЕФ при поддержке УКГД ООН и ВОЗ.– Мн.: Юнипак, 2002. – 80 с. – ISBN 985-6418-40-2.
18. Доллежаль Н.А., Емельянов И.Я. Канальный ядерный энергетический реактор. – М.: Атомиздат, 1980. – 208 с.
19. Дорожко С.В., Бубнов В.П., Пустовит В.Т. Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность: Уч.пособие в 3-х частях. Часть 3. Радиационная безопасность. Мн.: Технопринт, 2003. – 209 с. – ISBN 985-464-123-6.
20. Дубинин Н.П. Некоторые проблемы современной генетики. М.: Наука, 1994. - 224 с – ISBN 5-02-005765-7.
21. Животный мир в зоне аварии Чернобыльской АЭС / Под ред. Л.М. Сущени, М.М. Пикулика, А.Е. Пленина.– Мн.: Навука і тэхніка, 1995. – 263 с. – ISBN 5-343-0136-1.
22. Защита от радиации. Учебноепособие/ Пер. с англ. –Игналинская АЭС. – GKD - 001Ru, 2001-04 – 124 с

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

23. Енохович А.С. Справочник по физике и технике. М.: Просвещение, 1989. – 224 с.
24. Итоги научных исследований в области радиоэкологии окружающей среды за десятилетний период после аварии на Чернобыльской АЭС / Под ред. С.К. Фирсаковой. – Гомель, 1996. – 206 с. – ISBN 5-09-000622-9.
25. Казимерчук З. Всеведующие изотопы. Мн.: Вышэйшая школа, 1989. – 224 с. – ISBN 5-339-00235-7 (СССР); ISBN 83-7001-052-0 (ПНР).
26. Кальвин М. Химическая эволюция / Пер. с англ.; ред. и предисловие А.И. Опарина. – М.: Мир, 1971. – 240 с.
27. Картель Н.А., Макеева Е.М., Мезенко А.М. Генетика: Энциклопедический словарь - Мн: Тэхналогія, 1999. - 448 с. - ISBN 985-6234-57.
28. Кейдл Р. Твердые частицы в атмосфере и космосе. – М.: Мир, 1969. – 284с.
29. Кеньон Д., Стейнман Г. Биохимическое предопределение / Пер. с нем.; под ред. А.И. Опарина. – М.: Мир, 1972. 336 с.
30. Козлов Б.Ф. Справочник по радиационной безопасности. М.: Энергоатомиздат, 1987. – 192 с.
31. Колевич Т.А., Матулис В.Э., Матулис В.Э. Химия: Учебное пособие по общей и неорганической химии для учащихся лицея БГУ. – Мн.: Изд. центр БГУ, 2003. – 152 с. ISBN 985-476-131-2
32. Кудельский А.В. Современные проблемы гидрогеологии и геоэкологии . – Мн.: Технопринт, 2005. – 536 с. ISBN 985-464-752-8
33. Кульмянёва Л.Р., Котаў М.М. Радыебіялогія: Вучэб. дапам. для 10 – 11-х кл. сярэд. шк. – Мн.: Нар. асвета, 1993. – 112 с. – ISBN 5-341-01098-1.
34. Левин В.Е. Ядерная физика и ядерные реакторы. М.: Атомиздат, 1969. – 280 с.
35. Лес и Чернобыль (Лесные экосистемы после аварии на Чернобыльской АЭС, 1986 – 1994 гг.) / Ипатьев В.А., Булавик И.М., Багинский В.Ф.; под ред. В.А. Ипатьева – Мн.: МНПП «СТЕНЕР», 1994. – 248 с.
36. Лес. Человек. Чернобыль. Лесные экосистемы после аварии на Чернобыльской АЭС: состояние, прогноз, реакция населения, пути реабилитации. / Под общей ред. Ипатьева В.А. – Гомель: Институт леса НАН Беларуси, 1999. – 454 с.
37. Люцко А.М. Фон Чернобыля . – Мн.: Бел. Сов. Энциклопедия , 1990. – ISBN 5-85700-064-5.
38. Люцко А.М., Качарская Л.В. Радыяцыйная бяспека. Вучэбны дапаможнік для 5 –9- х класаў базавай школы . – Мн.: Нар. асвета , 1994. – 107 с. – ISBN 985-03-0018-3.
39. Люцко А.М., Ролевич И.М., Тернов В.И. Выжить после Чернобыля. – Мн.: Высшая школа, 1990. – 108 с. ISBN 5-339-00493-7.
40. Маврищев В.В. Общая экология. Курс лекций. – Мн.: Новое знание, 2005. – 299 с. – ISBN 985-475-131-7.
41. Максимов М.Т., Оджагов Г.О. Радиоактивные загрязнения и их измерения — М.: Энергоатомиздат, 1989. – 204 с.
42. Манолов К.Р., Тютюнник В.М. Биография атома. Атом – от Кембриджа до Хиросимы / Переработанный пер с болг.; Под ред. Д.Н. Трифонова. – М.: Мир, 1985. – 246 с.
43. Маргулова Т.Х., Кабанов Л.П., Плютинский В.И., Байбаков В.Д. Атомная энергетика сегодня и завтра / Под ред. Т.Х. Маргуловой. – М.: Высш. шк., 1989. – 168 с. – ISBN 5-06000548-8
44. Николаев Л.А. Химия жизни. Пособие для учителей . – М.: Просвещение , 1977. - 239 с.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

45. Обербайль К. Витамины-целители / Пер. С. Борича – И. Лившиц: Спутники вашего здоровья – Мн.: Парадокс, 2003. – 446 с. - ISBN 985-451-129-4.45.
46. Общая биология. Учебное пособие для 10 класса общеобразовательной школы / Под ред. Н.Д. Лисова. - Мн.: Ураджай, 2001. – 244 с. – IBSN 985-04-0477-9.
47. Общая биология. Учебное пособие для 11 класса 11-летней общеобразовательной школы для базового и повышенного уровня / Под ред. Н.Д. Лисова /. Мн.: Беларусь, 2002. – 279 с. – IBSN 985-04-0553-8.
48. Одум Ю. Экология в 2-х т. / Пер. англ.; под ред. В.Е. Соколова – М.: Мир, 1986. - Т. I . – 326 с. – Т. II – 376 с.
49. Опарин А.И. Происхождение жизни./ Факсимильное издание. – Тбилиси: Мецниереба, 1985. – 48, 34 [1] с.
50. Основные положения обследования , оценка радиационной обстановки и построение карт загрязнения радионуклидами территории Республики Беларусь. Мн.: МЧС РБ, 1993.
51. Панфилова Н.Е. Молоко и здоровье. Мн.: Ураджай, – 1985. – 160 с.
52. Памятка "Вы собираетесь в лес...". Рекомендации для населения по пользованию лесами в окрестности г. Гомеля и г. Добруша (Гомельский лесхоз). – Мн.: МЧС РБ – Минлесхоз, 1998. – 32 с.
53. Памятка «Вы собираетесь в лес...». Рекомендации для населения по пользованию лесами на территории Столинского лесхоза. Мн.: МЧС РБ – Минлесхоз РБ, 1998. – 41 с.
54. Памятка «Вы собираетесь в лес...». Рекомендации по пользованию лесами на территории Лельчицкого лесхоза. Мн.: – МЧС РБ – Минлесхоз РБ, 1998. – 49 с.
55. Памятка «Вы собираетесь в лес...». Рекомендации по пользованию лесами на территории Лунинецкого лесхоза. Мн.: – МЧС РБ – Минлесхоз РБ, 1998. – 41 с.
56. Памятка для населения , проживающего на территории , загрязненной радиоактивными веществами. Мн.: Комчернобыль, 2000. – 10 с.
57. Памятка «Сельскохозяйственное производство на радиоактивных землях». – Мн.: НИРУП ИПА, 2001. – 30 с.
58. Политехнический словарь / Под ред. А.Ю. Ишлинского. – М.: Сов. энциклопедия, 1989. – 655 с. – ISBN 5-85270-003-7.
59. Последствия Чернобыльской катастрофы в Республике Беларусь. Национальный доклад / Под ред. Е.Ф. Конопли, И.В. Ролевича. – Мн.: МЧС РБ – АН Беларуси, 1996. – 95 с.
60. Последствия Чернобыльской катастрофы в Республике Беларусь. Национальный доклад. // Под ред. Е.Ф. Конопли. Мн.: МЧС РБ – АН Беларуси, 2002.
61. Правила ведения агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2002 – 2005 гг / Под ред И.М. Богдевича . – Мн.: Министерство сельского хозяйства и природопользования РБ, 2002. – 73 с.
62. Природа Белоруссии. Популярная энциклопедия. – Мн.: Бел. Сов. энциклопедия им. П. Бровки, 1986. – 598 с., 39 л. ил.
63. Проблемы сельскохозяйственной радиологии // Под ред. Лощилова Н.А. – Киев, 1992. – 204 с.
64. Пути миграции искусственных радионуклидов в окружающей среде // Под ред. Ф. Уорнера и Р. Харрисона. – М.: Мир, 1999. – 512 с. – ISBN 5-03-003016-6.
65. 15 лет после Чернобыльской катастрофы: Последствия для Республики Беларусь и их преодоление . Национальный доклад / Под ред. В.Е. Шевчука и В.Л. Гурачевского. – Мн.: Комчернобыль. – 98 с.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

66. Радиационная безопасность. Нормы радиационной безопасности (НРБ-2000). Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСП-2002). – Мн.: Министерство здравоохранения РБ, 2003. – 180 с.
67. Радиоактивное загрязнение растительности Беларуси . // Под общ. ред. В.И. Парфенова , Б.И. Якушева . – Мн.: Навука і тэхніка, 1995. — 582 с. ISBN 5-343-01420-8
68. Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях. Труды международной конференции .– С.-П.: Гидрометеоиздат , 2000. Т. 1. – 786 с. – ISBN 5-286-01391-0. – Т. 2. – 576 с. – ISBN 5-286-01390-2.
69. Радиационная безопасность . Рекомендации Международной комиссии по радиологической защите 1990 года. Публикация 60 МКРЗ, часть 2. – М.: Энергоатомиздат, 1994.
70.. Радиоэкология : успехи и перспективы . Материалы научного семинара . Севастополь, 1994, 129 с. – ISBN
71. Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в пищевых продуктах и питьевой воде (РДУ-99). – Мн.: 1999. – 6 с.
72. Руководство по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель РБ на 1997 – 2000 гг. / Под ред. И.М. Богдевича. – Мн.: Академия аграрных наук, 1997. – 78 с.
73. Руководство по ведению лесного хозяйства в зонах радиоактивного загрязнения. – Мн.: МЧС РБ, 1995. – 112 с.
74. Рэмсден Э.Н. Начала современной химии: Справ. изд.: Пер. с англ. Под ред. В.И. Барановского, А.А. Белюстина, А.И. Ефимова, А.А. Потехина. – Л.: Химия, 1989. – 784 с. ISBN 5-7245-0127-9.
75. Рябов И.Н., Белова Н.В., Крышев И.И., Рябцев И.А. Радиоэкологическая безопасность : Пособие для учителей . Тула: Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцева Российской АН, 2001. – 216 с. – ISBN 5-8125-0140-8.
76. Сборник нормативных , методических , организационно -распорядительных документов Республики Беларусь в области радиационного контроля и безопасности . – Мн.: МЧС РБ – Гомельский филиал НИКИ Радиационной медицины и эндокринологии Минздрава РБ, 2000. – 272 с.
77. Сельскохозяйственная радиоэкология. // Под ред. Алексахина Р.М. и др. М.: Экология, 1991. — 396 с.
78. Солодовникова И.И., Сандаков Д.Б. Биология в терминах и понятиях. – Мн.: Аверсэ, 2003. – 160 с. – ISBN 985-478-126-7.
79. Трансурановые элементы в окружающей среде // Под. ред. У.С Хэнсона . – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 345 с.
80. Физические величины . Справочник / Под ред. И.С. Григорьева , Е.З. Мейлихова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с. – ISBN 5-283-04013-5.
81 Физический энциклопедический словарь. М.: Сов. энциклопедия, 1989. – 656 с.
82. Физический энциклопедический словарь / Под ред. Ю.В. Прохорова. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1995. – 928 с.
83. Фор Х. Основы изотопной геологии . – М.: Мир , 1989. – 590 с. – ISBN 5-03-00927-2.
84. Химия окружающей среды . / Под ред. Бокриса Дж.О.М. – М.: Химия , 1982. - 671 с.
85. Холл Э. Дж. Радиация и жизнь / Пер с англ .; под ред. Л.А. Ильина . – М.: Медицина, 1989. 256 с. – ISBN 5-225-01650-2; ISBN 0-08-028819-7.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

86. Чернобыль. Десять лет спустя. Радиационные и медицинские последствия. – Париж : Агенство по ядерной энергии – Организация экономического сотрудничества и развития, 1996. – 128 с. –ISBN 5-7602-0018-6.

87. Шеннон С. Питание в атомном веке. Как уберечь себя от малых доз радиации / Пер. с англ. П.М. Добрусова, С.Г. Скоморохова. – Мн.: Беларусь, 1991.

88. Экологическая безопасность и актуальные проблемы рационального природопользования . Законодательное и информационное обеспечение . // Матер. Междунар. научно-практической конф. 13 –14 декабря 2002 г. Гомель. – Гомель: РУП «Центр научно-технической и деловой информации», 2003. – 124 с. – ISBN 985-6522-38-2.

89. Экология. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений / Под ред. В.В. Денисова. – Ростов-на-Дону: Изд. Центр «МарТ», 2002. – 640 с.

90. Ядерные технологии в XXI веке. Россия на мировом рынке услуг по обращению с ядерным топливом. – М.: Пресс-центр Минатома России. – 20 с.

91. Ярмоненко С.П. Радиобиология человека и животных . М: Высшая школа, 1988. - 424 с.

92.Chernobyl Catastrophe / Ed. Baryakhtar V.G. – Kyiv: Editorial House of Annual Issue “Export of Ukrain”, 1997. – 576 p. – ISBN /966-2259-01-6.

93.Kaplan N.O., Kennedy E.R. Current Aspects of Biochemical Energetic. – New-York, 1966. – 27 p.

94.Radiation, People and the Environment. – Viena: IAEA, 2004. – 81 p. – ISBN

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

СОДЕРЖАНИЕ

К читателям 3

ЧАСТЬ I ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАДИОЭКОЛОГИИ И РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Глава 1 Общие вопросы радиоэкологии

1.1. Экология и радиоэкология 5
1.2. Радиоэкология как наука 8
1.3. Основные понятия радиоэкологии 12

Глава 2 Радиоактивность и ядерные излучения

2.1. Из истории открытия ионизирующих излучений 15
2.2. Что мы знаем об атомах 16
2.3. Радиоактивность . Радионуклиды . Радиоактивные семейства 19
2.4. Искусственная радиоактивность 21
2.5. Закон радиоактивного распада Период полураспада Активность.....24
2.6. Основные виды ионизирующих излучений 26

Глава 3 Основы дозиметрии и радиометрии

3.1. Дозиметрические понятия . Основные дозиметрические величины 37
3.2. Способы измерения ионизирующих излучений и определения доз облучения 53
3.3. Формирования доз внутреннего и внешнего облучения человека 61

Глава 4 Радиационный фон окружающей среды

4.1. Космическое излучение 70
4.2. Радиация земной коры 76
4.3. Ионизирующие излучения искусственного происхождения 83
4.4. Эволюция радиационного фона под влиянием природных и антропогенных факторов 86

Глава 5 Биологические эффекты ионизирующего излучения

5.1. Роль радиации в зарождении и поддержании жизни на Земле 96
5.2. Действие ионизирующего излучения на биологические молекулы и клетки 106
5.3. Действие ионизирующего излучения на ткани , органы и системы органов 122
5.4. Действие ионизирующего излучения на организм человека 129
5.5. Последствия облучения организма человека 141
5.6. Принципы радиационной безопасности 147

Глава 6 Радиация на службе у человека

6.1. Использование источников ионизирующего излучения в медицине , промышленности , науке и сельском хозяйстве 158
6.2. Принцип действия ядерных реакторов и их типы. 170
6.3. Ядерный топливный цикл и проблема радиоактивных отходов. 189
6.4. Аварии на ядерных установках и предприятиях ядерного топливного цикла 197

Глава 7 Испытания ядерного оружия

7.1. Что такое ядерное оружие 206
7.2. Испытательные ядерные полигоны 219
7.3. Последствия ядерных взрывов.....221

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

ЧАСТЬ II **КАТАСТРОФА НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ: ПРИЧИНЫ, ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА, ПОСЛЕДСТВИЯ**

Глава** 8 **Радиоактивное загрязнение биосферы

8.1. Почему произошла Чернобыльская катастрофа ?.....227
8.2. Как чернобыльские радионуклиды попали в окружающую среду ?.....229
8.3. Радиоактивноезагрязнениетерритории РеспубликиБеларусь.....232
8.4. Радиоактивное загрязнение воздушной и водной сред.....241
8.5. Поведение чернобыльских радионуклидов в почве 247
8.6. Загрязнение природной растительности 251
8.7. Последствия катастрофы для животного мира 256
8.8. Содержание радионуклидов в продуктах питания 259

Глава** 9 **Последствия Чернобыльской катастрофы

9.1. Экономический ущерб 267
9.2. Дозы облучения населения 269
9.3. Здоровье населения 272
9.4. Социально -психологические последствия 276

Глава** 10 **Преодоление последствий Чернобыльской катастрофы в Республике Беларусь

10.1. Что делает государство , чтобы преодолеть последствия катастрофы и защитить пострадавшее население 280
10.2. Защитные мероприятия 287
10.3. Правильное питание 300
10.4. Здоровый образ жизни 315

ПРИЛОЖЕНИЕ

Словарь терминов.....323
Единицы измерения ионизирующего излучения и доз облучения.....346
Библиография.....349

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

ОСНОВЫ РАДИОЭКОЛОГИИ И БЕЗОПАСНОЙ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Методическое пособие для учителей

Том I

Под общей редакцией Т.Н. Ковалевой, Г.А. Соколик, С.В. Овсянниковой

В подготовке I тома принимали участие:

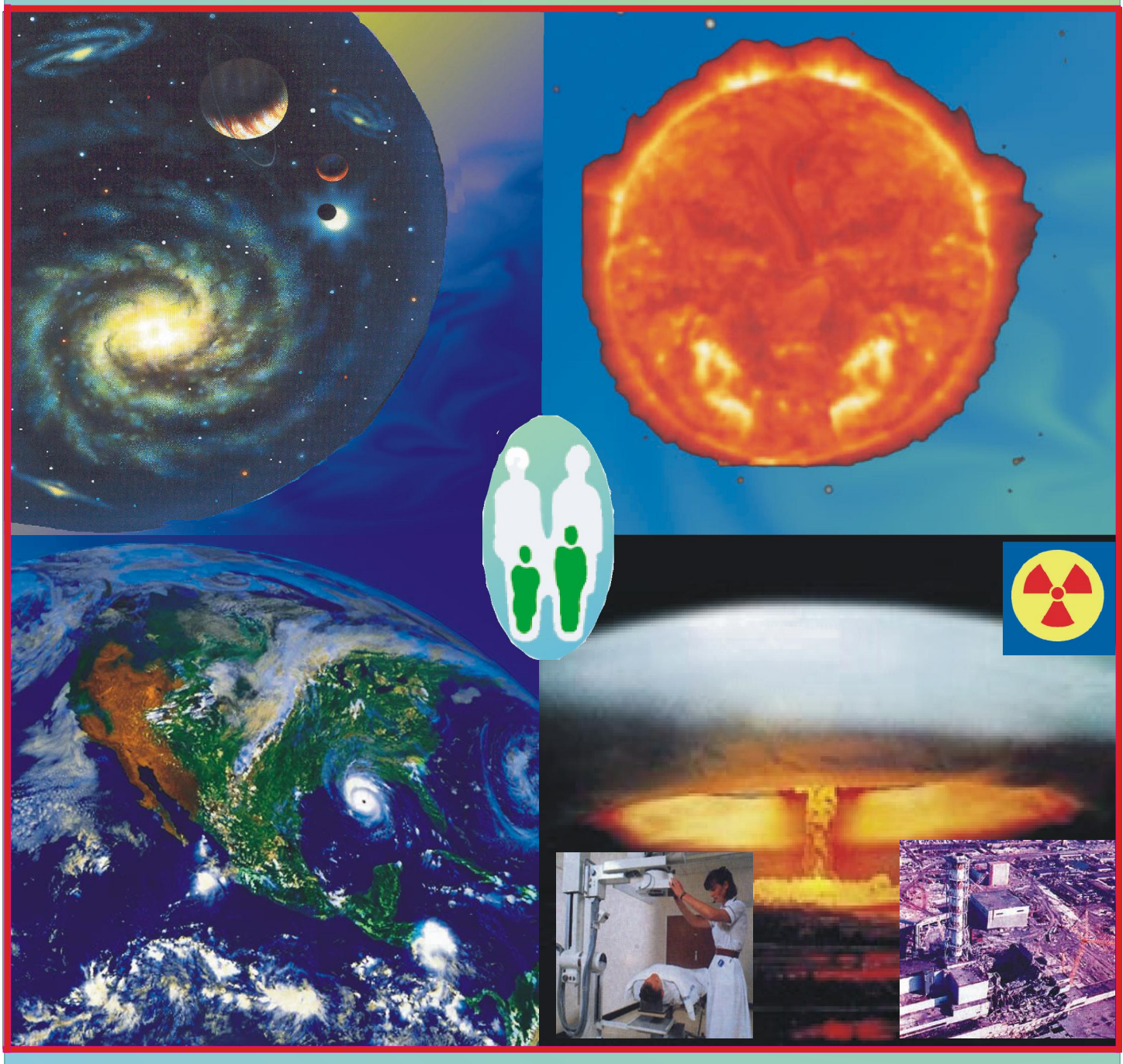
Канд. психолог. наук *Ковалева Т.Н.*, канд. хим. наук *Соколик Г.А.*, канд. хим. наук *Овсянникова С.В.*, канд. хим. наук *Лейнова С.Л.*, канд. физ.-мат. наук *Гурачевский В.Л.*, канд. хим. наук *Кимленко И.М.*, канд. мед. наук *Крюкова А.А.*, канд. мед. наук *Шевчук В.Е.*, канд. техн. наук *Жукова О.М.*, *Соболев О.В.*, *Иванова Т.Г.*, *Захаренков В.В.*, канд. техн. наук *Тушин Н.Н.*
Компьютерная верстка, набор и дизайн *Д.М. Максимович*

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Основы радиоэкологии и безопасной жизнедеятельности

Том II

Методическое пособие
для учителей



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Основы радиоэкологии и безопасной жизнедеятельности

Методическое пособие для учителей: в двух томах

Том II

Под общей редакцией
кандидата психологических наук Т.Н. Ковалевой,
кандидата химических наук Г.А. Соколик,
кандидата химических наук С.В. Овсянниковой

Подготовлено при поддержке ЮНЕСКО

Минск 2005

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 614.876 (075.8)
ББК

Рецензенты:

д-р мед. наук, профессор *Я.Э. Кенигсберг*
канд. пед. наук *О.Л. Жук*
канд. биолог. наук, заслуженный учитель РБ *З.И. Шелег*

Основы радиоэкологии и безопасной жизнедеятельности. Методическое пособие для учителей : в двух томах . // Под общей редакцией Т.Н. Ковалевой, Г.А. Соколик, С.В. Овсянниковой. — Минск: БГУ, 2005. — Т. II. — с.

В подготовке II тома пособия принимали участие:

Глава 12 — канд. пед. наук *Комарова И.А.* (Могилевский университет); *Корсик С.Л.* (Министерство образования РБ);

Глава 13
раздел 13.1 — *Кузнецова Л.Ф.* (Министерство образования РБ); *Трафимова Г.В.*, *Трафимов С.А.* (СШ № 27, г. Орша);

разделы 13.2 – 13.8 — *Опарина В.В.* (Научно-методическое учреждение "Национальный институт образования"); *Романовец Г.С.* (Министерство образования РБ); канд. хим. наук *Кимленко И.М.* (Белгосуниверситет); *Захаренков В.В.* (Белгосуниверситет);

Глава 14 — канд. хим. наук *Лейнова С.Л.* (Белгосуниверситет); *Черевко Е.С.* (Белгосуниверситет); канд. техн. наук *Тушин Н.Н.* (Международный государственный экологический университет им. А.Д. Сахарова);

Глава 15 — *Полякова Н.Г.* (Республиканский экологический центр детей и юношества).
Компьютерная верстка, набор и дизайн *Д.М. Максимович* (Объединенный институт энергетических и ядерных исследований - Сосны)

ISBN

Во *втором* томе пособия приведены примеры методических разработок для проведения занятий по радиоэкологии и безопасной жизнедеятельности с детьми и подростками разных уровней подготовки. Педагогам дошкольных учреждений могут помочь примеры занятий в форме дидактических, ролевых и подвижных игр, игровых ситуаций и упражнений, экологических сказок. Учителя школ найдут здесь примеры методических разработок уроков по основам радиоэкологии и безопасной жизнедеятельности, а также примеры практических лабораторных занятий, которые могут быть использованы как на уроках по обязательной программе обучения основам радиоэкологии и безопасной жизнедеятельности, так и при внеклассной работе с подрастающим поколением по развитию радиологической культуры.

Методическое пособие адресовано педагогам, работающим с детьми и подростками в районах, пострадавших от Чернобыльской катастрофы, а также широкому кругу читателей, желающих расширить свои представления в области радиоэкологии и овладеть приемами, способствующими снижению радиационного риска.

ISBN

УДК 614.876 (075.8)
ББК

Основы радиоэкологии и безопасной жизнедеятельности, 2005

Оформлении БГУ, 2005

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

К ЧИТАТЕЛЯМ

Дорогие коллеги,

перед Вами методическое пособие, которое поведет Вас в мир радиоэкологии. В последние десятилетия интерес к этой относительно молодой области научного знания необычайно возрос. Немалую роль в этом сыграла и Чернобыльская катастрофа, после которой любой из нас, даже тот, кто далек от науки, осознал, какая мощная энергия таится в недрах атомного ядра.

Несомненно, ядерная энергия может приносить огромную пользу людям. Современное развитие цивилизации трудно представить без использования ядерных технологий, особенно для удовлетворения энергетических потребностей человечества. «Энергией будущего» называли ядерную энергетику в середине XX века и так до сих пор считают многие ученые. Вместе с тем, разрушительная катастрофа, произошедшая на Чернобыльской АЭС, напомнила, какая грозная и необузданная сила может обрушиться на человека при неосторожном обращении с «мирным атомом».

Прошло уже 20 лет после Чернобыльской катастрофы. Правительство нашей страны делает многое, чтобы максимально обезопасить проживание и улучшить качество жизни людей в пострадавших районах. Ежегодно на это расходуются значительные средства из бюджета страны. Вместе с тем, последствия произошедшей катастрофы до сих пор волнуют людей, порождая как обоснованные, так и необоснованные страхи и опасения. Во многом эти страхи связаны с недостатком знаний в области радиоэкологии, неумением реально оценивать радиационную обстановку и по возможности избегать чрезмерного облучения в повседневной жизни с помощью совсем несложных и доступных мер.

Методическое пособие, предлагаемое Вашему вниманию, в первую очередь, предназначено для педагогов, которые проводят занятия по основам безопасной жизнедеятельности в школах, расположенных на территории, загрязненной радионуклидами чернобыльского выброса или вблизи такой территории. Учителя химии, физики, биологии, географии, физической культуры также найдут здесь материал, который окажется полезным при проведении уроков, как по обязательной программе их курса, так и при организации внеклассной работы. Пособие может оказать реальную помощь и педагогам дошкольных учреждений.

Учитель является проводником знаний и культуры, особенно на селе. Повысив свой уровень подготовки, он может передать свои знания и опыт тем, кого обучает. Вот почему так важно заботиться об уровне знаний педагогов, работающих с детьми и молодежью.

Любой любознательный читатель найдет здесь множество полезных советов, которые пригодятся в повседневной жизни и помогут сохранить и укрепить здоровье.

Материалы пособия не только познакомят Вас с основами радиоэкологии и радиационной безопасности, расширив и углубив знание предмета. Они помогут разобраться, как самостоятельно оценивать степень радиационного риска в реальной жизненной ситуации, как выбирать наиболее подходящие приемы, чтобы, по возможности, уменьшить этот риск.

Пособие охватывает широкий круг вопросов. Оно состоит из двух книг. Первая книга включает две части. *Первая часть* посвящена теоретическим основам радиоэкологии и безопасной жизнедеятельности в условиях повышенного радиационного риска. Здесь рассказывается о природе различных видов ионизирующего излучения, применении источников излучения в различных областях науки и техники, о биологических эффектах, к которым может приводить облучение человека.

Во *второй части* пособия в самых общих чертах рассматривается, как и почему произошла катастрофа на Чернобыльской АЭС, как развивались события после разгерметизации ядерного реактора, какие радионуклиды представляли наибольшую опасность в разные периоды после катастрофы, к каким последствиям для природы Беларуси привело радиоактивное загрязнение окружающей среды. Особое внимание уделено тому, что может реально предпринять сам человек, чтобы уменьшить облучение своего организма, какими должны быть образ жизни и питание человека при проживании на территории, подвергшейся радиоактивному загрязнению.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

В *третьей части* пособия Вы найдете примеры методических разработок для проведения занятий по радиоэкологии и радиационной безопасности с учащимися и воспитанниками разных уровней образования, в том числе и примеры практических лабораторных занятий.

Чтобы легче ориентироваться в обширном материале I книгу пособия завершает *приложение*, включающее таблицы основных дозиметрических величин и словарь терминов, используемых в пособии. В конце каждой книги приведены списки публикаций научного и методического характера, материалы которых использовались при подготовке методического пособия.

Пособие подготовлено в рамках международного проекта ЮНЕСКО, направленного на реализацию новых подходов к решению проблем реабилитации пострадавших районов.

Авторы использовали наиболее достоверную современную информацию и старались излагать материал простым и доступным языком. Для понимания изложенного материала вовсе не требуется специальная подготовка. И пусть Вас не пугает, если после первого прочтения не все сразу станет ясным до конца. Ясность и понимание приходят постепенно, по мере привыкания к новым понятиям и терминам. Пособие поможет Вам расширить кругозор и получить знания, необходимые всем людям, живущим на загрязненной территории. Авторы надеются, что материалы пособия помогут Вам, используя свой педагогический опыт работы с детьми подростками, способствовать воспитанию активной целеустремленной личности, способной управлять обстоятельствами в сложной радиоэкологической ситуации. Недостаток знаний и умений, недопонимание сути явлений порождают страх, ощущение бессилия, неуверенность в завтрашнем дне. Знание проясняет ситуацию, помогает понять, что Ваше стремление сохранить и укрепить собственное здоровье и здоровье близких Вам людей осуществимо. Это вселяет надежду и придает новые силы. При этом многое зависит от Вашего собственного оптимизма, упорства и активности.

Удачи Вам на этом пути!

Т.Н. Ковалева

Заместитель

Министра образования

Республики Беларусь

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

ЧАСТЬ III

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЙ ПО РАДИОЭКОЛОГИИ И ОСНОВАМ БЕЗОПАСНОЙ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Глава 11
Занятия с детьми дошкольного возраста

Опыт организации радиоэкологического воспитания показывает, что понятие «радиация» является очень сложным для понимания детьми. Ознакомление детей с основами радиоэкологии лучше начинать в старшем дошкольном возрасте. Основными средствами работы могут стать игры (дидактическая, ролевая, подвижная), игровые ситуации и упражнения, экологические сказки, обучающие занятия.

Индивидуальные беседы со старшими дошкольниками показали, что некоторые дети никогда не слышали слова «радиация» и понятия не имеют, что оно означает. Многие дети не имеют представления, как можно защитить себя от радиации. Их ответы часто носят обобщенный или примитивный характер: «Не ходить туда, где живет радиация», «Ее нужно убить», «Ее нужно развеселить», «От нее можно спрятаться», «Не трогать ее руками» и т. п. В связи с этим были разработаны обучающие занятия, в основу которых положена идея формирования у детей навыков здорового образа жизни.

Радиацию дети чаще всего ассоциируют с различными сказочными героями, в основном с отрицательными персонажами детских сказок (Бабой Ягой, злой волшебницей, Змеем Горынычем, Драконом, Царевной Несмеяной, привидением). Именно этот факт наталкивает на мысль, что радиоэкологическое образование детей дошкольного возраста наиболее целесообразно осуществлять посредством экологической сказки, где главными действующими лицами являются королева Радиация, ее слуги-радионуклиды и другие персонажи. Использование экологических сказок в ходе радиоэкологического воспитания детей позволяет

- выработать чувство осторожности при проживании в условиях радиоактивного загрязнения;
- расширить их знания о полезном применении радиации;
- сформировать у детей умения и навыки, которые помогут им избегать опасного воздействия излучений в повседневной жизни, в том числе и в неблагоприятных радиоэкологических условиях.

11.1. **Игровое обучающее занятие** «***Что такое радиация***»

Цель: дать общее представление о радиации, рассказать об источниках излучения, пояснить, когда радиация приносит пользу людям, а когда может наносить вред человеку и другим живым организмам.

Материал: картинки с изображениями разнообразных источников излучений (солнце, телевизор, радиотелефон, атомные электростанции и др.) и знака радиационной опасности.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Ход занятия

Воспитатель: Ребята, вы когда-нибудь слышали слово “радиация”? Знаете ли вы, что оно означает?

Дети высказывают свои предположения.

Воспитатель: Сегодня мы поговорим о радиации. Мы с Вами живем в чудесном мире — мире излучений. Вокруг нас множество самых разных излучений. Может быть, кто-нибудь из Вас может назвать известные Вам излучения.

Дети называют то, что им известно.

Воспитатель: Излучения окружают нас повсюду. Солнечный свет, с которым знаком каждый из Вас, и который можно увидеть, — это один из видов излучений.

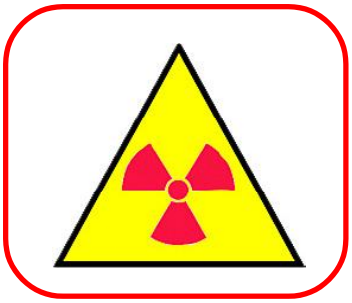
Однако не все излучения можно увидеть. Солнышко излучает и невидимые лучи. Подобные невидимые лучи поступают на Землю из далекого Космоса, где находятся другие звезды и планеты. Источники излучений есть и на Земле. Излучения исходят от почвы, воды, воздуха, растений. У каждого в доме есть источники, которые испускают как видимые, так и невидимые лучи. Назовите их.

Дети перечисляют.

Воспитатель: Электрические лампочки, плита, радио, телевизор, радиотелефон, микроволновая печь — все это источники излучений. Свет электрической лампочки — это световое излучение, которое мы можем видеть. Тепло, которое исходит от горячей плиты на кухне, — это тепловое излучение, которое мы можем почувствовать.

Радиация — это такие виды излучения, которые мы не можем увидеть или ощутить. Вещества, которые испускают такие лучи, называют *радиоактивными*.

Воспитатель предлагает рассмотреть на картинке знак, обозначающий место, где есть радиация.



Воспитатель: Видели ли Вы когда-нибудь этот знак? Он устанавливается в тех местах, где скопилось большое количество радиоактивных веществ. Эти вещества испускают невидимое излучение, которое может вредить нашему здоровью. Гулять в таких местах опасно.

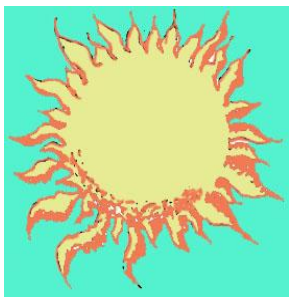
Далее воспитатель показывает следующую картинку с изображением Солнца.

Воспитатель: Что это?

Дети: *Солнышко.*

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Воспитатель: Солнечный свет очень полезен, он поднимает настроение и укрепляет здоровье. Однако если долго быть на солнце, можно перегреться. Что может произойти от перегрева?



Дети: *Ожог, головная боль, тошнота, обморок.*

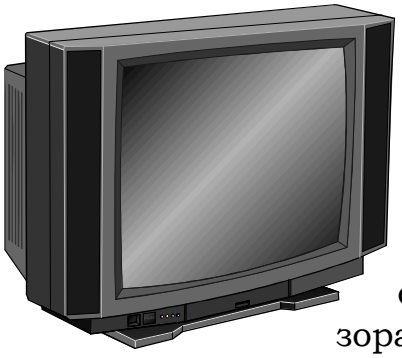
Воспитатель: Летом, гуляя на солнце, обязательно нужно носить головной убор и темные очки. Долго находиться на солнце не следует. А в то время, когда солнце особенно сильно припекает и стоит жара (середина дня), лучше находиться в прохладном месте — в тени.

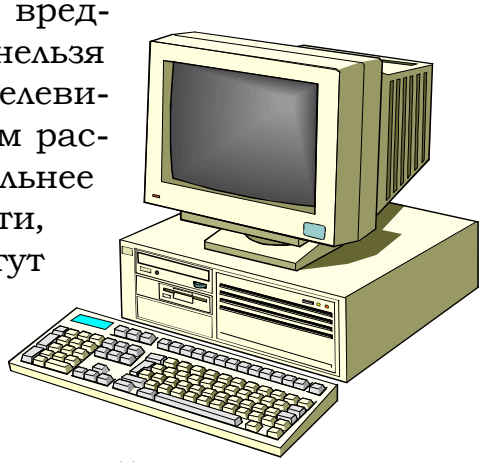
А что изображено на этой картинке?

Показывает изображение телевизора.

Дети: Телевизор.

Воспитатель: Любите ли Вы смотреть телевизор? Какие передачи любите смотреть больше всего? Телевизор также испускает лучи, которые могут быть вредны для нас. Поэтому у каждого телевизора экран покрыт тонкой невидимой пленкой, которая не пропускает вредные лучи. Но все же этот защитный экран не поглощает полностью вредные лучи. Поэтому нельзя очень близко сидеть у телевизора, поскольку на близком расстоянии лучи, идущие от телевизора, сильнее действуют на организм человека. Помните, дети, слишком долго смотреть телевизор нельзя: могут устать Ваши глаза. Если смотреть телевизор помногу, Вы можете плохо себя почувствовать.





И совсем не стоит смотреть телевизор перед сном. Необходимо чередовать короткий просмотр телепередач и прогулки на свежем воздухе. Это же касается и компьютера.

А что изображено на этой картинке?

Показывает изображение телефона.



Дети: Телефон.

Воспитатель: Телефон очень выручает нас, когда нам срочно нужно сообщить информацию или что-либо уточнить. У многих в доме есть мобильные или радиотелефоны. Пользуясь такими телефонами, нужно помнить, что долго разговаривать не стоит: они тоже являются источниками невидимого излучения. Если же каждый день вести долгие беседы по мобильному или радиотелефону, это может плохо отразиться на Вашем здоровье.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Воспитатель: Обследовали ли Вас когда-нибудь в рентгеновском кабинете? Там стоит рентгеновский аппарат, от которого при включении тоже исходят невидимые лучи. Их называют рентгеновскимилучами. Этими лучами просвечивают наше тело, что помогает врачам больше узнать о состоянии нашего организма. Поэтому иногда без них не обойтись. Если долго облучаться, то рентгеновскиелучи могут быть вредны для здоровья. Врачи хорошо знают об этом, и поэтому обследование в рентгеновском кабинете длится недолго. Назначают такие процедуры не часто — обычно один раз в год для профилактического осмотра.



! Ребята, Вы должны запомнить главное: *надо правильно использоватьсолнечныелучи (не перегреватьсяна солнце), умело пользоваться телевизором, телефоном, компьютером. Можно и загорать, и смотреть телевизор, и по телефону разговаривать, и на компьютере играть, только следует помнить, что злоупотреблять этим не стоит.*

А теперь скажите, как Вы думаете, для чего нужны атомные электростанции? На них вырабатывают необходимую для жизни людей электрическую энергию и тепло. Внутри реактора, который находится на атомной станции, много веществ, которые испускают опасные для людей излучения. Они безопасны, пока находятся внутри реактора. Но если на станции произойдет авария, радиация может вырваться на волю и принести вред всему живому: людям, животным, растениям.

Именно такое событие произошло много лет назад на Чернобыльской атомной электростанции. Вас тогда еще не было, а Ваши родители были совсем маленькими, такими, как Вы сейчас. Много невидимых глазом мельчайших частичек — радионуклидов разлетелось по всему свету. Они попали в леса, реки, озера, на огороды, поля и луга. Эти частички обладают особыми свойствами: они источники радиации, т. е. испускают невидимые лучи. Если радионуклидовмного, радиация может плохо влиять на здоровье людей.

Со временем люди научились обнаруживать места, где скапливаются радионуклиды, узнали, как можно защититься от их вредного излучения. Сначала с помощью специальныхприборов — дозиметровлюди определили места, куда больше всего попало радионуклидов, и поставили там специальный знак «Осторожно, радиация!». В такие места лучше вообще не ходить.

Затем люди перекопали свои огороды, перепахали поля, посыпали все обработанные земли удобрениями. Радионуклиды попали в плен, и выбираться из земли им стало очень трудно. Однако в глухих лесах они до сих пор прячутся в грибах и ягодах, которые там растут.

Зная, где притаилась радиация, люди работают в этих местах в

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

защитной одежде и обуви. Постепенно люди научились делать радионуклиды менее опасными. Они не боятся радиации, потому что знают, что нужно делать, чтобы обезопасить себя. Да и Вам, ребята, не следует бояться радиации. Ведь и Вы можете себя от нее защитить.



Для закрепления материала по теме «Что такое радиация» можно предложить детям следующий вариант ***игрового упражнения***: нарисовать добрый мир, где излучения являются помощниками, а не врагами человека (улыбающееся солнышко, травку, цветущие деревья, светлое голубое небо и себя среди этой чарующей красоты).

11.2. ***Экологическая сказка «О Королеве Радиации и атомной печи»***

В некотором царстве в огромном замке жила-была Королева Радиация. В замке том была большая печь, но не простая, а атомная. В этой печи жили слуги Королевы Радиации — радионуклиды. Были они маленькие, с пружинками-невидимками на голове, которые делали радионуклиды совсем незаметными. И у каждого радионуклида были мечи-лучи. Как взмахнут они своими мечами-лучами, так и загорится атомная печь и жарко-жарко во всем замке становится.

Жила себе Королева Радиация со своими слугами-радионуклидами, занимались они своими делами: разжигали печь да тепло и свет давали, и не только в замке, но и во всей округе. Так жили они, никому зла не делали, ни с кем не ссорились. Жили спокойно и люди вокруг того замка. Знали они про Королеву Радиацию и про ее слуг. Радовались люди теплу и свету, но старались обходить замок стороной. Побаивались люди мечей-лучей, которые были у радионуклидов.



Жили они, не тужили, но вот однажды авария в печи приключилась. В сильную грозу молния ударила в замок Королевы Радиации. Да так сильно, что сгорел ее замок. Стала она со своими слугами-радионуклидами по белому свету ходить да беды чинить. До озера дойдут — на дне поселятся, в лес заберутся — в грибы, в ягоды спрячутся, в поле забредут — в землю зароются. А уж если в огород слуги-радионуклиды с Королевой Радиацией попадут, так и в салат, фасоль, горох, капусту да морковку заберутся. И всех вокруг они своими мечами-лучами беспокоят.

Стали бояться люди Королеву Радиации с ее слугами. Уезжать из своих деревень да городов начали. Но нашлись и сильные люди, которые не смирились с постигшей их бедой и стали искать способы, как с ней бороться. Оказалось, что, если поля глубоко перепахать и удобрениями посыпать — утихомириваются радионуклиды, разбушевавшиеся на воле.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



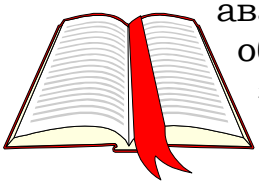
Трудно им выбраться из земли, боятся они удобрений, и сразу слабеют, а мечи их силу теряют. Меньше стало радионуклидов в овощах и фруктах, а тут еще люди перед едой стали их мыть тщательно, грибы в соленой воде с уксусом варить. При такой обработке убегали радионуклиды прочь из овощей, грибов да ягод.

Но даже и после этого не везде еще Королева Радиация свою злобную силу растеряла. Затаилась она со своими воинствующими слугами -радио-нуклидами в болотах и глухих местах, где влаги много — влага силу им дает. Однако и там не так уж весело живется Королеве Радиации со слугами ее радионуклидами. Все меньше и меньше их становится, слабеют они. Люди, вооруженные знаниями, сильнее оказались. И думается, что Вы, дети, когда вырастете и станете взрослыми, будете хорошо учиться, чтобы знать, как быть здоровыми и сильными и как с любой бедой справиться.

Контрольные вопросы

1. Какая печь была у Королевы Радиации?
2. Как звали слуг Королевы Радиации? Можно ли их увидеть, ощутить? Почему?
3. Где поселились радионуклиды и Королева Радиация после аварии атомной печи?
4. Могут ли радионуклиды приносить пользу? Какую?
5. Что делали люди, чтобы утихомирить радионуклиды и уменьшить вред, который они приносят?

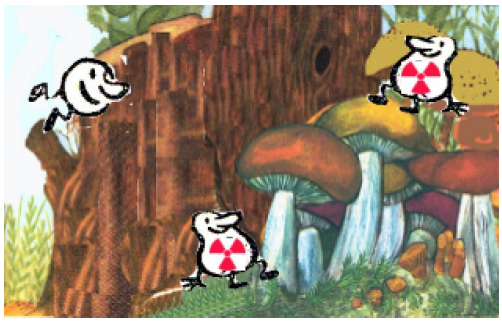
Для закрепления материала можно предложить детям в качестве ***игрового упражнения*** нарисовать Королеву Радиацию со слугами до аварии атомной печи и после нее. Затем предложить детям обсудить, что полезное для людей делали радионуклиды в замке до аварии. Можно провести классификацию картинок. Добрую и полезную людям Королеву Радиации поместить во Дворец Радости, опасную же и хитрую радиацию, которая может нанести вред людям при неумелом обращении с ней, — запереть в чулан.



11.3. ***Экологическая сказка*** **«О слугах Королевы Радиации — радионуклидах»**

Жили-были радионуклиды — слуги Королевы Радиации. Были они маленькие-маленькие, намного меньше комара. На головах у них были пружинки-невидимки, которые делали их невидимыми. И были у них невидимые мечи-лучи — как взмахнут ими, так сразу жарко в замке делается.

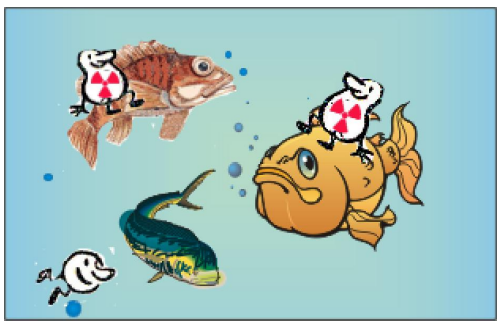
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



После аварии атомной печи в замке Королевы Радиации разнеслись радио-нуклиды по белу свету. Куда упали, там и спрятались. И беспокоят невидимые радио-нуклиды всех своими мечами -лучами , коварство свое проявляют. Если в лес попали, в грибах и яго-дах стали соби-раться. Если в воде оказались, то в рыбу или раков запрятались , но больше всего их скопилось на дне водоема. А те, что в огород попали, в салат, фасоль, горох, капусту, да морковь закопались. Съешь такой овощ — они к тебе в организм проберутся. Со временем можешь даже заболеть, а отчего — и не догадаешься.

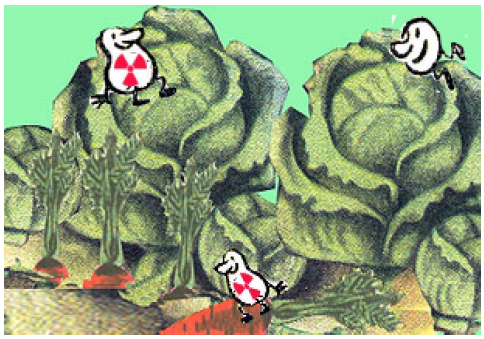


Ни по запаху не обнаружить радионуклиды, ни глазами увидеть. Пускают радионуклиды своими мечами невидимые лучи, которые могут быть опасны для человека, а как бороться с ними — никто не знает.



Жили так радионуклиды в своих новых домах, да беды кругом чинили. Но скоро приехали умные и смелые люди и стали воевать с непрошеными гостями и других учить , как утихомирить воинствующих радионуклидов и вред , приносимый ими , уменьшить . Привезли смельчаки с собой специальные приборы — дозиметры , определили с их помощью, где поселились и живут радио-нуклиды, и установили в этих местах знаки «Осторожно , радиация !». Такие знаки предупреждают всех, что здесь ходить-бродить нельзя.





Потом умные люди поля и огороды перекопали да удобрениями посыпали, и те радионуклиды, которые в земле лежали, силы свои терять стали . В овощи и фрукты , растущие на огороде и в саду, их меньше из земли проникать стало. А тут овощи и фрукты мыть хорошенько стали, а грибы, собранные в лесу, проверять стали в специальных местах. Те грибы, которые немного радионуклидов содержали, начали варить в соленой воде с уксусом. Еще меньше радионуклидов оставалось в них, из грибов убегали они в соленую воду.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

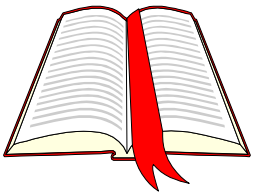
Но отдельные радионуклиды были хитрые-прехитрые и спрятались туда, куда человеку тяжело добраться — в болота да в сырые места в лесу. Там, где сухо, радионуклидам труднее пробираться из земли в грибы и ягоды, в сырых же местах им приволье. Во влажных местах они и живут, и не только в грибы и ягоды пробираются, в сучьях, ветках, валежнике их тоже полно. Холодно да мокро, неприятно людям в сыром лесу — хочется погреться. Но, если костер разжечь, то все слуги Королевы Радиации из веток начнут выползать и вместе с дымом и пеплом в воздухе летать. А если ветерок их подхватит, так они опять в огород или речку понесутся и там поселятся.

И все же, помните, ребята, что следует умело вести себя там, где встречаются радионуклиды. Нужно знать, что они могут быть и друзьями человека, а если разойдутся-разыграются, то их можно утихомирить. Потеряют они тогда свои силы и перестанут причинять вред человеку.

Контрольные вопросы

1. Откуда появились разбушевавшиеся радионуклиды?
2. В каких местах чаще всего их можно встретить?
3. Почему нельзя разжигать костры в лесах, где много радионуклидов?
4. Какой вред могут приносить радионуклиды людям?
5. Как люди могут защититься от слуг Королевы Радиации?
6. Каким знаком отмечены места, где поселилось много радионуклидов? Что следует делать, когда увидишь этот знак?

Для закрепления материала сказки в качестве вариантов ***игровых упражнений*** можно:



- предложить детям изобразить на листе бумаги радионуклиды;
- попросить детей объяснить, почему они рисовали именно так;
- предложить дорисовать радионуклиды на серии картинок (с изображением леса, луга, озера и т.д.) и объяснить свой рисунок.

11.4. ***Экологическая сказка «О том, как найти, где прячется Королева Радиация со своими слугами»***

Приехали как-то летом Коля и Петя погостить в деревню к бабушке. И первым же делом на рыбалку отправились. С самого вечера готовились: удочки собрали, ведра нашли, червяков накопали. Спозаранку дети проснулись и пошли к озеру. Стояло солнечное утро, прозрачная вода в озере искрилась, а рыба так и плескалась в ней.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Недолго думая, стали мальчики рыбу удить. Много рыбы поймали: и окуня, и плотвичку, и карасика. Довольны мальчишки, от счастья светятся, на лицах улыбки.



Вдруг видят, идет вдоль берега озера какой-то человек с прибором.

«Вы что, ребята, не знаете?— говорит он —здесь на берегу озера проживает Королева Радиация, и рыбу в этом водоеме ловить нельзя. Вы разве не видели, что на берегу знак «Осторожно, радиация!» стоит? Сразу видно, что Вы из города приехали».

«Это почему же нельзя?» — удивились ребята.

Ничего не ответил человек, а лишь поставил свою коробочку-прибор на берегу —такой треск раздался, что у ребят уши заложило.

«Ой-ой-ой!— закричалидети. —Что же это так трещит?»



“Это дозиметр —специальныйприбор, который показывает , в каком месте проживает и властвует Королева Радиация. После аварии в атомной печи Королева Радиация прячется вместе со своими слугами в разных местах: то в лесу , то на лугу , то возле речки . И что интересно , заметить их никто не может : невидимы они, нет у них ни цвета, ни запаха, ни вкуса.

И только специальный прибор — дозиметр может обнаружить Королеву Радиацию со слугами . Прибор очень прост и похож на небольшую коробочку. Если он обнаружил, что где-то притаились Королева Радиация вместе с верными слугами радионуклидами, то начинает издавать звуки. При этом на экране цифры появляются, а в темноте на дозиметре красная лампочка зажигается. Вот и сейчас вы слышите, как сильно затрещал мой прибор на берегу озера . Здесь много ила — значит тут много радионуклидов, которые ил любят, да и Королева Радиация здесь где-то рядом расположилась . Вот почему на берегу знак стоит « Осторожно , радиация!». Когда люди видят такой знак, они знают, что в озере лучше рыбу не ловить».

Ребята смотрели на человека, открыв рты. Человек этот, который был дозиметристом , продолжал показывать фокусы со своей волшебной коробочкой : поднял дозиметр высоко вверх , и он замолчал , только несколько раз тихо пропищал: пи-пи-пи.

«Вот видите,— продолжалразговорчеловек, —в воздухе слуг Королевы Радиации меньше, чем в озерном иле, поэтому дозиметр и замолчал, когда я его вверх поднял».

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

«Так что же получается, пойманную рыбу есть нельзя?» — спросили мальчики.

«Эту нельзя. А вообще, конечно, можно, и лучше, если ловить ее будете в реке, в проточной воде, такую воду радионуклиды не любят. После того, как поймаешь рыбку , надо проверить ее в ближайшем центре радиационного контроля. Если проверка покажет, что радионуклидов в ней не больше нормы (а об этом скажут люди, которые там работают), смело ешь рыбку — ничего не случится. А если радионуклидов в рыбе слишком много, — не стоит есть ее, да и ловить ее в таких местах совсем не следует».

«Все понятно! — сказали ребята. — Раз нельзя, значит нельзя. Пойдем гороха с бабушкиной грядки поедим, раз уж эту рыбу есть нельзя».

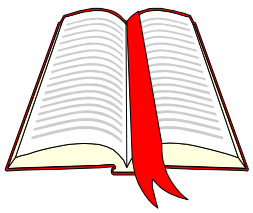
«А про дозиметр забыли? — спросил человек. — Слуги Королевы Радиации не только в озере, но и на бабушкиных грядках могут поселиться. Их после аварии ветром разнесло по всему белому свету. В садах и огородах, в овощах и фруктах они прячутся, и в дровах, которые из леса привезли, чтобы печь топить, да и на дороге в пыли их можно встретить. Поэтому прежде, чем собирать овощи или ловить рыбу где-то, надо места эти проверить . И в этом Вам поможет волшебная коробочка , которая называется «дозиметр».

С этими словами пошел дозиметрист дальше вдоль берега со своей волшебной коробочкой искать, где еще спрятались радионуклиды, а ребята долго еще обсуждали, что за человек поведал им эту дивную историю. А Вы догадались?

Контрольные вопросы

1. Что за человек поведал детям историю о волшебной коробочке?
2. Как называется волшебная коробочка? Для чего она нужна?
3. Как можно определить, где спрятались Королева Радиация со своими слугами радионуклидами?
4. В каких местах чаще прячется Королева Радиация со своими слугами?

Для закрепления материала сказки в качестве вариантов ***игровых упражнений*** можно:



- предложить детям объяснить, для чего нужны людям уши, глаза, рот, нос, кожа и подумать, могут ли они помочь ощутить радиацию;
- предложить изобразить на рисунке дозиметр и обсудить нарисованное;
- придумать свою сказку, как усмирить опасную радиацию, поселившуюся, например, в грибах.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

11.5. *Игровое обучающее занятие «Что значит быть здоровым»*

Цель занятия: ознакомить детей с понятиями «здоровье» и «здоровый человек», показать влияние различных факторов на здоровье человека, сформировать у детей положительное отношение к здоровому образу жизни, научить его соблюдать, что особенно важно в условиях повышенного радиационного риска.

Ход занятия

Воспитатель: Ребята, сегодня мы поговорим с Вами на очень важную тему. Речь пойдет о Вашем здоровье. Как Вы думаете, Вы здоровы? Почему Вы так думаете? Можете ли Вы объяснить, что такое «здоровье», «здоровый человек»? А связано ли Ваше здоровье с Вашим внешним видом? Вот Вы, ребята, все такие красивые, аккуратные, чистые. С Вами рядом приятно находиться. Сегодня по дороге в детский сад я встретила Незнайку — лохматого и неряшливого. Он, кстати, спешит к Вам в гости, но что-то задерживается. Ребята, я хочу Вас предупредить — не нужно смеяться над Незнайкой из-за его внешнего вида. Наоборот, лучше будет, если мы научим его следить за собой, дадим ему несколько полезных советов о здоровье и здоровом образе жизни. Согласны?



Открывается дверь, и в групповую комнату вбегает Незнайка.

Незнайка: Всем привет!

Дети: Здравствуй, Незнайка.

Незнайка: Ой, куда это я попал? Вы здесь все такие чистые, аккуратные, нарядные. Что у Вас сегодня за праздник?



Воспитатель: Незнайка, ты попал в детский сад, и у нас сегодня нет никакого праздника. Присаживайся на стульчик возле ребят и внимательно послушай, что они тебе расскажут. Они каждый день приходят в детский сад такие аккуратные и опрятные (*Незнайка удивляется*). Ребята, расскажите Незнайке, что Вы делаете каждое утро после того, как проснетесь.

Дети: Умываемся, чистим зубы, причесываем волосы.

Воспитатель: Молодцы! Каждый человек, который хочет быть здоровым и красивым, должен следить за собой и своим телом. Ведь даже животные за собой ухаживают: кошка умывается языком, воробьи

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

купаются в луже, лошади купаются в реке, слоны поливают себя водой из хобота. Грязным быть некрасиво и вредно. Здоровье — это правильная, нормальная работа всего организма, хорошее самочувствие и настроение. У здорового человека и настроение хорошее, он бодр и весел, а больной человек — вялый, быстро устает, его ничего не интересует.

***Незнайка**: Ха-ха-ха! Я никогда не чищу зубы, не умываюсь, не причесываюсь и уж подавно не делаю зарядку. Несмотря на это, я красив и здоров!

***Воспитатель**: Дорогой Незнайка! То, что ты говоришь, неверно. Ведь, если ты не будешь ухаживать за собой, то можешь заболеть. (*Незнайка явно загрустил*). Ребята, как вы думаете, сможем ли мы научить Незнайку следить за собой и быть аккуратным?

***Дети**: Да, обязательно научим!

***Воспитатель**: Тогда вначале поговорим о коже. За ней нужен особый уход, ведь кожа — наш защитник, ее нужно беречь от микробов, ссадин, ушибов и порезов. Нужно стараться сохранять свою кожу невредимой и содержать ее в чистоте. Вы со мной согласны? Тогда расскажите, как Вы ухаживаете за своей кожей.

***Дети**: Умываемся с мылом, принимаем душ, ванну, ходим в баню.

***Воспитатель**: Наряду с кожей надо следить за своими зубами, волосами, одеждой. В чистоте следует содержать не только себя, но и свое жилище: проветривать комнату, делать влажную уборку, вытирать пыль. Ведь именно среди пыли и грязи могут жить вредные для здоровья невидимые глазом микробы, там же любят находиться и мельчайшие частички — невидимые радионуклиды. Ребята, а вы помогаете своим родителям убирать в квартире?

***Дети**: Да, мы подметаем пол, вытираем пыль, поливаем цветы.

***Воспитатель**: Какие же Вы молодцы! Однако, ребята, и на улицах нашего города тоже нужно поддерживать чистоту: не разбрасывать мусор, не ломать деревья. Есть такая профессия — дворник. Это человек, который поддерживает наши улицы, дороги и тротуары в чистоте. Он подметает, собирает мусор, опавшие листья, зимой очищает дорожки от снега. И мы ему за это должны быть благодарны, потому что мусор и пыль приносят вред нашему организму. Чистота поможет нам сохранить здоровье. К тому же грязь и мусор — это так некрасиво.

***Незнайка**: Я все понял: чтобы быть здоровым и чтобы все болезни обходили меня стороной, нужно следить за чистотой своего тела и одежды и быть таким же аккуратным и чистым, как все ребята. А еще не следует сорить на улице и надо поддерживать чистоту в своем доме.

***Воспитатель**: Мы с ребятами очень рады, что ты все запомнил. Надеемся, что теперь ты будешь следовать нашим советам. И еще нужно знать: чтобы быть здоровым, следует закаляться, заниматься спортом, соблюдать режим дня, чаще гулять на свежем воздухе и есть те продукты,

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

которые содержат много витаминов. Вспомните, ребята, какие это продукты и чем они полезны?

Дети: Овощи, фрукты, молоко, мясо, яйца, рыба. Они дают нам силы и здоровье.

Воспитатель: Ребята, а какие Вы знаете пословицы про здоровье?

Дети: Чистота — залог здоровья.
Чисто жить — здоровым быть.
Здоровье — самое большое богатство.

Воспитатель: Молодцы! Вы хорошо все усвоили. (*В конце занятия*). Предлагаю Вам послушать одно стихотворение:

Ах, как весело струится,
Льется, булькает водица.
Взяли щетки — зубы трем
Белоснежным порошком.
С мылом мы под краном моем
Руки, уши и лицо.
Чисто мыться — наш закон!
Тот, кто чистый — тот здоров!

Воспитатель: Вы согласны с этими словами? О чем здесь говорится?

Дети высказывают свои мысли.

Незнайка: Ребята, мне уже пора, но я хочу сказать вам всем огромное спасибо за то, что узнал от вас много нового и полезного. Я очень рад, что попал именно в Ваш детский сад. Вы мне очень помогли своими добрыми советами. Я ухожу и обещаю, что обязательно вернусь к Вам, и Вы увидите меня совсем не таким, как сейчас, а другим — чистым и опрятным. До свидания.

Воспитатель и дети: До новых встреч, Незнайка!

Воспитатель: Ребята, Вы довольны, что убедили своего нового друга в необходимости следить за собой?

Дети: Да!

Воспитатель: Я вижу, что Вы веселы и жизнерадостны, а это значит, что Вы здоровы. Если и дальше будете также заботиться о своем здоровье, то болеть будете реже, а уж если заболеете, то будете легче переносить болезнь.

Очень прошу Вас рассказать о сегодняшнем разговоре своим родителям и друзьям. Обещаете? Ведь очень важно не только самому быть здоровым, но и убедить заботиться о здоровье своих друзей и близких. В следующий раз я подробно расскажу Вам, как справиться с Королевой Радиацией и ее слугами и сохранить здоровье, несмотря на ее козни и хитрости.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

11.6. *Экологическая сказка «О том, чего слуги Королевы Радиации испугались»*

Вскоре после того, как случилась авария в замке Королевы Радиации, стала она со своими слугами радионуклидами ходить по белому свету и искать себе новое пристанище. Встретится у них на пути лес — они в мох спрячутся, в грибы да ягоды заберутся, в сырых оврагах притаятся. Если к лугу подойдут, среди благоухающих цветов и трав устроятся. Возле озера окажутся — так в воде, как рыбы, плавать начинают, в ил зарываются. А если до сельских подворий доберутся, в землю зароются, на грядках, кустах, деревьях поселятся, в овощи, ягоды да фрукты пролезут, в дрова спрячутся и вдоль дороги в пыли залягут.

Поначалу не догадывались люди, какой вред Королева Радиация со своими слугами радионуклидами может причинить. Не знали, как с ними бороться и как избавиться от такой нечисти.

А тем временем радионуклиды расселились по земле. Стали люди болеть, опасались в лес ходить по грибы и ягоды, рыбу да раков в водоемах ловить, перестали овощи и фрукты со своих огородов и садов на стол ставить, внучат угощать. Уезжать стали из деревень и городов туда, где меньше зла от радионуклидов, куда Королева Радиация не добралась. Опустели дома и поселки. Заросли бурьяном сады и огороды. Тихо стало вокруг и безжизненно.

Вскоре узнала об этой беде одна добрая и умная Волшебница. Решила она помочь людям избавиться от злой нечисти. Собрала Волшебница всех ученых на большой Совет, и стали они думать, как победить Королеву Радиацию с ее слугами. Думали-думали и придумали. Сначала ученые решили разведать, где же поселились радионуклиды со своей королевой. Приехали они в деревни и города, привезли с собой дозиметры. Походили ученые по деревням и вокруг них, по лесам и берегам озер да речек, определили, где спрятались радионуклиды. Там, где больше всего их оказалось, знак «Осторожно, радиация!» поставили, чтобы не ходили туда люди грибы да ягоды собирать и рыбку ловить.

Объяснили ученые людям, что поля да огороды вспахать нужно, а землю удобрениями посыпать, чтобы не могли радионуклиды в овощи, ягоды да фрукты из земли забираться. Напомнили про волшебный прибор — дозиметр. Если поднести его к тому месту, где растут овощи, ягоды да фрукты, и дозиметр молчит или слабо пропищит «пи-пи-пи», а затем быстро замолкнет, значит, нет больше слуг Королевы Радиации в этих местах, растеряли они свою былую силу и не могут пробраться в овощи, ягоды и фрукты.

Строго-настрого людям ученые наказали: грибы, и ягоды в лесу соберете — обязательно проверьте их с помощью специального прибора — радиометра. Этот волшебный прибор покажет, сколько радионуклидов скопилось в грибах да ягодах и можно ли эти лесные дары есть. Овощи с

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

огорода в дом принесете — обязательно вымыть их надо. А если сварить их в подсоленной воде, то никакие радионуклиды не смогут сохраниться ни в картошке, ни в фасоли, ни в моркови. Боятся радионуклиды кипятка да соли, сразу силы теряют.

Сок из овощей и фруктов и вовсе спокойно пить можно, потому что все радионуклиды в жмыхе остаются и выбраться из него никак не могут.

Люди печи топят, а в том небольшом количестве золы, что образуется при сжигании большого количества дров, радионуклиды скапливаются. Вот и стали люди эту золу собирать да поглубже в землю в сухом месте закапывать, чтобы не пробрались радионуклиды в растения да в воду для питья. Лежат слуги королевы Радиации глубоко в сухой земле и слабеют там. Вреда большого уже не могут они причинить.

Однако слуги Королевы Радиации коварны и злы, не хотят сразу уступать и пытаются новые беды чинить. Вместе с пылью и грязью они на руки, на лицо, на одежду и обувь к людям забираются. Поэтому получили люди строгий наказ от ученых мужей и врачей: обязательно после любой грязной и пыльной работы обувь вычистить, одежду выстирать, а руки, лицо и все открытые части тела водой с мылом хорошенько вымыть. Не любят радионуклиды чистоты и порядка, боятся они воды и мыла и сразу убегают подальше.

Прошло время, проверили как-то люди чудо-дозиметром свои дома — а слуг Королевы Радиации в них почти не осталось. Проверили радиометром овощи и ягоды, собранные с грядки, фрукты, снятые с дерева — нет там радионуклидов, и их спокойно можно есть. Главное, знать, как справиться с коварством слуг Королевы Радиации, тогда и бояться их не придется.

Контрольные вопросы

1. Где расселились после аварии слуги Королевы Радиации радионуклиды?
2. Кто помог людям бороться с радионуклидами?
3. Что сделали ученые?
4. Какие важные для здоровья правила Вы запомнили? Расскажите о них.

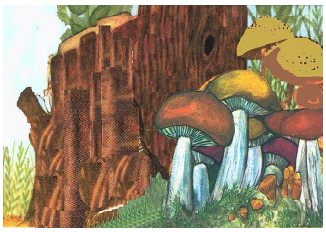


Для лучшего усвоения материала сказки в качестве ***игрового упражнения*** можно попросить ребят разделить предложенный набор картинок на две группы. В одну группу включить те картинки, где радионуклидов в продуктах нет или их мало, а во вторую — картинки с сильно загрязненными радионуклидами продуктами, а потом объяснить свой выбор.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Подумайте, где радионуклидов больше?


Овощи на грядке

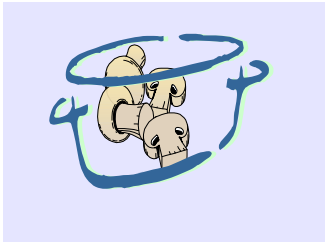

Грибы в лесу

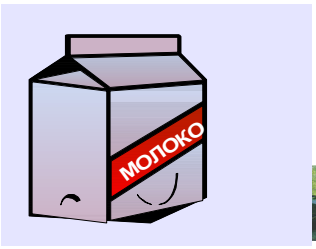


Варенье


Вымытые фрукты


Ягоды в лесу


Приготовленные грибы



Молоко


Фрукты на деревьях

11.7. *Экологическая сказка «О том, как мальчик Никита изгонял из своего дома Королеву Радиацию со слугами»*

Приехал как-то в деревню к бабушке на каникулы мальчик Никита. Грязнулей был — вообразить трудно! Гулял, где хотел, на знаки «Осторожно, радиация!» внимания не обращал. Прибежит, бывало, с улицы домой: ботинки снимет, да так грязные и оставит стоять у порога. Руки не вымоет, сразу за стол садится пирожки кушать. А на том столе — чего только нет! Тут и грязные тарелки, и книжки с картинками, и крошки, и кожура от яблок и апельсинов, и чашки невымытые. На полу мусор, постель не прибрана, одежда повсюду разбросана. В печи золы полно от сгоревших дров — даже на пол высыпается. Бабушка старенькая, и рада бы убрать, да сил не хватает, руки-ноги болят, глаза плохо видят.

Так и жил Никитка. Сколько бабушка ни просила, убирать он в доме не хотел. Говорил: «А мне и так хорошо!»

Как-то прослышала об этом мальчике Королева Радиация и послала своих верных слуг-радионуклидов проверить, можно ли у Никитки в доме убежище найти. Вернулись слуги к своей Королеве и говорят: «Нам можно смело туда отправляться. Никита уборку не делает, пыль не вытирает, воздух свежий в дом не пускает! А в печи самое хорошее место: столько золы — нам всем места хватит!» Обрадовалась Королева Радиация и полетела с радионуклидами в дом к Никитке.

Новых соседей мальчик и не заметил. Жил, как и прежде, ничего по дому не делал.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Много ли, мало ли времени прошло, да только заболел наш Никитка, а бабушка и вовсе ослабела. Кушать ничего не хотят — животы у них болят, дышится тяжело — воздуха не хватает. Узнали про это соседи, пришли проведать мальчика и его бабушку. Никто не может понять, отчего болезнь с ними приключилась. А сосед Никитки дядя Толя только из города приехал, где про радиацию слышал, да про то, какой вред она здоровью приносит, и дозиметр оттуда привез.

Только внес он чудо-дозиметр в Никиткин дом, тот как затрещит-запищит. Никитка испугался: «Что это такое?» — спрашивает он. «Это чудо-дозиметр — прибор, который показывает, есть ли здесь радиация или нет. Слышишь, как он громко трещит? Это значит, что в доме у вас Королева Радиация со своими верными слугами-радионуклидами поселились. Вот ты и заболел» — объяснил ему сосед. «Не нужна мне здесь никакая Королева со слугами. Я их не приглашал!» — закричал Никитка.

«Как же не звал — не согласился дядя Толя. — У тебя дома слишком хорошо Королеве Радиации и слугам ее. Уборку ты никогда не делаешь, комнату не проветриваешь, пыль не вытираешь, золу из печи не выносишь. Вот нечисть и поселилась».

«Что же мне делать? — взмолился Никитка. — Я и сам болеть не хочу, да и бабушку очень жалко, не хочу, чтобы жили у нас радионуклиды со своей королевой».

«Так и быть,— решили соседи. — Поможем тебе! Но только смотри, больше не запускай так свой дом!»

И показали соседи Никитке, как создать невыносимые условия для Королевы Радиации и слуг ее радионуклидов, чтобы избавиться от них. Для начала открыли они все окна, и в доме поселился свежий воздух. Занавески с окон сняли, постирали, погладили и снова на окна повесили.

Постель свою Никитка аккуратно застелил, одежду в шкаф убрал, книжки на полки поставил, тарелки и чашки вымыл и в кухонный шкаф поместил — каждая вещь на свое место стала. Крошки и мусор разный собрал, полы подмел. Сделал все это Никитка, сел на стул посреди комнаты и говорит: «Фу! Устал! Больше ничего не хочу делать. И так все чисто!»

«Да, не привык ты к чистоте, — сказали соседи. А ведь без нее никак нельзя. Вот если бы было чисто у тебя в доме, не поселилась бы здесь Королева Радиация, да и радионуклиды подальше держались, и вы бы с бабушкой не заболели! Но и сейчас не все еще у тебя здесь в порядке. Слышишь, как дозиметр трещит? Он показывает, что далеко не всех слуг Королевы Радиации ты отыскал. Запрятались они по укромным углам и продолжают свое черное дело»

«Так что же мне делать»? — спросил Никитка.

«Влажная уборка нужна. В тазик воды набери да немного стирального порошка добавь, и пол хорошенько во всем доме вымой. А еще пыль везде протри влажной тряпочкой» — подсказал дядя Толя.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Смочил Никитка один раз тряпку в мыльной воде и по всему полу в доме ею прошелся.

«Нет-нет, так дело не пойдет! — строго сказал дядя Толя. — У тебя тряпка грязная, ты ею только грязь развозишь, да слуг Королевы Радиации радионуклидов по всему дому гоняешь. Тряпку ополаскивать нужно да воду в тазике менять несколько раз».

Только к вечеру справился Никитка с уборкой в доме. Устал, присел на стульчик.

«Ну что, молодец! Осталось только из печи золу выгрести да подальше от огорода, у забора в сухом месте поглубже в землю закопать. Ведь радионуклиды в золе собираются да в грязные игры играют, потешаются», — сказал дядя Толя.

Так и сделал Никитка: собрал всю золу в пакет, отнес подальше от дома и огорода, выкопал ямку у забора да закопал золу поглубже в землю. Пришел домой с улицы, обувь почистил и оставил в сенях, переоделся, руки и лицо вымыл, сел и удивился. Чисто вокруг, все сияет, нигде ничего не разбросано, все на своих местах лежит.

«Видишь, — сказал дядя Толя, — сейчас и чудо-дозиметр молчит. Совсем перестал трещать: испугались Королева Радиация и слуги ее радионуклиды чистоты такой, силы свои растеряли, прочь убежали».

«Спасибо Вам, дядя Толя и добрые соседи, что научили меня уму-разуму, подсказали, как непрошеных гостей из дома прогнать. Не хочу, чтобы они возвращались» — сказал Никитка.

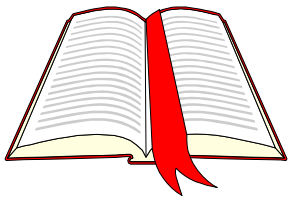
«И не вернутся, если не будешь гулять там, где их много. Знак радиационной опасности поможет тебе узнать эти места. А еще ты должен содержать свой дом в чистоте, каждый день в нем уборку делать, да и за собой следить, — потрепал, улыбаясь, дядя Толя Никитку по голове. — А маме, папе да друзьям своим тоже расскажи эту историю и посоветуй, как вести себя, чтобы Королева Радиация со своими слугами - радионуклидами подальше держались и в дом не пробрались».

Контрольные вопросы

1. Что приключилось с мальчиком Никиткой в его доме? Почему это произошло?
2. Кто помог мальчику избавиться от Королевы Радиации и слуг ее радионуклидов?
3. Что предложили сделать дядя Толя и соседи?
4. Какие советы Вы можете дать друзьям, чтобы и в их доме не поселилась Королева Радиация со своими слугами -радио - нуклидами?

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Для закрепления и лучшего усвоения материала можно предложить следующие варианты ***игровых упражнений***:



- показать серию картинок с предметами и попросить детей рассказать
  - Ø какие из них понадобятся для уборки квартиры,
  - Ø для чего предназначен каждый названный ими предмет;
- раздать детям картинки с изображением Никиткиного дома и попросить дорисовать радионуклиды в тех местах, где они могут поселиться.



11.8. ***Экологическая сказка «О двух братьях Пете и Коле и основных правилах чистоты»***

По соседству с уже знакомым нам Никиткой жили два брата Петя и Коля. Они были так похожи друг на друга, что даже родная бабушка, к которой они приехали погостить на летних каникулах, иногда их путала. Однако по характеру и поведению мальчики были совсем разные.

Колю все знали как очень доброго, отзывчивого мальчика, вежливого с людьми, помощника бабушки во всех делах. Он никогда не сидел без дела, всегда был чем-то занят. А вот Петя был совсем не такой. Шутник, балагур и лентяй — таким его видели соседи и родственники.

Как пойдут мальчишки в поле работать, Коля наравне с бабушкой грядки пропалывает, сено в копны собирает. А в это время Петя то затылок чешет, то бабочек ловит, то в ближайший лес сбегает ягод поесть, то в

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

тени под кустом в жаркий день нежится. К вечеру измажется — весь в пыли, а работу так и не выполнит.

Придут дети вечером домой, Коля, прежде чем в дом войти, обувь снимет да водой вымоет. Одежду, в которой он работал, хорошенько на улице от пыли вытряхнет и в сенях оставит. Руки, лицо и шею Коля с мылом вымоет, в чистое переоденется и только потом ужинать садится. А Петя, не успел прибежать, — сразу за стол и подшучивает над братом: «А я раньше тебя сел ужинать и больше тебя шоколадных конфет съел. Копуша ты — ничего тебе не достанется!»

«Зато я всю грязь с себя смыл, одежду и обувь в порядок привел, а ты, как на улице бегал, так и за столом сидишь: грязный, неумытый, неопрятный. Заболееешь, — рассуждал Коля.

«Подумаешь! Ничего я не боюсь!» — отвечал Петя.

Никакой управы не найти на Петю, не слушал он ни брата, ни бабушку, ни соседей. Как-то соседские мальчишки рассказали ему историю о Королеве Радиации и ее слугах-радионуклидах, так он только рассмеялся им в лицо.

Прошло какое-то время, и вдруг заболел Петя. Все из рук валится, голова болит, аппетит пропал, даже конфет не хочется. Так плохо ему, что и словами не передать.

«Ну, что я тебе говорил? — напомнил Коля, — Следил бы, чтобы тело и одежда были чистыми, не заболел бы тогда. А так вместе со своими грязными сапогами и одеждой ты в дом болезнь принес и Королеву Радиацию пригласил в гости, да и про слуг ее не забыл».

«Но я не хочу болеть! Да и гостей никаких я не приглашал, — прошептал Петя. — Что же мне делать теперь, как прогнать из дома Королеву Радиацию и ее слуг-радионуклидов?»

Жалко стало Коле брата, и решили они вместе с бабушкой помочь Пете как можно быстрее выздороветь.

И поведал Коля брату про те места, где чаще всего бывает Королева Радиация и где больше всего любят селиться ее слуги-радионуклиды — это там, где установлены специальные знаки «Осторожно, радиация!». В таких местах лучше вообще не бывать.

И рассказал Коля брату, что грибы и ягоды из леса прежде, чем есть, надо проверить на специальном приборе, чтобы убедиться, что в них не поселились радионуклиды.

И подсказал Коля брату, что Королева Радиация и ее слуги очень любят грязь, вместе с ней оседают на одежду, обувь, на лицо и руки неряшливых и неопрятных детей.

Чтобы спастись от Королевы Радиации и ее слуг, каждому нужно знать:

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- пришел домой после долгой работы или игр, вытряхни куртку и штаны на улице, повесь их на веранде;
- обувь очисти от грязи и протри;
- руки тщательно, с мылом вымой, особенно перед едой, иначе вся нечисть, которая на руках была, в рот попадет вместе с конфетами и другими продуктами;
- еще лучше после работы вымыть не только руки, лицо и шею, но и все тело, так легче дышится, да и от слуг Королевы Радиации радионуклидов можно избавиться, и они уже никакого вреда причинить не смогут.

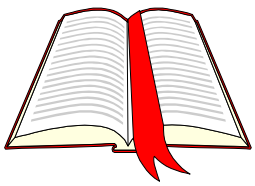
Понял Петя, что чистота, действительно, является залогом здоровья, что тело, одежду и обувь следует содержать в чистоте. И тогда никакая Королева Радиация и слуги ее не смогут в твой дом пробраться, а сам ты не заболеешь.

С тех пор стал Петя аккуратным и опрятным, бабушке, как и его брат, всегда и во всем помогает. Придет вечером домой —умывается тщательно, одежду рабочую вытряхивает и в сенях оставляет, за стол грязным не садится. И постепенно ушли от него болезни, а когда ушли, он и сам не заметил. То-то радовались родители, когда после каникул увидели, как изменился Петя.

Контрольные вопросы

1. Чем отличались между собой братья Коля и Петя?
2. Что произошло с Петей однажды?
3. Кто и каким образом ему помог?
4. Что должен запомнить Петя и мы вместе с ним?

Чтобы оценить степень усвоения материала всего раздела, можно предложить ребятам ***итоговое игровое упражнение***.



- Предложить детям набор картинок и попросить выбрать те из них, на которых изображены предметы, помогающие быть людям здоровыми:
  - Ø продукты питания,
  - Ø предметы личной гигиены,
  - Ø предметы ухода за обувью, одеждой, квартирой,
  - Ø дозиметр,
  - Ø знак радиационной опасности.

В комплект картинок можно включить картинки с предметами, наталкивающими на неправильные ответы.

- Попросите детей объяснить свой выбор.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

12.1. Первый класс

Занятие 1. Ты и твое здоровье (слагаемые здоровья)

Цели: помочь детям осознать важность бережного отношения к своему здоровью, познакомить с некоторыми секретами здорового образа жизни, сформировать потребность и умение быть здоровыми.

Оборудование: карточки зеленого и красного цвета по количеству учеников, воздушный шар с нарисованной улыбкой, лист ватмана, цветные карандаши.

Ход занятия

Вступительное слово учителя

Каждый человек при рождении получает замечательный подарок — здоровье. Оно, как волшебная палочка, помогает ему исполнять самые заветные желания. Вы, возможно, ещё не задумывались над тем, как важно человеку иметь хорошее здоровье. Но никто из вас не хочет быть больным. Все хотят быть здоровыми. Многие из вас мечтают о профессиях лётчика, военного, спасателя, моряка, артиста. А эти профессии, да и многие другие, требуют выносливости, силы, крепкого здоровья.

Хорошее здоровье нужно Вам не только в будущем, но и сегодня, чтобы успешно учиться в школе, меньше уставать на занятиях, успевать сделать все дела дома и в школе. Недаром в народе говорят: "Береги платье снову, а здоровье смолоду". На этом занятии мы узнаем о некоторых секретах здоровья.

Задание "Вопрос – ответ"

Ученики подходят к столу учителя и берут по одной карточке зеленого или красного цвета. Дети, которые взяли зеленые карточки, объединяются в одну группу и коллективно обсуждают вопрос: как выглядит здоровый человек? Дети с красными карточками объединяются в другую группу и обсуждают вопрос: как выглядит больной человек? По сигналу учителя обсуждение заканчивается, группы высказывают свое мнение.

Делается вывод: хорошо быть здоровым. Где здоровье — там и красота. Здоровому все здорово. Далее обсуждается вопрос: что надо делать, чтобы сохранить и укрепить свое здоровье?

Учитель говорит, что сделать это непросто. Для этого нужно многое знать о самом себе, о строении и работе своего тела. Внутри нашего тела трудится много органов: сердце, легкие, желудок, почки, печень, головной мозг. При помощи легких человек дышит. Благодаря сердцу кровь дви-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

жется по нашему телу. Желудок извлекает из нашей пищи всё вкусное и полезное, печень и почки очищают наш организм от вредных веществ. Руководит работой всех органов — головной мозг. У здоровых людей все органы тела трудятся слаженно, согласованно, помогая друг другу. Болезнь возникает из-за того, что какой-то орган перестает справляться со своей работой, и тогда мы начинаем плохо себя чувствовать.

Игра "Дружная семейка"

Учитель предлагает детям встать в круг и взяться за руки. По сигналу учителя дети начинают приседать и вставать в определенном ритме (его задает учитель), изображая работу организма. Через некоторое время учитель специально нарушает этот порядок движений. Он начинает приседать быстрее или медленнее остальных. При этом возникает сбой в цепочке участников игры. Учитель объясняет, что похожие сбои происходят в организме больного человека. Даже если только один из органов перестаёт справляться со своей работой, это сразу сказывается на работе всего организма.

В конце игры учитель спрашивает, когда детям было приседать легче: всем вместе или когда один участник приседал не так, как все? Ещё раз подчеркивается, что для хорошего самочувствия нужна слаженная работа всех органов тела. Делается вывод: в организме человека нет "важных" или "неважных" частей, все органы взаимосвязаны и нуждаются в заботе. Поэтому надо знать свое тело, помогать работе его органов, а не вредить им.

Обсуждаются вопросы: что нужно делать, чтобы тело было крепким, сильным, здоровым? Какие полезные привычки помогают детям сохранять и укреплять здоровье?

Игра "Паровозик здоровья"

Учитель исполняет роль "паровозика". Он подходит к кому-то из учащихся. Тот должен назвать любую полезную для здоровья привычку, например: делать каждое утро зарядку, гулять ежедневно на свежем воздухе, мыть руки перед едой, каждый день есть овощи и фрукты, чистить зубы 2 раза в день, носить чистую одежду и т.д. Если ответ верный, ребенок-"вагончик" прикрепляется к "паровозику". Так "паровозик" под веселую музыку объезжает всех участников игры, получается "поезд здоровья".

Задание "По кругу"

Дети снова становятся в круг. Но теперь они передают из рук в руки воздушный шар, с нарисованной улыбкой, говоря при этом свои варианты окончания предложений:

- Я хочу быть здоровым потому, что… .
- Я хочу быть здоровым и поэтому ….

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Задание "Здоровье"

Учитель предлагает ученикам найти слова на буквы, составляющие слово "ЗДОРОВЬЕ", которые бы имели отношение к здоровью, здоровому образу жизни. Например:

З — зарядка, закаливание, завтрак, зубная щетка …

Д — движение, диета …

О — отдых, обед, осанка …

Р — режим, расческа …

Задание "Мы рисуем страну Здоровья"

Учитель дает задание учащимся нарисовать общий рисунок. На большом листе ватмана изобразить страну Здоровья и её жителей. Перед началом работы учитель обсуждает с ребятами возможное содержание рисунка. Он предлагает детям представить, чем, по их мнению, могут заниматься жители страны Здоровья (делать зарядку, есть фрукты, умываться и т.д.).

В конце занятия делается вывод о важности здорового образа жизни: активного движения, правильного здорового питания, соблюдения правил гигиены, отказа от вредных привычек. Далее учитель подчеркивает, что для сохранения здоровья важно не только изучать свой организм и вести здоровый образ жизни, но важно и при первых признаках нездоровья, плохого самочувствия остановить болезнь, а для этого нужно усвоить четыре несложных правила:

1. Если Вы себя почувствовали плохо, сразу же сообщите об этом взрослым.
2. Прислушайтесь к себе внимательно, покажите взрослым то место, где возникают неприятные ощущения.
3. Расскажите взрослым, что Вы испытываете (тошнота, голово-кружение, боль в животе и т.д.)
4. Никогда не пытайтесь справиться с болезнью самостоятельно. Не используйте никаких лекарств без разрешения взрослых. Лекарство поможет только тому, кто знает когда, сколько и как его надо принимать.

Занятие 2. Солнце, воздух и вода – твои верные друзья

Цели: познакомить учащихся с влиянием солнечных лучей, воздуха и воды на здоровье человека, сформировать знания о вредных для здоровья человека факторах окружающей среды и умение заботиться о собственном здоровье.

Оборудование: карточки для деления на группы, проращенная на освещенном и в затемненном месте фасоль, куклы, кукольное полотенце, кружочки-улыбки, вода в сосудах.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Ход занятия

Вступительное слово учителя

Сегодня на занятии мы откроем для себя новые тайны здоровья. Знаете ли Вы, что у каждого человека есть три верных друга, которые дарят нам здоровье и красоту, помогают стать сильными: солнце, воздух и вода.

Задание "А почему?"

Организуется групповая работа. Ученики подходят к столу учителя и берут по одному кружку (желтого, голубого цвета или сделанного из полиэтиленовой пленки). Учащиеся с желтыми кружками в руках объединяются в группу "солнышко", с голубыми кружками — в группу "вода", с бесцветными — в группу "воздух".

Первая группа обсуждает ответ на вопрос "Почему солнце называют другом здоровья?", вторая — "Почему воду называют другом здоровья?", третья — "Почему воздух называют другом здоровья?"

По сигналу учителя обсуждение заканчивается. Дети высказывают свои предположения. В ходе обсуждения первого вопроса дети приходят к выводу, что *солнечный свет необходим всему живому*. Он дарит здоровье, красоту, делает кожу более чистой и гладкой. Солнечный свет полезен для глаз, помогает сохранить зрение. Солнечные ванны полезны для закаливания организма.

Учитель демонстрирует результаты опытов с фасолью, чтобы подтвердить вывод о необходимости солнечного света для живых организмов.

Примечание. Для проведения опыта в два неглубоких горшка высаживают проросшие семена фасоли. Один горшок помещают в хорошо освещенное место, другой — в темное место. В течение недели надо регулярно поливать семена.

На занятии учащимся предлагается объяснить наблюдаемые различия у проростков: почему росток, находившийся в темноте, оказался бледнее, слабее, чем тот, который выращивался на освещенном месте. Делается вывод о пользе солнечного света для роста и развития организма.

Далее проводится динамическая минутка под строки стихотворения "Будьте здоровы!":

Здравствуй, солнышко родное!
Яркое и золотое.
Прилетела стая туч,
Мыла солнышко чуть-чуть.
— Будь здорово, солнце,
краше, —

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Говорит природа наша.
Закаляться и купаться надо
Людям всем, всем, всем.
Для того чтобы болезни,
Никого не взяли в плен.

После того, как дети сядут за свои рабочие места, слово предоставляется *второй группе*. Учащиеся рассказывают о пользе воды для здоровья. В процессе беседы отмечается, что люди, которые дружат с водой, реже болеют. Они почти всегда в хорошем настроении, у них красивая и молодая кожа. Учитель сообщает, что в организме человека содержится много воды. В теле человека массой 60 килограммов примерно 40 килограммов воды. Без воды нет жизни.

Игра-демонстрация "Вода для болезни беда"

Учитель на кукле демонстрирует очередность движений при обтирании, объясняет, что это надо делать ежедневно после зарядки. "Каждое утро, намочив полотенце, оботрите свое тело. Начните с кончиков ступней, двигайтесь вверх до бедер. Затем хорошенько разотрите руки от кистей до плеч. А теперь оботрите спину, грудь, живот. Если Вы это сделаете правильно, то почувствуете, как по телу разливается тепло, а кожа становится розовой и упругой".

Затем некоторые из учащихся демонстрируют на куклах то, как они запомнили последовательность действий при обтирании. За верные ответы ученики награждаются кружочками-улыбками.

Третья группа рассказывает о значении воздуха в жизни человека. Отмечается, что воздух необходим для дыхания. Наше здоровье зависит от того, каким воздухом мы дышим. Чистый, свежий воздух укрепляет организм, делая его устойчивым к болезням. Воздух, как искусный художник, рисует на щеках румянец и дарит блеск глазам. Свежий воздух не выносят микробы, которые вызывают болезни. Зато они любят душные комнаты, где редко открываются окна. Учитель говорит, что дети не менее полутора часов должны ежедневно гулять на свежем воздухе.

Рассказ учителя о вредных воздействиях окружающей среды

Учитель говорит о том, что для здоровья человека нужна только чистая вода и чистый воздух. Но чистой воды на Земле становится все меньше, потому что люди нередко загрязняют воду: выливают в речки мазут, химические вещества, сбрасывают в озера мусор. От этого реки и озера перестают быть чистыми, прозрачными. Грязная вода — источник болезней. Вода, которая течет из наших водопроводных кранов тоже не совсем чистая. Она содержит хлор и другие химические вещества. Вот почему в большинстве семей используют фильтры для очистки воды.

Воздух тоже загрязняется выхлопными газами автомобилей, дымом фабрик и заводов. Учитель напоминает, что дети уже слышали о катастро-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

фе на Чернобыльской АЭС и беде, которую она принесла на нашу родную землю. Во время взрыва на Чернобыльской АЭС "на волю вырвались" крохотные частицы радиоактивных веществ, опасные для здоровья людей. И теперь, спустя много лет, эти невидимые глазу мельчайшие частички — радионуклиды продолжают "стрелять" в наш организм своими невидимыми лучами. Вместе с водой и воздухом эти опасные радионуклиды могут попасть в организм человека. Больше всего их там, где пыль и грязь. Чтобы уберечь свое здоровье, надо уметь защищаться от невидимых врагов.

С солнышком тоже надо уметь дружить. Избыточное пребывание под прямыми солнечными лучами может вызвать солнечные ожоги и даже солнечный удар. Поэтому, отправляясь на прогулку, надо позаботиться о головном уборе. Одежда должна предохранять ребенка от перегревания (лучше надеть светлые вещи: платье, рубашку, штанишки). Солнечные ванны надо принимать постепенно, начиная от 3 – 5 минут в день и постепенно увеличивая их время до 25 – 30 минут. Лучше всего их принимать утром или после 17 часов, а не в середине дня, когда солнечные лучи самые горячие.

Для закрепления в конце занятия проводится игра.

Игра "Сделай правильный выбор"

Дети становятся в круг. Учитель читает предложения. Если речь идет о действиях, полезных для здоровья, дети должны хлопать в ладоши. Если речь идет о действиях, которые наносят вред здоровью, дети произносят: "У- у - у".

Например, учитель говорит:

- Я люблю гулять в парке.
- Я люблю гулять рядом с автодорогой.
- Я люблю совершать пешие прогулки по скверу.
- Я иногда пью сырую воду.
- Отправляясь на прогулку, я не забываю о головном уборе.

Заканчивая занятие, можно предложить задание "Закончи фразу". Например, "Сегодня на занятии я узнал, что…"

Занятие 3. С лукошком за грибами

Цели: закрепить знания школьников о съедобных и несъедобных грибах, сформировать представление о значении грибов для здоровья человека, научить детей правилам сбора грибов, воспитать бережное отношение к природе.

Оборудование: разрезанные карточки красного, желтого, белого, зеленого цвета для деления на группы, карточки с буквами для игры "раз словечко, два словечко", карточки с текстом загадок о грибах, рисунки грибов, о которых идет речь в загадках, писчая бумага, фломастеры, тексты с заданиями для групп по методике "Обучение сверстников", рисунки несъедобных и ядовитых грибов, белые халаты и шапочки, полоски с текстом для составления правил сбора грибов, муляж гриба.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Ход занятия

Учитель предлагает учащимся отгадать загадку и узнать, о чем пойдет речь на занятии.

Под сосною у дорожки
Кто стоит среди травы?
Ножка есть, но нет сапожка,
Шляпка есть, нет головы. (*Гриб*).

Затем учитель сообщает тему занятия и предлагает учащимся разделиться на группы. Дети объединяются в группы в соответствии с выбранным цветом карточек. Затем учитель просит сложить из карточек картинку. У каждой группы получается рисунок, изображающий один из грибов (белый гриб, лисичка, сыроежка, подосиновик).



Задание "Эрудит"

Дети совещаются в группах и готовят рассказ о грибе, изображенном на их картинке.

Задание "Раз словечко, два словечко"

Каждая группа получает карточку, на которой вразнобой написаны буквы. За 1-2 минуты учащиеся должны из букв составить название грибов.

Р, П, Д, Р, Ё, М, Ж, И, Б, О, Е, З, Н, К, О, Г, Ы, К, Д, А, Р, С, В, У, Л, И, Ё, О, З, Ь, ПОД, ЗО, ПЁ, РЫ, БЕ, МАС, ВИК, НОК, ХО, РЁ, ЖИК, ЛЁ, О, ВОЛ, МУ, КА, ХО, МОР.

Ответы: рыжик, подберёзовик, маслёнок, опёнок, моховик, волнушка, мухомор.

Задание "Экзамен со шпаргалкой"

Эта игра поможет проверить знания учащихся о внешних отличительных признаках грибов. Каждая группа получает конверты с загадками. На классной доске открываются картинки с изображением грибов — "шпаргалки".

Один из учеников первой группы (хорошо читающий) громко читает загадку, которая находится в первом конверте. А остальные члены группы за три секунды после чтения должны найти рисунок-"шпаргалку". Если они не успевают, то право ответа получает другая группа.

Читать загадки может и учитель. А учащиеся поднимают руки, если знают отгадку.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

1) Ни тигрёнок, ни лисёнок,
Кругл, пластиночками тонок,
С головы до самых ног
Ярко-рыжий паренёк.
(*Рыжик*)

2) Ловко спрятаться умеет,
Там, где лес с березняком.
При засушке он чернеет,
Хоть и бел его излом.
(*Подберезовик*)

3) Меж осиновых ветвей
Красной шапочкой своей,
Словно ягодка горит.
Будто: “Вот я!”— говорит.
И хоть яркий вид имеет,
Срежь — мгновенно посинеет.
(*Подосиновик*)

4) За семьёй семья в сосенках,
Малышата в клейких плёнках,
Сжались в желтые комочки,
Словно маленькие квочки.
(*Маслята*)

5) Он меж зелени желтеет,
Имя “хитрое” имеет.
Хоть и не кусается,
Странно называется.
(*Лисичка*)

6) Маскируется под мох,
Снизу желт и скромен.
Этот гриб не так уж плох,
С синью на изломе
(*Моховик*)

7) Разноцветные береты —
Лета яркие приметы —
Разбрелись в лесу, как стая
Чудо-радуга грибная.
(*Сыроежки*)

8) То светлы, то темноваты,
Краешек короночкой.
Розоваты, чуть мохнаты,
Шапочки вороночкой.
(*Волнушки*)

9) В лесу на лужочке
Гнилые пенечки.
А на каждом их них
Много братцев лихих.
(*Опята*)

10) Он на толстой ножке белой
В яркой шляпке загорелой.
Кто в лесу его найдет,
Тот от радости поёт.
(*Белый гриб*)

11) У меня нарядный вид,
Но я очень ядовит.
Я сигналю всем в округе –
Брать меня не надо в руки.
(*Мухомор*)

12) Этот гриб смертельно страшен
И не менее опасен,
Бледен, чуть зеленоват
И таит сильнейший яд.
(*Бледная поганка*)

Далее работа на занятии организуется по методике “*Обучение сверстников*”.

Каждая группа получает конверт со своим заданием, выполняет его, а затем отчитывается о выполнении перед всем классом.

***Задание для группы** 1*

Прочитайте предложения о пользе грибов для здоровья человека. Нарисуйте для одноклассников сюжетные картинки о пользе грибов к каждому из предложений:

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- Когда собираешь грибы, дышишь чистым воздухом леса, любуешься природой.
- В лесу ты много ходишь, много раз наклоняешься, а это зарядка для твоего тела. Движение — залог здоровья.
- Из грибов можно приготовить много вкусных блюд.
- В грибах есть полезные вещества, которые помогают укреплять здоровье.

Задание для группы *2*

Прочитайте по парам сведения об опасных двойниках съедобных грибов и подготовьте о них рассказ для одноклассников. Найдите грибы, о которых идет речь, на картинках.

(В конверте группа получает рисунки грибов без подписей с изображением бледной поганки, шампиньона, белого гриба, желчного гриба, ложных опят, настоящих опят).

“Бледную поганку часто путают с шампиньоном. У шампиньона пластинки снизу шляпки розовые или сиреневые. У бледной поганки пластинки белые. И главное отличие поганки — колечко на ножке. А низ ножки утолщен и находится в дополнительной оболочке, “как в горшочке”.

“У съедобных опят поверхность шляпки коричневато-желтая, а на ножке есть кольцеобразная пленка. У ложных опят цвет шляпки красноватый или желто-зеленый, а кольца на ножке нет”.

“Желчный гриб похож на белый, но мякоть белого гриба на изломе не меняет цвет, а мякоть желчного гриба на изломе краснеет”.

Задание для группы *3*

Прочитайте текст. Подготовьте от имени врачей рассказ о первых признаках отравления грибами и мерах первой помощи.

“Первые признаки отравления грибами — слабость, тошнота, слюнотечение, мучительная рвота, сильные колики в животе, головная боль, головокружение. Больному срочно надо оказать помощь. Немедленно вызвать скорую медицинскую помощь. До приезда врача больному надо промывать желудок теплой кипячёной водой. Всё это время больного надо согревать, тепло укутывать, к ногам прикладывать грелки”.

Задание для группы *4*

- Прочитайте текст на полосках бумаги.
- Найдите начало и конец предложений.
- Соедините их скотчем, чтобы можно было прочесть правила сбора грибов.
- Объясните классу важность соблюдения каждого из правил.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Текст на полосках:

1) Нельзя вырывать
2) Грибы надо срезать
3) червивые грибы
4) не следует пробовать
5) которых могут встретиться и ядовитые
6) Нельзя собирать грибы в лесу, загрязненном
7) грибы вместе с грибницей
8) Нельзя собирать старые и
9) ножом, присыпая грибницу лесной подстилкой
10) сырые грибы на вкус, даже если они по запаху похожи на съедобные
11) Не нужно употреблять в пищу незнакомые грибы, среди
12) радионуклидами, вблизи заводов, фабрик, около шоссе и железных дорог

Ответы: 1 – 7, 2 – 9, 8 – 3, 4 – 10, 11 – 5, 6 – 12.

После выступления групп учитель напоминает учащимся, что в окружающем мире есть частицы, невидимые глазу, но которые могут быть опасны для здоровья человека. Это радионуклиды. Они прячутся в воздухе, в воде, на земле и под землей. Их много в верхнем слое лесной подстилки, и грибница, которая находится в верхнем слое лесной почвы, накапливает большое количество радионуклидов. Поэтому все собранные в лесу грибы следует проверять на содержание радионуклидов с помощью специальных приборов, которые имеются в центрах радиационного контроля на рынках и санитарно-эпидемиологических станциях. В пищу можно употреблять только те грибы, которые прошли радиометрический контроль.

Нельзя собирать грибы у дорог, вблизи заводов и фабрик. Растущие в этих местах грибы могут накапливать вредные вещества, поступающие из воздуха, воды и почвы. Нельзя собирать грибы на территориях обозначенных знаком “ Радиоактивное загрязнение !”. (Учитель демонстрирует этот знак.)

Больше всего радионуклидов накапливают *польский гриб, горькушка, краснушка, моховик желто-бурый и зеленый, все виды маслят, колпак кольчатый* (учитель демонстрирует рисунки этих грибов).

Меньше всего радионуклидов накапливают *дождевик шиповатый, зонтик пестрый, опенок зимний, летний, осенний, вешенка.*

Любые собранные грибы следует обязательно проверить в центре радиационного контроля. Если загрязнение грибов выше допустимых уровней их не нужно употреблять в пищу.

Даже те грибы, которые соответствуют принятым нормам, перед употреблением рекомендуется вымочить в солевом растворе, затем про-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

мыть и прокипятить. Воду после кипячения необходимо слить и только потом из грибов можно готовить любое блюдо.

Заканчивается занятие игрой *"10* ***секунд***". Каждый ученик одним предложением говорит о том, что узнал на занятии нового. При этом дети могут передавать друг другу муляж или изображение гриба.

Занятие 4. Что надо знать о сборе ягод

Цели: закрепить и систематизировать знания учащихся о ягодах, рассказать учащимся о значении ягод для здоровья человека; сформировать навыки безопасного поведения при сборе ягод.

Оборудование: карточки для деления учащихся на группы, картинки с изображениями съедобных и несъедобных ягод, карточки с текстом для конкурса "Ягодный парад здоровья", гербарий ягодных растений, вазочки с ягодным вареньем, одноразовые ложечки, карандаши или фломастеры, бумага, рисунок знака "Радиационная опасность ".

Ход занятия

Вступительное слово учителя

Сегодня, ребята, я приглашаю вас принять участие в игровом занятии-соревновании. Четыре команды будут соревноваться между собой, получая за каждый верный ответ жетоны – " здоровянки ". В конце игры мы подсчитаем количество "здоровянок", заработанных каждой командой, и подведем итог игры. А тема нашего занятия "Что надо знать о сборе ягод?".

Ученики делятся на 4 группы. Это можно сделать с помощью разрезных картинок, на которых изображены ягоды, или с помощью цветных карточек четырех цветов (красный, зеленый, синий, желтый).

Задание "Живая буква"

Группам предлагается за 1 минуту написать на листе бумаги как можно больше названий ягод. За каждый правильный ответ группа получает жетон.

Задание "Стоп-кадр"

Учитель показывает картинки с изображением ягод. Группы по очереди отгадывают их названия. Правильный ответ – одна "здоровянка". Если группа не может ответить на вопрос, право продолжать игру переходит к другой группе.

Задание "Угадай-ка"

Вниманию участников игры предлагается запись на классной доске:

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

А	смородина	О	брусника
П	малина	В	рябина
Ь	калина	Н	клюква
Р	земляника	И	вороний глаз
Л	черника		

Учитель читает загадки о ягодах. Дети находят в списке слово-отгадку, и каждый ученик записывает на листе бумаги соответствующую букву из столбца, расположенного слева. Если задание будет выполнено верно, то из букв, выписанных детьми, получится слово “правильно”.

Каждый правильный ответ ученика приносит команде очередную “здоровянку”.

Летом рад я свежей
Ягоде медвежьей;
А сушёная в запас
От простуды лечит нас.
(*Малина*)

Кто любит меня,
Тот рад поклониться.
А имя дала мне
Родная землица.
(*Земляника*)

Она черная? Нет красная!
А почему белая?
Потому что зеленая.
(*Смородина*)

И красна, и кисла,
На болоте росла.
(*Клюква*)

В сенокос горька,
А в мороз сладка.
Что за ягодка?
(*Рябина*)

Расту в лесу под кустиком
На длинном стебельке.
Вверху четыре листика,
А в самой глубине
Чернее ночи ягода,
Да сильный яд во мне.
(*Вороний глаз*)

Чёрненькое платьице,
Кустарник небольшой,
А соком своим мажется —
Попробуй-ка, отмой.
(*Черника*)

Листики – с глянцем,
Ягодки – с румянцем,
А сами кусточки
Не выше кочки.
(*Брусника*)

Весной — беленая,
Летом — зеленая,
Осенью — каленая,
Зимой — хваленая.
(*Калина*)

Задание “Что лишнее?”

Учитель ещё раз обращает внимание на список ягод в предыдущем конкурсе. Дети должны назвать ядовитую ягоду, которую нельзя ни рвать, ни есть. (Вороний глаз). Учитель говорит, что надо обязательно знать ядовитые и несъедобные ягоды нашего леса, чтобы не отравиться ими. Он показывает каждой группе по одному рисунку этих ягод, а дети должны назвать их. (Ягоды ландыша, бузины, жимолости, волчьего лыка.) За каждый правильный ответ – одна “здоровянка”. Если группа отвечает неверно, то ответить могут члены других групп.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Задание "Буква за буквой"

Учитель открывает запись на доске:

КЗТАРЯБГЛОНДВАПМРИЖПСОЦЙАДМЁНШТЬ ? УЗРДЬОДРИОН ВСЬШЕННЧАЛЙКДРЁОШФЬ.

Читая каждую *вторую* букву, дети смогут узнать народную пословицу о ягодах. "Здоровянку" получает группа, которая назовёт пословицу первой.

Ответ: За ягодами пойдешь — здоровье найдёшь.

Далее учитель рассказывает учащимся о пользе ягод для здоровья человека.

Ягоды — настоящая копилка витаминов и других полезных для здоровья, веществ.

Витамин С или аскорбиновая кислота укрепляет наш организм, помогает противостоять таким болезням, как грипп, ангина, воспаление лёгких. Благодаря витамину С быстрее заживают раны и срастаются кости при переломах. Витамина С много во всех ягодах, но особенно им богаты *чёрная смородина, облепиха, плоды шиповника, калины.* Витамин С — неженка. Он легко разрушается при кипячении. Поэтому полезнее для здоровья кушать свежие ягоды.

Витамин А называют витамином роста. Без него не вырастешь здоровым и крепким. При нехватке этого витамина может ухудшаться зрение, быстро наступает утомление, пропадает аппетит. Витамин А содержится в *малине, черноплодной рябине, крыжовнике.*

Земляника славится солями *железа*, а они необходимы для образования крови и хорошего самочувствия человека. Много железа в ягодах *малины, чёрной смородины, голубики. Крыжовник и чёрная смородина* богаты *калием,* который так нужен для нормальной работы сердца.

Задание "Ягодный парад здоровья"

Группы получают конверты с карточками, на которых написан текст о полезных свойствах ягод. Задача детей — подготовить от имени ягод рассказ о себе.

Например.

Для иллюстрации ребята могут использовать картинки ягод, некоторые из засушенных растений, которые находятся в конвертах.

Ежевика. Крупные сочные черные ягоды ежевики поспевают в конце лета – в августе. Они вкусны и полезны. Медики советуют их употреблять для укрепления организма и насыщения его витаминами. А ещё они помогают при расстройстве желудка. Но будьте осторожны, собирая ягоды. У ежевики колючие шипы. Можно легко пораниться.

Облепиха. Жёлтые или оранжевые ягоды облепихи — настоящий ви-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

таминный клад. Потому их в народе называют чудо-ягодой. Особенно много в них витамина А, который так необходим для хорошего зрения. Облепиховым маслом, которое получают из ягод, лечат ожоги, обморожения, язвы желудка. Оно заживляет раны и уменьшает боль.

Черника. Ягоды черники тёмные, с синевато-сизым оттенком. Их мякоть богата витаминами А, В, С, *железом, марганцем, кислотами.* Ягоды черники улучшают зрение человека. А сушеные ягоды с давних пор используют при расстройстве желудка.

Задание "Дегустаторы"

В вазочках на столах детей находятся разные виды варенья: из черники, земляники, брусники, малины, крыжовника, смородины. Учитель предлагает по вкусу и запаху определить, из каких ягод приготовлено варенье. За каждый верный ответ — одна "здоровянка".

Далее проводится беседа о правилах безопасного поведения при сборе ягод. Учитель демонстрирует знак "Радиоактивное загрязнение!" и задает вопросы:

- О чем этот знак предупреждает людей?
- Где его можно увидеть?
- Можно ли с ним встретиться при сборе ягод в лесу?
- Как нужно поступать, если встретился с этим знаком?

Затем учитель уточняет ответы учащихся и рассказывает, что при сборе ягод тоже надо быть осторожным. Надо помнить о том, что в ***местах, загрязненных радионуклидами***, ***категорически нельзя собирать ягоды***. Эти места обозначаются знаком "Радиоактивное загрязнение!". Нельзя также собирать ягоды у дорог, близко от заводов, фабрик, очистных сооружений.

Необходимо обязательно проводить радиометрический контроль собранных ягод, потому что в них могут быть частицы, невидимые глазу и неощущаемые другими органами чувств, — радионуклиды. Они могут быть вредны для здоровья человека. Ученые установили, что больше всего радионуклидов накапливают клюква, черника, голубика, брусника, а меньше всего — рябина и калина.

В конце занятия можно предложить учащимся *задание "Правильно — неправильно"*.

Задание "Правильно — неправильно"

Учитель по очереди читает командам предложения. Дети должны выразить свое мнение по поводу произнесенного учителем, сказав "правильно" или "неправильно", обосновав своё мнение. За верный ответ — одна "здоровянка".

Примеры:

- Собирать ягоды с растения надо все до одной.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Ответ: Неправильно. Часть ягод надо оставлять для размножения растений, для животных, которые питаются ягодами.

- Собирать ягоды надо осторожно, не ломая ветки, не отрывая листья.
  Ответ: Правильно, надо не повредить растение.
- Нельзя собирать и пробовать на вкус незнакомые ягоды.
  Ответ: Правильно. Незнакомые ягоды могут быть ядовитыми.
- Можно собирать ягоды вблизи автомобильных и железных дорог.
  Ответ: Неправильно. Автомобили загрязняют окружающую среду выхлопными газами, сажей. По автомобильным и железным дорогам перевозится немало опасных для здоровья веществ. Часть этих веществ оседает на почве около дороги, попадает на растения, а при попадании с пищей в организм человека — вредит здоровью.
- Нельзя собирать ягоды в местности, загрязненной радионуклидами
  Ответ: Правильно. Если радионуклиды накапливаются в организме, они могут вредить здоровью человека. Они "стреляют" в нас своими невидимыми лучами и могут поражать наши органы, вызывая заболевания.
- Из ягод больше всего радионуклидов накапливают клюква, черника, голубика, брусника, а меньше всего — рябина, калина.
  Ответ: Правильно.
- Нельзя есть немытые ягоды.
  Ответ: Правильно. В пыли, грязи находится много микробов, могут быть радиоактивные вещества, которые вредят здоровью человека.
- После сбора ягод надо обязательно вымыть руки с мылом.
  Ответ: Правильно. Это поможет удалить с рук пыль и грязь, и опасные вещества не попадут внутрь нашего организма.

Игра "Художники"

(Проводится, если позволяет время)

Каждой группе предлагается за 3 минуты нарисовать знаки, иллюстрирующие правила сбора ягод. За каждый знак, отражающий правила безопасного поведения при сборе ягод, группа получает "здоровянку".

В конце занятия подводится итог работы каждой группы и награждается группа-победитель (та, у которой больше всего "здоровянок").

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

12.2. Второй класс

Занятие 1. Режим труда и отдыха

Цели: закрепить и расширить знания учащихся о влиянии режима дня на здоровье человека , сформировать у школьников умение самостоятельно составлять режим дня и рационально распределять свободное время.

Оборудование: цветные карточки для деления на группы; карточки, где указаны режимные моменты, и карточки, где указано время для соотнесения с режимными моментами; ромашка с отрывными лепестками, на которых написаны виды спорта для проведения пантомимы.

Ход занятия

Учитель предлагает учащимся разделиться на группы в зависимости от времени года, когда школьники родились. Это можно сделать с помощью цветных карточек, цвет которых соответствует определенному времени года: белый цвет соответствует зиме, зеленый — весне, красный — лету, желтый — осени.

Неважно, что по количеству детей группы могут быть разными, главное, чтобы школьники учились согласованно работать.

Задание "АБВГДейка"

Каждая группа получает карточку со словами. Задача детей: из перечисленных слов (будет, труда, здоровье, и, тверже, соблюдай, быта, режим, гранита) составить пословицу.

Ответ: " Соблюдай режим труда и быта, будет здоровье тверже гранита".

Задание "Мозговой штурм"

В этой игре принимается любой ответ, имеющий отношение к обсуждаемому вопросу. Высказывая свое мнение, дети должны знать, что учитель не требует от них объяснения или обоснования. Записывается как можно больше ответов на поставленный вопрос.

Правила игры:

- Время проведения 3 — 5 минут.
- Каждый ученик предлагает свой ответ-идею.
- Предлагается как можно большее количество ответов-идей.
- Ни одна из предложенных идей не критикуется и не отвергается.

Вопросы, которые обсуждают учащиеся в группах: *зачем соблюдать режим дня и от кого зависит его соблюдение?*

По сигналу учителя группы представляют свои варианты ответов. Учитель дополняет ответы учеников. Учитель говорит, что правильный режим дня — это своевременное и полноценное питание , четкая организация разных видов деятельности человека.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Основное правило режима дня, которое должны запомнить дети — ***это разумное чередование умственных и физических нагрузок с отдыхом***, ***рациональное и регулярное питание***, ***достаточное пребывание на свежем воздухе***.

Далее учитель поясняет, почему это важно для здоровья.

“Вы, ребята, уже знаете, что головной мозг — главный управляющий центр в нашем организме. Именно от него по нервам поступает информация обо всем, что мы видим, слышим, ощущаем. Мозг перерабатывает эту информацию — воспринимает, запоминает, передает. В головном мозге есть различные отделы, которые регулируют дыхание человека, пищеварение, умственную деятельность, речь, кашель, глотание, мышечную работу и другие функции организма. Поэтому если какой-то отдел работает продолжительное время, то наступает переутомление и человек может заболеть. Следовательно, этому отделу необходим отдых. Это может произойти тогда, когда организм переключится на выполнение другого вида деятельности. Естественно, для нормальной работы мозга, как и других органов человека, организму постоянно необходимо *рациональное питание, свежий воздух и отдых*. Вот почему каждому человеку надо выполнять режим дня и помнить основное правило режима дня”.

Задание “Угадай-ка”

Учитель читает загадки, а дети, входящие в группы, должны угадать, о каких режимных моментах в них идет речь?

Когда он к нам приходит,
То в сказку всех уводит.
А солнышко взойдет —
Он сразу и уйдет.

(*Сон*)

Чтобы мы никогда и ничем не болели,
Чтобы щеки здоровым румянцем горели,
Чтобы было здоровье в отличном порядке,
Всем нужно с утра заниматься ….

(*Зарядкой*)

Ах, как весело струится,
Льется, булькает водица.
Взяли щетки — зубы трем
Белоснежным порошком.

(*Умывание*)

Задание “Расставьте по местам”

Каждая группа получает наборы карточек, на одних написано название режимных моментов, а на других время. Задача детей —

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

расположить карточки в таком порядке, в котором перечисленные мероприятия выполняются в течение суток, а напротив них — расставить карточки с правильно указанным временем. В итоге должен получиться следующий режим дня:

Подъем	*7 ч*
Утренняя гимнастика, душ, обтирание, уборка постели	*7 ч – 7 ч 30 мин.*
Завтрак	*7 ч 30 мин – 7 ч 50 мин.*
Дорога в школу	*8 ч – 8 ч 20 мин.*
Уроки в школе	*8ч 30 мин. – 14 ч 10 мин.*
Дорога из школы	*14 ч 10 мин. – 14 ч 25 мин.*
Обед	*14 ч 30 мин. – 15 ч*
Прогулка, занятие спортом	*15 ч 10 мин. – 17 ч*
Приготовление уроков	*1 ч – 19 ч*
Прогулка	*19 ч – 20ч*
Ужин и свободное время	*20 ч – 21 ч*
Подготовка ко сну	*21 ч – 21 ч 30 мин.*
Сон	*21 ч 30 мин. – 7 ч*

Задание "Спорт, спорт, спорт!"

Учитель предлагает представителям групп выбрать лепесток ромашки, на котором написано название одного из видов спорта. Эта группа с помощью пантомимы пытается изобразить, о каком виде спорта идет речь, а остальные отгадывают.

Задание "Реклама"

Группы в течение 5 минут придумывают и обыгрывают рекламу спортивного инвентаря.

Учитель сообщает учащимся: "Несмотря на чередование умственного и физического труда, усталость все же накапливается. Поэтому за выходные дни надо постараться хорошенько отдохнуть. Воскресенье должно быть днем полного отдыха — никаких уроков. Их лучше приготовить в субботу.

Восстановить силы поможет активный отдых на свежем воздухе. Можно отправиться в поход, на прогулку в парк, поиграть в подвижные игры с друзьями, заняться спортом, посетить театр, музей.

В конце рабочей четверти дети все же чувствуют усталость. Снижается работоспособность. Головному мозгу и организму в целом нужен отдых. Для этого и служат каникулы. Они нужны, чтобы снять усталость, накопившуюся за время учебы.

Хорошо отдыхать — это не значит ничего не делать. Наш организм постоянно испытывает потребность в движении. В учебные дни школьники много занимаются умственным трудом, сидят за партой и за столом.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Поэтому во время каникул лучше больше двигаться, играть на свежем воздухе, можно поработать на огороде или в саду. Это поможет снять утомление, восстановить силы, сохранить здоровье.

Особенно важно правильное чередование труда и отдыха, смена видов деятельности для детей, проживающих на радиоактивно загрязненных территориях. У этих детей быстрее наступает переутомление, и тогда они становятся вялыми, могут ощущать общее недомогание, головную боль, головокружение".

Задание "Ура! Каникулы!"

Учитель предлагает изменить составленный учащимися режим рабочего дня так, чтобы получился режим дня в каникулярное время с учетом времени года. Для этого школьники получают чистые карточки, на которых они должны записать дополнительные режимные моменты (например, то, чем они могут заняться в часы, которые обычно уходят на учебу). По сигналу учителя работа заканчивается, дети представляют свои варианты ответов.

К концу занятия учащиеся должны осознать, что режим дня зависит только от самого человека. От того, как человек будет его выполнять, зависит его самочувствие. Естественно, на здоровье будут оказывать влияние и факторы внешней среды, но на режиме дня, который составляют для себя дети, это не скажется. Важно предусмотреть в режиме дня больше мероприятий, связанных с движением и пребыванием на свежем воздухе, особенно после длительного нахождения в помещении. Во время каникул следует отводить время и на подвижные игры, танцы, спортивные мероприятия на свежем воздухе с соблюдением правил безопасного поведения на территориях, загрязненных радионуклидами.

Занятие 2. Ты и "Волшебный экран" (правила просмотра телепередач)

Цели: сформировать у школьников представление о роли телевидения в жизни современного человека и общества, познакомить с правилами просмотра телепередач, сформировать навыки здорового образа жизни, способствовать развитию коллективных отношений в классе.

Оборудование: карточки для деления учащихся на группы, цветные карточки с правилами просмотра телепередач , карточка " Советы школьника", карточка с комплексом физических упражнений, куклы, игрушечный телевизор.

Ход занятия

В начале занятия учитель предлагает учащимся отгадать загадку:

Что за чудо, что за ящик?
Сам — певец и сам — рассказчик,
И к тому же, заодно
Демонстрирует кино.

Дети отвечают, что речь идет о *телевизоре*.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Учитель

В наше время смотреть телевизор стало привычным делом. Телевизор есть в каждой семье. Часто ему отводится лучшее место в доме, около него вечером собирается вся семья. Некоторые люди шутят, что телевизор стал членом семьи. О телевизоре, правилах просмотра телепередач мы и поговорим на этом занятии.

Учитель предлагает учащимся с помощью цветных карточек (красных, синих, белых, зеленых, желтых) разделиться на пять групп. Группы за каждый правильный ответ будут получать специальные жетоны. В конце занятия подводится итог работы, выявляются самые активные ребята.

Задание "Объяснялки"

Учащимся предлагается посоветоваться в группах и объяснить, почему телевизор иногда называют "волшебным экраном". Группы по очереди предлагают свои варианты ответов и за каждый верный ответ получают жетоны.

Обобщая сказанное ребятами, учитель подчеркивает, что просмотр телепередач — это увлекательное путешествие в мир науки и техники, в разные города и страны, в прошлое и настоящее.

Учитель поясняет, что всё это замечательно, если только ребята умеют смотреть телевизор, умеют "дружить" с ним. Для тех детей, кто не знает правил дружбы, телевизор становится не другом, а врагом, потому что приносит вред здоровью. Учитель рассказывает о том, какой вред здоровью детей может наносить неправильный просмотр телепередач.

Учитель сообщает детям некоторые факты, установленные учеными.

- Дети, которые смотрят телевизор три часа в день и больше, быстрее сверстников набирают вес. Сказывается недостаток движения. Дети, которые много двигаются, занимаются спортом, наоборот, имеют подтянутую фигуру.
- Дети, которые смотрят телевизор, не отрываясь от экрана два часа в день и более, становятся раздражительными, нетерпимыми, агрессивными. У них ухудшается память и внимание.
- Чтобы быть здоровым и бодрым, надо хорошо высыпаться ночью. Дети, которые допоздна сидят у телевизора, отнимают у себя часы отдыха. Это ухудшает их самочувствие, плохо сказывается на учебе.
- Плохо влияют на здоровье детей фильмы ужасов, кровавые боевики, страшные детективы. Их просмотр вызывает у ребят расстройство нервной системы, жуткие сновидения. А без хорошего ночного отдыха ребенок вялый, не выспавшийся. Ему трудно двигаться, играть, учиться.
- Телевизор является источником электромагнитного излучения. Человек, который много времени проводит за просмотром теле-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

передач, подвергает себя излишнему облучению. Чем меньше времени длится просмотр телепередач, тем лучше для здоровья человека.

Далее обсуждается вопрос, какие правила надо соблюдать при просмотре телепередач, чтобы не навредить здоровью? Учащиеся высказывают свое мнение. Обобщить ответы помогает рассказ учителя. Педагог подчеркивает самые важные моменты, на которые следует обратить внимание при просмотре телепередач:

- время просмотра;
- расстояние от зрителя до экрана телевизора;
- освещение в комнате при просмотре телепередач;
- качество изображения.

Чем меньше время просмотра телепередач, тем лучше. В неделю детям желательно проводить менее 5 часов у экрана телевизора.

Лучше всего располагаться перед телевизором в кресле или на стуле на расстоянии не ближе 3 метров от телевизионного экрана. Сидеть дальше 5 метров от телевизора не рекомендуется. Экран телевизора должен быть на уровне глаз сидящего или чуть ниже его.

Лучше смотреть черно-белый телевизор. Он безопаснее для здоровья, чем цветной. Вредных излучений от него в 10 раз меньше, чем от цветного.

Не следует телевизор смотреть в темноте, глаза быстрее устают. Лучше всего, если комната освещена верхним светом или настольной лампой, торшером, которые не находятся в поле зрения и не отражаются на экране телевизора. Днем телевизор следует смотреть в незатемненной комнате. Лишь в солнечные дни следует закрывать окна легкими шторами, потому что яркий свет, попадая на экран, ухудшает видимость, что способствует ухудшению зрения.

Следующая часть занятия проводится по методике "*Обучение сверстников*".

Четыре группы школьников выполняют специально подготовленные для них задания. Затем каждая группа рассказывает о выполнении задания перед всем классом, обучая своих одноклассников.

Первая группа

Члены группы составляют "Правила просмотра телепередач". Дети получают конверт с цветными карточками, на которых написаны начало и конец правил. Они раскладывают карточки по цвету, скрепляют карточки (начало и конец предложений) скотчем, прикрепляют карточки на классную доску так, чтобы весь класс мог прочитать правила. В результате их работы получаются следующие советы:

- У экрана телевизора сиди не ближе 3 метров и не дальше 5 метров.
- Телевизор должен быть на уровне глаз зрителя или чуть ниже.
- Следи за освещением.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- Если ты носишь очки, то во время телепросмотраих следует надеть. Глаза не должны напрягаться.
- Смотри на экран прямо, не задирай голову.
- Не смотри в одну точку. Глаза должны двигаться по экрану.
- Чаще моргай и не задерживай дыхание.
- Для хорошего зрения необходим свежий воздух — во время телепросмотра открой форточку.
- Сделай один день в неделю “днем без телевизора”.
- Чем меньше продолжительностьпросмотрателепередач, тем лучше.
- Разумно выбирай телепередачи для просмотра.

Вторая группа

Члены группы получают задание прочитать правила просмотра телепередач, которые составил один школьник, обсудить, не допустил ли он ошибок.

Например:

- Не пропускай ни одной телепередачи, ни одного кинофильма, будь любознательным.
- Не выключай телевизор, когда делаешь уроки. Работать будет веселее, ты быстрее справишься с заданиями.
- Сиди у экрана телевизора, пока не заснешь.
- Перед сном полезно посмотреть фильм ужасов или боевик.
- К телевизору садись как можно ближе.
- Вечером смотри телевизор в темной комнате.

Третья группа

Члены группы получают карточку с комплексом упражнений, которые врачи рекомендуют проводить во время просмотра телепередач. Под руководством учителя они разучивают эти движения в игровом уголке класса, чтобы показать их одноклассникам.

Комплекс упражнений:

- Упрись руками в спинку дивана, на котором сидишь. Поднимай поочередно согнутые в коленях ноги и старайся коснуться ими лба.
- Вытяни ноги вперед, выпрями спину и делай круговые движения головой то в одну, то в другую сторону.
- Ляг на живот, обхвати руками голеностопные суставы, согни ноги в коленях и постарайся “приподнять” себя с дивана.
- Проделай круговые движения плечами вперед и назад.
- Лежа на спине, на диване, подними прямые ноги, а потом коснись ими дивана за головой.

Каждое упражнение выполняется 4 – 6 раз.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Четвертая группа

Члены группы придумывают и разыгрывают сценки, в которых одни герои соблюдают правила просмотра телепередач, а другие нет.

По сигналу учителя работа в группах заканчивается . Группы поочередно рассказывают и показывают свои задания всему классу.

В конце занятия учитель предлагает ученикам встать в круг и по очереди закончить предложение “Устраиваясь у экрана телевизора, я буду помнить…”.

Занятие 3. Правильное питание — залог здоровья

Цели: углубить знания школьников о режиме питания, о значении белков, жиров, углеводов, минеральных солей и витаминов для здоровья человека ; познакомить с правилами питания , направленными на уменьшение поступления радионуклидов в организм с пищей и обеспечивающими стратегию поведения в условиях радиоактивного загрязнения территории и продуктов питания.

Оборудование: “лепестки ромашки” с текстом для задания “Найди пару”, листы бумаги для тестирования, карточки с текстами для задания “Рассказ по цепочке”.

Ход занятия

Задание “Найди пару”

Учитель дает задание учащимся, выполнив которое, они узнают тему занятия.

На классной доске прикреплены “лепестки ромашки”. На одних лепестках написаны гласные буквы, а вместо согласных стоят звездочки, на других, наоборот, написаны согласные буквы, а вместо гласных стоят звездочки. Задача детей — найти парные лепестки, соединить буквы, прочитать слова, а из них составить фразу.

Надписи на лепестках:

1)* * О * О * * Я

2) П Р * В * Л Ь Н * *

3) З * Л * Г

4) З Д * Р * В Ь *

5) П * Т * Н * *

6)* А * О *

7)* * А * И * * * О Е

8)* И * А * И Е

Дети должны совместить лепестки в следующем порядке: 2 – 7, 5 – 8, 3 – 6, 4 – 1. Получится фраза “*Правильное питание — залог здоровья*”. Эту фразу учитель записывает на классной доске.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

А правильно ли питаются школьники? Узнать об этом, поможет тестирование.

Тест "Правильно ли вы питаетесь ?" *(Баллы в тестах не проставлены)*

1. *Употребляете ли Вы в пищу свеклу, морковь, капусту?*
   А) всегда, круглый год (5баллов)
   Б) иногда, когда заставляют (2балла)
   В) никогда (0баллов)
2. *Сколько раз в день Вы едите?*
   А) 4 – 6 раз (5 баллов)
   Б) 3 раза (3балла)
   В) 2 раза (0баллов)
   Г) 8 – 7 раз, сколько захочу (0баллов)
3. *Вы употребляете в пищу овощи?*
   А) ежедневно, несколько раз (5баллов)
   Б) 2 – 3 раза в неделю (3балла)
   В) очень редко (1балл)
   Г) никогда (0баллов)
4. *Когда и что Вы едите на ночь?*
   А) мясо с гарниром в 21 час (1балл)
   Б) кашу молочную в 21 час (2балла)
   В) стакан кефира или молока в 21 час (5баллов)
   Г) ем, когда захочу и что захочу, до 23 часов (0 баллов)
5. *Употребляете ли вы в пищу лук, чеснок, петрушку, укроп?*
   А) иногда петрушку и укроп в супе, салате (1балл)
   Б) лук и чеснок не ем никогда (0баллов)
   В) все это употребляю ежедневно в небольшом количестве (5 баллов)
   Г) ем иногда или тогда, когда заставляют (2балла)

Дети отмечают свои ответы, обводя нужный ответ кружком или отмечая птичкой. Затем каждый ответ оценивают в баллах и подсчитывают общую сумму баллов за ответы на все вопросы. Если учащиеся набрали 13 – 15 баллов, это означает, что у них правильный режим питания. Если учащиеся набрали 9 – 12 баллов, то это означает, что ребята не занимаются своим здоровьем, но в доме кто-то следит за их режимом питания. При сумме 0 – 9 баллов учащимся необходимо срочно задуматься о своем питании: как о рационе, так и о режиме питания.

Подводя итоги выполнения задания, учитель напоминает правила здорового питания:

- Питаться надо 3 – 4 раза в день в одно и то же время.
- Принимать пищу надо через 3 – 4 часа.
- В еде надо знать меру, не переедать.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- Последний прием пищи должен быть за 2 – 3 часа до отхода ко сну.
- Нужно не торопиться и хорошо пережевывать пищу.

Какие же вещества должны входить в состав пищи ежедневно? Узнать об этом поможет следующее задание.

Задание "Рассказ по цепочке"

С помощью цветных карточек дети делятся на пять групп. Каждая группа получает карточку с текстом. Дети должны самостоятельно разбить текст на части по количеству членов группы. Каждый из них готовится пересказать свою часть классу. Ответы всех членов группы составят рассказ "по цепочке". Первая группа готовит сообщение о белках, вторая — о жирах, третья — об углеводах, четвертая — о минеральных солях, пятая — о витаминах.

Тексты на карточках

Белки

Зачем человеку нужны белки? Оказывается, именно они являются главным строительным материалом нашего тела. Это из них построены наша кровь и мозг, кости и волосы, в общем, все клетки тела. А так как "строительство" клеток продолжается всю жизнь человека, то важно постоянно получать эти вещества с пищей. При этом организму нужны белки как растительного происхождения, так и животного. Белковый голод незаметно истощает, ослабляет сильных и крепких людей, подтачивает их здоровье. Особенно опасно белковое голодание детям. Если белков недостаточно, они плохо растут и болеют.

Жиры

Зачем же организму нужны жиры? Оказывается, в нашем теле они выполняют роль "топлива". Жиры — хороший источник энергии. А ещё жировые отложения образуют мягкую оболочку вокруг внутренних органов и защищают их от повреждений. Они смягчают давление на наши подошвы и ладони. Жиры "окутывают" наше тело подобно тонкому одеялу, уменьшают потери тепла в холодную погоду.

Углеводы

Углеводы — третья составная часть нашей пищи. Они легко усваиваются организмом и дают много энергии. Больше всего углеводов расходуется на работу мышц. Наше сердце, которое без устали трудится всю жизнь, тоже нуждается в их постоянном поступлении. Среди углеводов нашему организму особенно нужны: *крахмал, клетчатка, сахар, глюкоза.* Все они снабжают наше тело необходимой энергией. Однако чрезмерное употребление углеводов вредно сказывается на здоровье людей.

Минеральные соли ("Минералы")

Сколько соли в нашей пище? "Столько, сколько её добавит в пищу хозяйка" — скажет любой ребенок. И окажется неправ! Ведь в пище кроме

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

поваренной соли, которую и добавляет в пищу хозяйка, есть много других, солей. Это *соли кальция*, необходимые организму для роста и обновления костей. Они регулируют работу сердца, участвуют в процессе свертывания крови. Это и *соли, содержащие фосфор*, которые нужны нервным клеткам, а также зубам, чтобы они были здоровыми. *Кальций и фосфор* есть в ржаном хлебе, овсяной и гречневой кашах, в щавеле, рыбе, мясе, орехах. В нашей пище должны содержаться и *соединения железа*. При их недостатке мы будем сильно уставать, наши клетки будут получать мало кислорода. *Железа* много в помидорах и капусте, горохе и гречневой каше, яблоках и грушах, винограде и землянике.

Витамины

Чтобы быть здоровым и бодрым человеку надо совсем немного витаминов. Их нехватка ведет к различным нарушениям в организме и заболеваниям.

Витамин С — аскорбиновая кислота. Укрепляет наш организм и помогает противостоять таким заболеваниям, как грипп, корь, ангина, воспаление легких. Благодаря этому витамину быстрее заживают раны и срастаются кости при переломах . Нехватка витамина приводит к ослаблению организма, сонливости и быстрой утомляемости.

Витамин А — витамин роста. Без него не вырастешь здоровым и крепким . При его нехватке ухудшается зрение , быстро наступает утомление, пропадает аппетит, может начать уменьшаться вес.

Витамин Д нужен для формирования костей. Поэтому полезно включать в свое меню яйца, масло, рыбу, содержащие этот витамин.

Витамины группы В необходимы при усиленной физической работе, для укрепления мышц тела, для общего здоровья кожи, волос, ротовой полости и глаз.

Задание “Аукцион знаний”

Правила аукциона :

- Учитель предлагает обсудить вопрос, что необходимо помнить о питании людям , живущим на территории , загрязненной радионуклидами.
- Желающий ответить молча поднимает руку.
- Отвечает тот, на кого указывает учитель.
- Каждый ученик при ответе может сказать только одно предложение.
- Если хочешь ответить ещё раз, снова подними руку и дождись, пока вызовет учитель.
- Перебивать других участников игры нельзя.
- Неверные или повторяющиеся ответы не засчитывают.
- Побеждает тот ученик, ответ которого другие учащиеся не смогли дополнить.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

После окончания игры учитель при необходимости может уточнить и расширить детские ответы по данной теме.

В ходе игры и последующей беседы непременно должны быть подчеркнуты следующие моменты:

- уменьшить поступление радионуклидов с пищей помогает мытье овощей и фруктов, очистка корнеплодов от кожуры;
- при приготовлении блюд из мяса содержание радионуклидов в нем можно уменьшить, если в течение 2 часов вымачивать его в воде, а затем после 10-минутного кипячения слить воду. Таким способом можно уменьшить содержание радионуклидов в мясе в 2-3 раза. Такой обработке целесообразно подвергать только такое мясо, содержание радионуклидов в котором превышает установленные нормы не более, чем в 3 раза.
- Необходимо:
  - Ø употреблять в пищу продукты богатые пектинами, которые связывают радионуклиды (соки с мякотью, яблоки, персики, крыжовник, клюкву, сливы, абрикосы, черную смородину, клубнику, вишни, цитрусовые, джемы, пастилу);
  - Ø употреблять продукты богатые клетчаткой , которые помогают регулярно опорожнять кишечник (хлеб грубого помола, пшено, гречка, перловая и овсяная крупы, капуста, морковь, чернослив, свекла);
  - Ø пить больше жидкости в виде соков, морсов, компотов, молока , настоев плодов и трав (шиповника , зверобоя , ромашки, тысячелистника, бессмертника).
- Рекомендуется употреблять в пищу:
  - Ø Продукты богатые *белками* (молочные продукты , мясо, бобовые , орехи , рыбу). Белки повышают устойчивость организма к облучению, снижают всасывание радионуклидов
  - Ø Продукты богатые *калием* (изюм, курага, чернослив, орехи, укроп, морковь) и *кальцием* (творог, сыр, икра, бобовые), которые способствуют выведению из организма радиоактивных *стронция* и *цезия*.
  - Ø *Витамины и минералы*, которые укрепляют организм и повышают его сопротивляемость действию негативных факторов, в том числе — и повышенному действию радиации

Занятие 4. Мойся более — будешь здоровее

Цели: углубить знания учащихся о важности соблюдения чистоты тела для здоровья человека; расширить знания учащихся о гигиенических средствах ухода за телом; сформировать практические навыки по уходу за телом.

Оборудование: костюмы для героев инсценировки "Гигиена и Грязь", мыло, полотенце, вода, выставка гигиенических средств (мыло, шампуни,

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

гели для душа, мочалки, губки, средства для чистки посуды, детский крем, вазелин, гигиеническая губная помада), карточки-подсказки для работы в группах, карточки с пословицами, разрезанные на полоски.

Ход занятия

Учитель говорит учащимся, что на занятии им откроются новые секреты здоровья, а затем читает стихотворение:

Быть здоровыми хотят
И взрослые, и дети.
Как здоровье сохранить?
Кто может мне ответить?

В класс входит Гигиена, роль которой может сыграть одна из учениц класса или старшеклассница.

Гигиена: Добрый день! Я — чистота!
С вами быть хочу всегда.

Учитель: Вот Наташа, Коля, Валя,
Вот Сережа, Света, Галя,
Костя, Вова, рядом Гена.
А Ваше имя?

Гигиена: Гигиена.
Я пришла вас научить,
Как здоровье сохранить.
Много грязи вокруг нас,
И она в недобрый час
Принесёт вам вред, болезни.
Но я дам совет полезный.
Мой совет совсем не сложный —
С грязью будьте осторожны!

В класс заглядывает, а затем заходит Грязь. Эту роль тоже играет кто-то из учениц.

Грязь: Вы про грязь? И я у вас!

Грязь всё время чешется, направляется к Гигиене.

Гигиена: Ты ко мне не приближайся!
И ко мне не прикасайся!

Грязь: Ах-ах-ах! Какое платье!
Да ведь не на что смотреть!
Я б такое не надела.
У меня — другое дело!
От борща пятно большое,
Вот сметана, вот жаркое,
Вот мороженое ела,
Это — в луже посидела.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Это клей, а здесь — чернила.
Согласитесь, очень мило.
Я наряд свой обожаю,
На другой не променяю.
Я открою вам секрет —
Лучше платья просто нет…

Грязь здоровается с детьми за руку. Гигиена следом вытирает детям руки влажным полотенцем, говорит, чтобы не подавали ей руки. Учитель и Гигиена оттаскивают Грязь от детей.

Грязь: Вы не вымыли посуду?
Значит, скоро я прибуду.
Ненавижу тряпки, щётки,
Я, друзья, боюсь щекотки.
Забираюсь в уголки,
Там, где пыль и пауки.
Чистоту я не люблю,
Тараканов, мух люблю.

Учитель: Наши дети любят чистоту, порядок

Грязь: Нет, нет, нет!
Я Вам не верю!

Учитель делит классную доску на две половины: на одной пишет слово “чистота”, на другой — “грязь”. Учитель просит учащихся встать со своих рабочих мест, подойти к столу учителя, взять по одному бумажному кружку и прикрепить их на доске. Дети, которые хотят быть чистыми и опрятными, дружить с гигиеной, прикрепляют кружки около слова “чистота”. Если ученики хотят быть неряшливыми , грязными , то им предлагается прикрепить свои кружки около слова “грязь”.

Грязь: Плохи совсем мои дела, и здесь друзей я не нашла.

Она обречено машет рукой и уходит из класса.

Учитель организует беседу. Он просит учащихся пояснить, почему они не хотят дружить с Грязью? В ходе беседы отмечается, что неопрятный человек, у которого грязные руки, лицо, одежда, производит отталкивающее впечатление. Даже симпатичный, но испачкавшийся человек кажется некрасивым.

Но грязь не просто неприятна. Она опасна, потому что в ней живут маленькие враги человека — микробы. Микробы забираются вместе с грязью в организм человека и вызывают различные заболевание. Как же они попадают в наш организм? Да очень просто. Человек грязными руками взял мороженое и съел — микроб уже в организме делает свое “коварное дело”.

Грязные руки — дорога микробам в организм человека. Главный рассадник микробов — туалеты, куда могут заходить больные брюшным

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

тифом, дизентерией, полиомиелитом. К сожалению, не все люди моют руки, выходя из туалета. Везде, к чему прикасается такой человек немытыми руками, остаются невидимые враги людей. Дверные ручки, поручни трамваев, троллейбусов, автобусов, книги и журналы, деньги — к ним прикасаются руки сотен и тысяч людей, и поэтому на них могут таиться микробы, несущие заболевания. Можно попытаться как-нибудь вечером вспомнить, что Вы трогали за день руками. Всего вспомнить не удастся, потому что таких предметов очень много.

Вместе с микробами в грязи могут находиться и радионуклиды, которые также могут представлять опасность для здоровья человека. Вместе с грязью и пылью они попадают на открытые участки кожи человека. При дыхании вместе с воздухом радионуклиды могут проникать в организм человека.

Как же человек может защитить свой организм от невидимых врагов? И микробы, и радионуклиды боятся воды и мыла.

Для дальнейшей работы на занятии учащиеся делятся на четыре группы.

Примечание для деления учеников на группы учитель предварительно на разноцветных полосках бумаги пишет текст пословиц о гигиене. Разрезает полоски на части, которые нужно соединить, чтобы получилась пословица.

Ученики берут на столе учителя по одной части бумажных полос и объединяются в группы по цвету полос. Из текста, написанного на полосках бумаги, они составляют текст пословиц. Возможные варианты пословиц: “Мойся белее, — будешь здоровее”, “Чистота и здоровье, — родные сёстры”, “Болезнь с чистотой враждует”, “Болезнь с грязью в дружбе”.

Задания для групп:

Первая группа

Члены группы обсуждают, сколько раз в день надо мыть руки, и готовят сообщение для одноклассников.

Вторая группа

Члены группы изучают восемь правил мытья рук и готовят демонстрацию для одноклассников.

Карточка-подсказка:

1. *Закатайте рукава одежды.*
2. *Намочите руки водой.*
3. *Возьмите мыло, намыльте руки до появления пены.*
4. *Потрите не только ладони, но и тыльную сторону рук.*
5. *Смойте пену.*
6. *Проверьте, хорошо ли Вы вымыли руки. Если с рук течёт серая пена, значит, руки ещё грязные, надо их сполоснуть, ещё раз намылить и смыть пену.*

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

7. *Хорошо вытрите руки.*
8. *Полотенце следует расправить и аккуратно повесить, чтоб оно не мялось и быстро высохло.*

Третья группа

Члены группы готовят для одноклассников выставку гигиенических средств, которые помогают поддерживать тело человека в чистоте. Они выбирают нужные средства из предложенных на выставке и готовятся рассказать, какие средства можно использовать для мытья рук, ног, тела, волос; а также, какие средства можно еще посоветовать, хотя они не представлены на выставке?

Четвертая группа

Члены группы готовят устный журнал "*Неизвестное об известном*", куда будут включены любопытные сведения о средствах гигиены, используя подготовленную учителем подборку литературы или сведения, записанные на карточках.

Примечание. Приводим некоторые любопытные сведения о средствах гигиены.

- *Знаете ли Вы, почему мыло моет? Потому что мельчайшие частицы мыла состоят из двух половинок. Одна из них любит воду и стремится раствориться в ней. А другая половинка любит жиры и старается соединиться с ними. Когда мы намыливаем грязные руки, частички мыла окружают частички грязи. При этом они поворачиваются к ним половинками, которые "любят" жиры, и соединяются с грязью. А когда мы подставляем руки под струю воды, в дело вступают половинки мыла, которые любят воду. Они растворяются в водном потоке и уносят с собой грязь.*
- *Издавна на Руси варили мыло. "Было сало, стало мыло", — гласит поговорка, так как для изготовления мыла применяли говяжье, баранье, свиное сало, добавляя при этом растительное масло, чаще всего льняное.*
- *Точного ответа на вопрос, когда и кем было изобретено мыло нет. Но ученые уверены, что это произошло раньше, чем были изобретены порох и бумага. Раскопки в долине реки Нил показали, что производство мыла было налажено не менее 6 тысяч лет назад.*
- *Сейчас в магазинах появился большой выбор антибактериального мыла. Оно лучше, чем обычное мыло убивает микробов. Но врачи советуют пользоваться этим мылом умеренно, не чаще 3 – 4 раз в неделю, чтобы не навредить коже.*
- *Оказывается, получить обильную пену можно не только от мыла. В природе есть немало растений-пенообразователей. Например, мыльнянка лекарственная. В народе её зовут "мыльная трава", "собачье мыло", "красный мыльный корень". При растирании корней этого растения с водой образуется пышная пена, а раствор становится мыльным на ощупь.*

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- *Жители далеких тропических стран моют руки и белье соком плодов папайи. Плоды папайи по форме, цвету и вкусу напоминают дыни, а размером они — с футбольный мяч. Они завязываются на верхушке дерева под листьями. Если плоды папайи облить водой, то вода пенится. "Мылящим" свойством обладает и сок папайи.*

В конце занятия учитель предлагает учащимся сделать рисунки на тему: "*Мойся белее — будешь здоровее*".

12.3. Третий класс

Занятие 1. Космическое излучение и твое здоровье

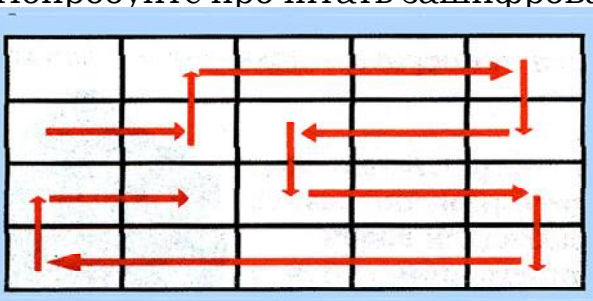
Цели: сформировать у учащихся представления о космосе, планете Земля, других планетах Солнечной системы, о Солнце — ближайшей к Земле звезде; углубить знания учащихся о значении Солнца в жизни человека, его влиянии на здоровье человека; формировать знания и умение избегать опасности при проживании на радиоактивно загрязненной территории.

Оборудование: карточки желтого, голубого, белого цвета для деления на группы, фотография Земли (вид из космоса), рисунок Солнечной системы, текст с рассказом о Солнце, карточки для игры "Мозаика", желтые кружки по числу учащихся, желтый шарик или мяч.

Ход занятия

Вступительное слово учителя:

Вам, ребята, конечно, интересно узнать, о чем пойдет речь на занятии? Подсказка спрятана в таблицах, которые вы видите на классной доске. Попробуйте прочитать зашифрованные слова.



	С	М	О	С
К	О	М	Е	З
Ь	Е	Л	Я	З
В	О	Р	О	Д

Правильно выполнив задание, ученики прочитают три слова: ***Космос***, ***Земля***, ***Здоровье***.

Учитель напоминает, что учащиеся уже многое знают о здоровье. А знают ли они, что такое ***Земля***? (*Планета, на которой мы живем.*)

А что представляют себе учащиеся, когда слышат слово "***Космос***"?

Педагог просит учеников закрыть глаза и рассказать о своих ассоциациях, когда произносится слово "***Космос***". После того, как выскажутся все желающие, учитель обобщает детские ответы.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Обобщая детские ответы, учитель говорит: “Когда я говорю о космосе, то представляю себе ночное бездонно-черное небо, на котором ярко светят звезды и планеты. Они большие и маленькие. И я испытываю волнующее ощущение бесконечности.

Космос, или иначе Вселенная, — это Земля и всё, что существует за ее пределами. Это огромный, необъятный мир. У него нет ни конца, ни края. Если бы мы сели в космический корабль с неисчерпаемыми запасами топлива и энергии и полетели со скоростью света к самой далекой из видимых звезд, то, приблизившись к ней, мы бы и дальше увидели беспредельное пространство и множество других далеких звезд.

Много тайн у Космоса. К неразгаданным тайнам можно отнести и границы Вселенной. Их не удается обнаружить даже с помощью самых современных приборов. Много других тайн Космоса ещё не раскрыто. Однако некоторые тайны нашей планеты, ближайшей к ней звезды — Солнца и других планет Солнечной системы удалось разгадать”.

Далее с помощью цветных карточек (голубых, желтых, белых) учитель делит учащихся на три группы.

Задание для первой группы

Рассмотрите рисунок (фотография Земли из Космоса). Какие мысли и чувства он у Вас вызвал? Расскажите, как выглядит наша планета из Космоса

Задание для второй группы

Рассмотрите рисунок Солнечной системы. Назовите планеты, которые вращаются вокруг Солнца по своим небесным орбитам.

См. Приложение 1: Схема строения Солнечной системы. Вид Земли из Космоса

Задание для третьей группы

Расскажите, как выглядит Солнце — ближайшая к Земле звезда. Что Вы о нём знаете?

Прочитайте текст “по цепочке”. Что нового Вы узнали о Солнце?

Текст: “Солнце — это одна из звезд Вселенной. Как и все звезды, она состоит из раскаленных газов. Поверхность Солнца очень горячая 5 — 6 тысяч градусов. Внутри Солнца температура ещё выше — 15 миллионов градусов.

Солнце — самая близкая к Земле звезда. Но и до неё расстояние немалое — 150 миллионов километров. В Космосе нет дорог, но если бы они были, туристу понадобилось бы три тысячи пятьсот лет, чтобы пройти расстояние от Земли до Солнца. На автомобиле он ехал бы 200 лет, на реактивном самолете летел бы почти 20 лет, на ракете – 7 месяцев. Солнечные же лучи пролетают это расстояние за 8 минут 20 секунд.

Солнце такое огромное, что из него можно “выкроить” более миллиона трехсот шаров такой величины, как наша Земля. Солнце — далеко не самая большая звезда во Вселенной. Есть звезды, которые в миллиарды раз больше Солнца!”

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

По сигналу учителя работа заканчивается.

Ученики *первой группы* рассказывают о планете Земля. Они отмечают, что из Космоса наша планета выглядит бело-голубым шаром, плывущим в черных просторах Вселенной. На ней видна зеленовато-коричневая суша, голубые моря и океаны. Необыкновенную красоту придают Земле серебристо-белые облака. Нашу планету окружает слой воздуха — атмосфера.

Из сообщения *второй группы* дети узнают, что Земля — одна из планет Солнечной системы. Все эти планеты вращаются вокруг Солнца и образуют одну большую "семью". Ближе всех к Солнцу расположен Меркурий, затем следуют Венера, Земля, Марс, Юпитер (самая большая из планет Солнечной системы), Сатурн, Уран, Нептун, Плутон.

Учитель добавляет, что вокруг Солнца вместе с планетами движутся и десятки спутников этих планет, которые вращаются вокруг них. Некоторые планеты со своими спутниками — это отдельные сложные миры. У нашей планеты один спутник — Луна.

Из рассказа *третьей группы* ученики узнают, что Солнце — это ближайшая к Земле звезда. Им становятся известны размеры Солнца и расстояние до него.

Затем учитель рассказывает, что все звезды и планеты в космосе взаимосвязаны между собой. Во время своего путешествия в безграничных просторах Космоса, наша планета непрерывно "обстреливается" мельчайшими заряженными частицами. Часть этих частиц летит к Земле от Солнца, а часть — из глубин Космоса.

К счастью, у нашей Земли есть атмосфера. Это слой воздуха, который окружает её со всех сторон. Воздушное "покрывало" защищает нашу планету от опасных невидимых частиц. Оно не пропускает большую часть губительных лучей к поверхности Земли, задерживает их ещё в своих верхних слоях. Однако часть излучения достигает земной поверхности. Космическое излучение, попавшее на нашу планету, оказывает влияние на жизнь людей, растений, животных. Самое большое значение для жителей Земли имеет излучение Солнца — звезды, которая расположена к нам ближе всех остальных звезд.

Задание "Мозговой штурм"

Учитель делит классную доску на две части. В одной части записывает "Солнце — наш друг", в другой – "Солнце — наш недруг". Ученики берут на столе учителя по одному желтому кружку. Каждый школьник прикрепляет свой кружок на одну сторону доски и поясняет свой выбор.

При выполнении этого задания ученики вспоминают все, что им известно о роли Солнца в нашей жизни.

После этого учитель дополняет ответы детей, рассказывая о положительном и отрицательном воздействии Солнца на жизнь и здоровье людей.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Отмечается, что Солнце — главный источник света и тепла на Земле. Солнечный свет освещает с утра до вечера нашу планету. Благодаря солнечному свету мы видим окружающий мир. Солнце не только светит, но и греет. Оно согревает земную поверхность и водные пространства. Благодаря солнечному свету растут растения, давая пищу животным и человеку. Солнечный свет влияет на здоровье людей. Солнечные лучи рождают бодрость, активность, хорошее настроение. Под влиянием солнечных лучей повышаются защитные силы организма, работоспособность людей. Под действием ультрафиолетовых лучей в организме человека образуется *витамин Д*, недостаток которого приводит к заболеванию детей рахитом.

Но в то же время Солнце может быть и недругом. Избыток солнечного излучения может сократить защитные силы организма, привести к различным заболеваниям органов зрения, кожи, в том числе вызвать образование опухолей. Длительное пребывание в жаркую безветренную погоду под прямыми лучами Солнца может привести к тепловому удару в результате перегрева всего организма или солнечному, если солнечные лучи попадают на неприкрытую голову.

Задание "Мозаика"

Дети делятся на три группы.

Первая **г**руппа читает текст о признаках солнечного и теплового удара.

Текст для I группы

При *тепловом ударе* у пострадавшего отмечается потливость, покраснение кожи, учащенное дыхание и сердцебиение, сильная жажда. Затем появляется головная боль, сухость в ротовой и носовой полостях, может появиться рвота.

Первые признаки *солнечного удара* проявляются уже через несколько часов после пребывания на солнце с неприкрытой головой. Появляется головная боль, раздражительность, повышается температура тела, может быть даже рвота.

Вторая группа читает текст о первой помощи пострадавшим.

Текст для II группы

При первых признаках *теплового удара* пострадавшего надо отнести в тень деревьев или в прохладное помещение, придать горизонтальное положение, дать выпить воды, умыть лицо прохладной водой.

В случае *солнечного удара* пострадавшего следует поместить в защищенное от солнца места или хорошо проветриваемое помещение. Освободить от верхней одежды, раздеть до пояса. Смачивать лицо холодной водой, на голову и шею положить пузырь со льдом. Давать обильное питье.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Третья группа читает текст о мерах профилактики.

Текст для III группы

Чтобы уберечь себя от беды, надо соблюдать правила пребывания на солнце.

Принимать солнечные ванны спустя 1,5 – 2 часа после еды и не натощак. Лучше всего с 9 до11 часов и с 16 до18 часов.

Для детей время загорания ограничивается 3 – 5 минутами в день с последующим увеличением продолжительности до 25 минут. Отправляясь в жаркую погоду на прогулку, не надо забывать о светлой панаме или косынке. В летнее время использовать солнечные очки.

По сигналу учителя дети рассчитываются по номерам 1, 2, 3. Затем объединяются в новые группы (первые номера в одну группу, вторые номера во вторую группу и т. д.). В новых "мозаичных" группах дети рассказывают друг другу о том, что узнали.

Учитель на занятии может также использовать рассказ Сергея Афонькина.

Так кто же Солнце — друг или враг?

Всё зависит от тебя самого!

Огонь костра греет усталых путников, сушит промокшую одежду, с его помощью можно приготовить еду в котелке. Но тот же огонь может погубить целый лес! Надо уметь обращаться с огнём!

Солнце — это огонь небесный. Он может не только обласкать, но и укусить, обжечь, спалить! С ним надо быть настороже!

Кожа темнеет на солнце, словно старается накинуть на тебя плащ, защищающий тело от жалящих лучей. Если с утра до вечера бегать нагишом по пляжу, твоя кожа не справится со своей работой. Помоги ей — закрой плечи, руки, спину, пока они не привыкли к солнечному огню. Иначе коже не спасти тебя от ожогов.

Облупленный нос — ещё не самый большой урон. Солнце может спутать твои мысли и даже лишить на время сознания. Не зря же люди в жарких странах закрывают от солнца голову:

- *так поступают восточные купцы и шейхи, надевая чалму;*
- *так ходили знаменитые путешественники в Индии и Африке, прикрывая голову пробковыми шлемами;*
- *так плавали по морям пираты, повязывая голову платками;*
- *так делают ковбои, натягивая сомбреро и шляпы…*

Почему бы тебе не взять с них пример?

Продолжая занятие, учитель рассказывает, что не всегда солнце дарит нам ласковое тепло. Иногда по неизвестной причине поверхность нашего светила покрывается темными пятнами. Из его недр бьют огненные фонтаны. Учёные называют их "протуберанцами".

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Солнечные взрывы выбрасывают часть газов в космос. Крохотные радиоактивные частицы, которые посылает Солнце, сталкиваются с частицами атмосферы , окружающей нашу планету . Происходят электромагнитныебури. Они доставляютмного хлопот морякам, радистам, летчикам — в эфире ничего не слышно, только шум, навигационные приборы перестают нормально работать. У многих людей наблюдается ухудшение здоровья. Даже по радио и телевидению передают: “такие-то дни месяца будут неблагоприятными”.

Почему люди так остро реагируют на “капризы” Солнца? Ученые полагают, что, вероятно, все мы – “дети” Солнца. Много-много лет назад наше светило и все планеты вокруг него образовались из одного пылевого облака. Частицы этого облака стали частичками и каждого из нас. Наверное , они время от времени и “ бунтуют ” вместе со своей прапраматерью. Но это только догадки. Ученым ещё предстоит найти объяснение этому явлению.

Заканчивает занятие задание “Круг”.

Задание “Круг”

Дети передаютпо кругужелтыйшарикипродолжаютфразу: “Спасибо, солнце, за то, что…”, а затем — другую фразу: “ Осторожно! Солнце может…”.

Занятие 2. Тайны земного излучения

Цели: сформировать знания о строении атомов, о радиоактивном излучении, его влиянии на организм человека, об источниках земного излучения, а также о правилах поведения, способствующих сохранению здоровья.

Оборудование: карточки для деления на группы, карандаши или фломастеры, листы бумаги, красный пластилин.

Ход занятия

Чтобы узнать тему этого занятия, учащимся придется выполнить *задание “Ключ”*. На классной доске учитель открывает запись:

	1	2	3	4	5	6	7
А	Г	И	Т	И	Л	Н	З
Б	У	Е	Ч	Н	Я	А	О
В	Й	О	Н	З	М	Е	Ы

Ключ: А3, Б6, В1, Б4, В7, А7, Б2, В5, А6, Б7, А1, В2, А2, В2, А5, Б2, Б3, В6, В3, А4, Б5.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Учитель записывает на классной доске тему: “Тайны земного излучения”. Затем он подчеркивает два слова “тайны” и “излучения”, говорит, что речь пойдет о радиоактивном излучении. И первая тайна, которая раскроется детям — это где и как возникает радиоактивное излучение.

Рассказ учителя

Задумывались ли вы, ребята, из чего состоит мир вокруг нас? Ученые узнали, что все на свете (облака, горы, дома, машины, продукты питания, книги, все живые существа, в том числе и мы с вами) состоит из крошечных частиц. Их называют *атомами*. Атомы такие маленькие, что их нельзя разглядеть даже в микроскоп — прибор, который увеличивает все в сто тысяч раз. Для того чтобы увидеть атом, его надо увеличить в миллионы раз. Или лучше сказать так: чтобы атомы были видны, надо собрать в одном месте миллионы атомов. Вот до чего малы атомы!

У учащихся может возникнуть вопрос: если атомы так малы, что увидеть их трудно, откуда люди узнали об их существовании? Учитель отвечает, что ученые открыли атомы после многолетних исследований самых разных явлений природы с помощью специальных приборов. Но чем больше человек узнает, тем больше новых вопросов у него тут же появляется.

Позже люди стали задумываться над тем, а что находится внутри атомов?

Ответить на этот вопрос нелегко, ведь к атому не подберешься с отверткой, не разберешь его, как будильник, на винтики и колесики, не разглядишь его части даже через самое сильное увеличительное стекло.

И все же, в результате опытов, ученые разгадали и эту тайну. Оказалось, что атомы состоят из ещё более мелких частиц, которые называются *протон*, *нейтрон* и *электрон* (эти слова учитель записывает на доске). Запомнить названия частиц поможет считалочка:

Протон, нейтрон и электрон
Считали целый день ворон.
Считали, считали и вдруг перестали,
А всё потому, что ужасно устали…
Ведь они у нас совсем маленькие!

(*М. Контантиновский*)

Учитель продолжает:

Эти частицы до того маленькие, что и представить трудно. Возьмите в руки кусочки красного пластилина и вылепите три маленьких-маленьких шарика. Посмотрите на них и вообразите, что это протон, нейтрон и электрон вдруг увеличились и стали такого размера, как эти шарики. Так вот, если бы котенок вырос во столько раз, то он стал бы таким огромным, что не смог бы уместиться между Солнцем и Землей. Солнце этому котенку

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

показалось бы не больше горошины. Вот какие протоны, нейтроны и электроны маленькие.

Как же их увидели ученые? Они провели много опытов, построили хитрые приборы, которые способны фотографировать движение этих крошечных частиц. Сами частицы на фотографиях, конечно, не видны, но зато видны их следы.

Как же устроен атом? Середину атома занимает *ядро*, состоящее из более тяжелых частиц — *протонов* и *нейтронов*. А вокруг ядра кружатся более легкие частицы — электроны. Протон и нейтрон во столько раз тяжелее электрона, во сколько раз носорог тяжелее котенка. Неудивительно, что тяжелые протоны и нейтроны "сидят" в центре атома, а легкие и непоседливые электроны кружатся вокруг них, как космические спутники летают вокруг нашей Земли.

Протоны и нейтроны образуют ядро атома.

Количество протонов, нейтронов и электронов в разных видах атомов разное. Например, атом знакомого всем алюминия имеет в ядре 13 протонов и 14 нейтронов, а вокруг ядра движутся 13 электронов. При этом в каждом атоме число протонов и электронов одинаково.

Ядра некоторых видов атомов могут самопроизвольно превращаться в ядра других видов атомов. При этом из атомного ядра вылетают частицы. Вылетевшие частицы движутся с огромной скоростью и обладают большой энергией. Поэтому всякое самопроизвольное превращение атомных ядер сопровождается выделением энергии. В этом случае говорят, что превращение атомных ядер сопровождается *радиоактивным излучением* или *радиацией*.

Такие самопроизвольно распадающиеся атомы называют радиоактивными нуклидами или радионуклидами. Когда выделяемое радионуклидом излучение проникает внутрь живого организма, то может быть нарушена работа органов человека и нанесен вред его здоровью.

Радиоактивные атомы (радионуклиды) есть на Солнце и других звездах, входят в состав Земли с самого её рождения. Они находятся и в глубине Земли, и в ее верхнем слое — почве, а также в атмосферном воздухе, воде, в полезных ископаемых.

Из почвы радионуклиды через корни поступают в растения и накапливаются в них. Особенно много радионуклидов накапливают грибы.

Вместе с растительной пищей радионуклиды могут попадать в организм животных, которых поедают другие животные. Затем радионуклиды с продуктами питания растительного и животного происхождения могут попасть в организм человека и облучать его изнутри.

В состав строительных материалов, из которых построены наши дома, тоже входят природные радионуклиды. Поэтому на человека, который находится внутри помещения, действует их излучение. Установлено, что

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

в домах из древесины и кирпича излучение обычно слабее, чем в домах из бетона или силикатных блоков.

В помещении опасным для здоровья человека может стать радиоактивный газ *радон*, если в значительном количестве он попадет в организм.

Радон содержится в почве, в полезных ископаемых, в воздухе. Радон может быть и в воде, которую мы пьем. Особенно много радона накапливается в закрытых непроветриваемых помещениях. Он может присутствовать и в ванной комнате и представлять опасность, когда пары воды вместе с радоном попадают при дыхании внутрь нашего организма.

Радон содержится и в природном газе. Поэтому, когда мы пользуемся газовыми плитами в закрытом помещении, его содержание в воздухе может возрастать.

! *Уменьшить содержание радона в квартире совсем просто — для этого нужно чаще проветривать помещения.*

Задание "Правила на всю жизнь"

Учитель предлагает учащимся разделиться на 4 – 5 групп и составить в каждой группе "Правила безопасного поведения" с учетом знаний о земном излучении.

Например:

- Ягоды и грибы можно собирать только в местности, где нет запрещающих знаков радиационной опасности.
- Дома лучше строить из древесины и кирпича.
- Следует хорошо проветривать свой дом, особенно, ванную комнату и кухню.

Задание "Мы рисуем"

Учитель предлагает сделать рисунки по своему выбору о том, что узнали ребята на занятии. Дети могут изобразить атом, распад неустойчивого (радиоактивного атома), источники земного излучения, сделать знаки к "Правилам на всю жизнь". По окончании работы организуется выставка детских рисунков.

Занятие 3. Что надо знать об искусственных источниках излучения?

Цели: углубить знания учащихся об искусственных источниках излучения; сформировать навыки безопасного поведения в условиях воздействия на людей различных видов излучения.

Оборудование: карточки для деления учащихся на группы, карточки с заданиями "Выбери и объясни", карточки для игры "Молчанка", листы бумаги, карандаши или фломастеры.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Ход занятия

Вначале учитель напоминает, что на прошлом занятии речь шла о природных источниках излучения. Он предлагает задание, которое поможет проверить знания учащихся по этой теме. Класс делится на три группы.

Задание "Выбери и объясни"

Первая группа получает карточку с вопросом:

- Из каких материалов Вы предпочли бы построить стены своего дома: из древесины, красного или силикатного кирпича, бетона или строительных блоков? Почему?

Ответ: для строительства дома предпочтительнее древесина. Бетон и красный кирпич обычно содержат больше природных радионуклидов.

Вторая группа готовит ответ на вопрос:

- Почему и с какой частотой надо проветривать помещения?

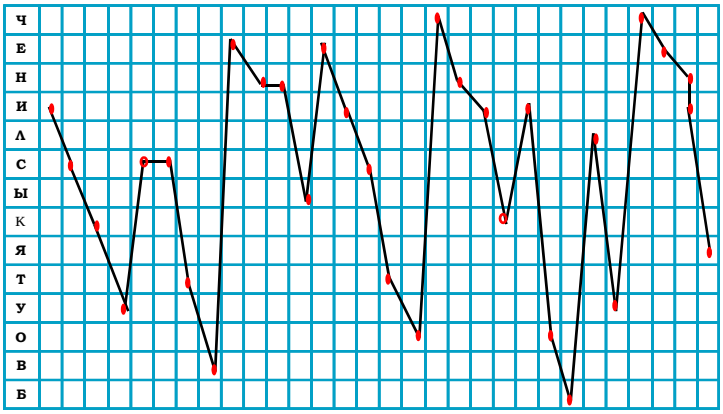
Ответ: В воздухе помещений могут присутствовать радиоактивные частицы, которые в процессе дыхания попадают в организм и могут представлять опасность для здоровья. Кроме того, когда человек дышит, выделяет углекислый газ, избыточное количество которого также вредно для здоровья. Потому помещения надо проветривать, лучше всего по 10 минут каждый час, при этом рекомендуется сквозное проветривание.

Третья группа обсуждает ответ на вопрос:

- Современные хозяйки обязательно имеют на кухне вытяжку или воздухоочиститель. А зачем? Что лучше?

Ответ: В воздухе на кухне могут скапливаться вредные вещества, в том числе и радиоактивные. Воздухоочиститель поглощает вредные вещества, очищает воздух. Вытяжка обеспечивает только вентиляцию.

После заслушивания ответов, учитель предлагает расшифровать запись на доске и определить, о чем пойдет речь на занятии.



Ответ: ***Искусственные источники облучения***.

Учитель говорит о том, что в повседневной жизни мы встречаемся с различными видами излучений, в том числе и радиоактивными (радиацией).

Это космическая радиация (например, излучение Солнца), радиация земной коры. Эти виды излучений называют естественными или природными, потому что их источники существуют в природе независимо от человека и не созданы его руками. Помимо природных существуют еще и искусственные источники излучений, которые в отличие от природных источников созданы человеком.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Задание "Молчанка"

Класс делится на группы.

Одному представителю каждой группы предлагается вытянуть листок с названием искусственного источника излучения и без слов, мимикой и жестами, продемонстрировать его так, чтобы члены других групп догадались, о чем идет речь. В качестве примеров можно использовать предметы бытовой техники: радиотелефон, телевизор, компьютер, микроволновая печь, радиоприемник, телевизор.

Далее учитель сообщает, что не только эти приборы, но и многие другие предметы, без которых невозможна жизнь современного человека (ксерокс, пульт дистанционного управления, пылесос, магнитофон, радио, радары, которые контролируют посадку и взлет самолетов, фотоэлементы в метро и т. д.) являются *искусственными источниками излучения*. Чтобы не навредить своему здоровью, люди должны соблюдать правила пользования бытовой техникой и другими приборами, которые являются источниками излучения, например, рентгеновскими аппаратами, которые широко используются в медицине.

Источники излучения могут находиться и внутри организма. Радионуклиды могут попадать в организм человека вместе с продуктами питания: хлебом, мясом, картофелем, грибами, молочными продуктами и с воздухом при дыхании. Часть радионуклидов выводятся из организма человека через пищеварительную систему, но оставшаяся часть этих вредных "невидимок" накапливается в разных органах тела. Например, радиоактивный йод вместе с нерадиоактивным накапливается в щитовидной железе, радиоактивный цезий — в мышцах, стронций — в костях, плутоний, если он попадает в организм с радиоактивными частичками, содержащимися в воздухе, — в лёгких. Поэтому важно знать и соблюдать меры, направленные на уменьшение поступления радионуклидов в организм вместе с продуктами питания.

Игра "Наше мнение"

Класс делится на три группы.

Первая группа готовит ответ на вопросы: "Как можно защитить воздух от загрязнения? Что делается в вашем городе (селе, поселке) для очистки и охраны воздуха? Какую помощь можете оказать в этом вы?"

Вторая группа обсуждает вопросы: "Какие правила поведения надо соблюдать, чтобы сохранить воду чистой? Какова ваша личная помощь в деле охраны воды?"

Третья группа совещается по вопросу: "Какие правила поведения надо соблюдать, чтобы уменьшить поступление в организм человека радионуклидов и других вредных веществ вместе с продуктами питания?"

В ходе последующей беседы учитель акцентирует внимание детей на том, что на фабриках и заводах стали делать специальные ловушки для

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

вредных газов. Вместо чадящих паровозов составы мчат электровозы и тепловозы. Грузовой транспорт движется по специальным дорогам в объезд городов и других населенных пунктов. На шумных перекрестках, где скапливается много машин, строят подземные переходы. В городах и вокруг них создают зеленые зоны парков, садов, лесов. Отмечается строительство очистных сооружений на предприятиях и заводах. На фабриках и заводах отработанную воду очищают и вновь используют в производстве, таким образом, сточные воды не загрязняют водоемы.

Учитель говорит о необходимости экономно расходовать воду, запрещать стирку белья, мытье автомобилей, велосипедов на берегу водоемов.

Чтобы уменьшить поступление радионуклидов в организм человека вместе с пищей, запрещается собирать грибы, ягоды на загрязненных территориях. Продукты неизвестного происхождения нужно обязательно подвергать радиометрическому контролю.

Существует много приемов, с помощью которых можно снижать содержание радионуклидов в пищевых продуктах. Например, такое: если содержание радионуклидов в мясе в 2-3 раза превышает норму, мясо в течение 2 часов рекомендуется вымачивать в воде, а затем после 10-минутного кипячения воду сливать.

Чтобы способствовать выведению радионуклидов из организма человека, полезно пить больше жидкости (фруктовых соков, киселей, компотов). Особенно полезен зеленый чай.

Учитель может рассказать , что полезно также употребление морепродуктов и пищи, содержащей много белка (мясо, молочные продукты, бобовые культуры).

В конце занятия можно предложить учащимся сделать рисунки на темы: “Берегите воду”, “Искусственные источники облучения”, “Радиация, питание и здоровье”, “Сохраним воду чистой!”, а затем организовать их выставку.

Занятие 4. Компьютер и твое здоровье

Цели: закрепить знания учащихся о природных и искусственных источниках облучения человека, о роли компьютеров в жизни современного человека, о правилах работы на компьютере; продолжить формирование навыков здорового образа жизни.

Оборудование: карточки для игры “Шифровальщики”, листы бумаги, ручки, компьютеры.

Ход занятия

В начале занятия предлагается вспомнить материал предыдущих бесед о природных и искусственных источниках излучения.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Задание "Эстафета"

Класс делится на две команды. На доске начерчены две таблицы из двух граф в каждой. Слева в графе обеих таблиц надпись: "Природные источники облучения", справа в графах обеих таблиц — "Искусственные источники облучения".

По сигналу учителя члены команд по одному (как в спортивной эстафете) подбегают к таблице и вписывают по одному слову в ту или иную графу. Побеждает команда, которая быстрее и правильнее справится с заданием.

Возможные варианты ответов: природные источники излучения — Солнце, другие звезды, планеты, почва, вода, воздух. Искусственные источники излучения — телевизор, рентгеновский аппарат, микроволновая печь, компьютер, радиотелефон, прибор для контроля багажа в аэропорту и др.

Задание "Дуэль"

Члены команд совещаются в течение 3 – 4 минут, придумывают и записывают для соперников предложения, которые начинаются со слов "Правда ли, что…". Одна команда готовит их по вопросам космической и земной радиации, другая — по источникам искусственной радиации. Среди предложений могут быть как верные, так и неверные ("ловушки").

Когда работа в группах заканчивается, одна из команд читает свои предложения, а члены другой команды должны дружно хлопать в ладоши, если согласны со сказанным, или стоять без шума и движений, если не согласны.

Затем команды соперников меняются ролями. Выигрывает та команда, которая даст больше верных ответов и допустит меньше ошибок. Учитель контролирует ход игры и ведет подсчет ответов на классной доске.

К примеру, *первая команда* может спросить: "Правда ли, что

- Солнце излучает радиоактивные частицы? (*Да*)
- наша планета Земля радиоактивных частиц не излучает? (*Нет*)
- солнечный свет полезен для здоровья? (*Да*)
- избыток солнечного излучения наносит здоровью вред? (*Да*).

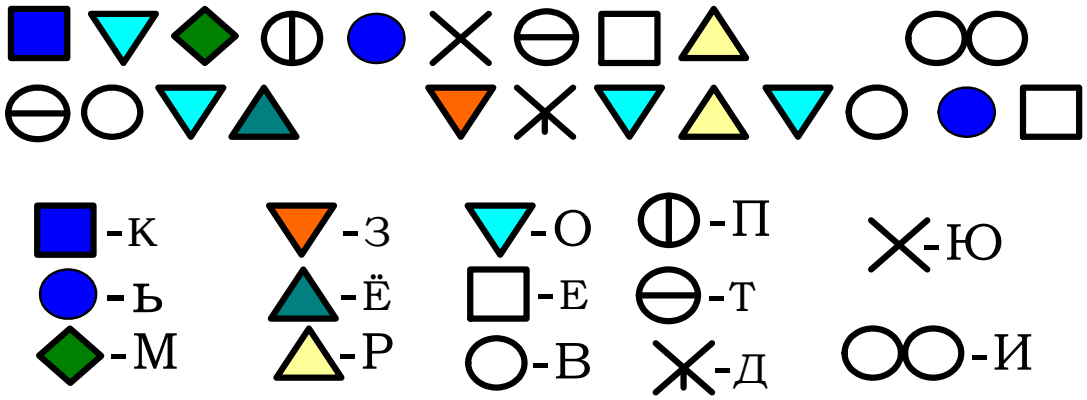
Вторая команда может спросить: "Правда ли, что…

- радионуклиды могут попадать в организм человека с пищей (грибами, ягодами, молоком)? (*Да*).
- человек постоянно подвергается воздействию излучения, исходящего от приборов бытовой техники? (*Да*).
- длительный просмотр телепередач полезен для здоровья человека? (*Нет*).

Задание "Шифровальщики"

Командам предлагается следующая запись:

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



Расшифровав её, дети смогут прочитать тему занятия: “*Компьютер и твоё здоровье*”.

Проводится беседа о значении компьютеров в жизни современного человека. По её результатам дети выполняют *задание “Плюс и минус”*.

Задание “Плюс и минус”

Классная доска делится на две части. В одну записываются положительные стороны использования компьютера, в другую — отрицательные (негативные).

Так в ходе беседы отмечается, что компьютер помогает человеку быстро находить нужную информацию, хранить информацию. Компьютерные игры — источник развлечения для детей. С помощью компьютера можно быстро отправить письма в разные части света и получить на них ответы. Можно переслать денежные переводы, собирать много информации в различных сферах деятельности человека. С помощью компьютера можно создавать макеты книг, календарей, открыток, проводить различные расчеты.

Негативное влияние компьютеров, как и многих других приборов, в том, что он является источником облучения человека. При длительном пребывании у работающего компьютера человек может получить дозу облучения, превышающую допустимую дневную норму, что плохо скажется на его здоровье. Работа на компьютере представляет собой значительную нагрузку на нервную систему, органы зрения человека.

Дети работают на компьютере или играют в видео игры после учебных занятий в школе. А это способствует дополнительному нарастанию утомления, накопившегося за день, потому что нагрузка приходится на те же участки головного мозга, что были задействованы при работе в школе.

Иногда дети играют долго по вечерам и отнимают у себя драгоценное время отдыха. Это тоже ухудшает их самочувствие и сказывается на учебе. Чрезмерное увлечение компьютерными играми негативно влияет на психику ребенка, стимулирует развитие негативных черт характера: агрессивность, подозрительность. Дети, страдающие от болезненного привыкания к компьютерным играм, нуждаются в помощи.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Подводя итог беседы, учитель делает вывод о важности компьютера в жизни современных людей. Знания и умения пользоваться компьютером в будущем будут необходимыми в жизни каждого человека. Но чтобы сохранить здоровье , люди должны научиться соблюдать правила безопасного поведения при работе с компьютером.

Если есть возможность , то следующую часть занятия советуем провести в компьютерном классе школы, где учитель или старшеклассники расскажут о правилах, которые надо соблюдать при работе с компьютером.

Основные правила в ходе беседы или после неё можно выписать на классной доске.

- Не садись за работу на компьютере сразу после школы, сначала отдохни.
- Установи предел времени для работы на компьютере или занятия компьютерными играми - не более 30-45 минут в день.
- Делай перерыв для усталых глаз и мышц через каждые 15 минут.
- В перерывах встань, походи 1-2 минуты, посмотри вдаль.
- Садись перед экраном монитора так, чтобы линия взгляда совпадала с центром экрана. Расстояние от глаз до экрана должно быть 50-70 сантиметров.
- Не допускай, чтобы свет от солнца попадал на экран. Если нужно, закрой окна шторами или используй жалюзи.
- При работе с черно-белыми мониторами работу с текстами выполняй с использованием тёмных знаков на белом фоне. При цветном мониторе не используй более семи цветов.
- Если ты носишь очки, надевай их при работе с компьютером.
- После игры или работы на компьютере проветри комнату, сделай несколько физических упражнений.
- Не играй в компьютерные игры ежедневно, переключайся на чтение книг, прогулки на свежем воздухе, занятия спортом или танцами.

Задание "Снежный шар"

Это задание поможет подвести итог занятия. Участвуют две команды. Каждый ученик придумывает одно предложение по теме "*Компьютер и твое здоровье*".

Затем слово предоставляется первой команде.

Первый ученик говорит свое предложение.

Второй ученик должен повторить предложение первого и добавить свое.

Третий ученик говорит предложения первых двух и тоже добавляет свое предложение и т. д.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Количество предложений увеличивается , как снежный ком, и повторить их без ошибок непросто. Когда школьник ошибается, слово передается команде-сопернице. Выигрывает команда, которая успешнее справилась с заданием. А учитель в конце обобщает ответы учащихся и подводит итог занятия.

12.4. *Четвертый класс*

Занятие 1. Как вредные вещества могут поступать в организм человека

Цели : обобщить и углубить знания учащихся о веществах , отрицательно воздействующих на здоровье человека , путях их проникновения в организм ; сформировать навыки безопасной жизнедеятельности; способствовать развитию коммуникативных качеств личности школьников.

Оборудование: разноцветные карточки для деления учащихся на группы (желтого, белого, зеленого, синего цвета), конверты с карточками, на которых написаны названия веществ, листы бумаги и карандаши, большое количество красных карточек.

Ход занятия

В начале учитель сообщает тему занятия и записывает ее на классной доске. Затем педагог подчёркивает слова “вредных веществ” и предлагает уточнить, какие вещества являются вредными.

Для дальнейшей работы на занятии ученики с помощью разноцветных карточек делятся на четыре группы.

Задание “Полезно — вредно”

Каждая группа получает конверт с карточками, на которых написаны названия веществ. Ученики должны разделить карточки на две группы. В одну группу надо объединить вещества , которое приносят пользу здоровью, а другую — вещества, которые вредны для здоровья.

Текст на карточках:

чистая вода, выхлопные газы автомобилей, витамины, чистый воздух, табачный дым, нитраты, пищевые добавки, алкоголь, радиоактивные вещества, выбросы промышленных предприятий, лаки и краски.

Заслушиваются ответы групп. Правильно ответят школьники, которые из перечисленного списка к полезным для здоровья веществам отнесут *чистый воздух, чистую воду, витамины.* Все остальные перечисленные вещества приносят вред здоровью.

Следующая часть занятия должна убедить учащихся, что большинство перечисленных на карточках веществ действительно вредны для организма.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Задание "Мозговой штурм"

Учитель размещает на доске четыре карточки со словосочетаниями: "*выхлопные газы автомобилей*", "*выбросы промышленных предприятий*", "*лаки и краски*", "*табачный дым*", "*радиоактивные вещества*", "*нитраты*".

Группам предлагается посовещаться и высказать своё мнение, почему эти вещества вредны для здоровья человека. (Каждой группе предлагается название одного из веществ.)

Перед началом работы учитель напоминает ученикам

Правила "мозгового штурма":

- Предлагать одноклассникам любые варианты ответов, которые приходят в голову, какими бы забавными и отвлеченными они не были.
- Не комментировать и не критиковать ни один из вариантов ответов товарищей.
- Предлагать как можно больше вариантов ответов.
- Каждый из членов группы должен внести свой вклад в обсуждение вопроса.
- Записывать каждый из предложенных вариантов ответов.

По сигналу учителя обсуждение в группах заканчивается. В ходе последующей беседы заслушиваются ответы школьников, обобщаются и уточняются знания учащихся, полученные на предыдущих занятиях по радиационной безопасности, на уроках курса "Человек и мир", занятиях курса по выбору "Здоровый образ жизни".

Внимание учеников следует обратить на следующие важные моменты: дыхание очень важно для человека. Без воздуха человек может прожить всего несколько минут. Но для сохранения здоровья важно дышать свежим воздухом. Наши органы дыхания умеют очищать вдыхаемый воздух от пыли, но не могут оградить организм от содержащихся в воздухе всех вредных веществ. Выхлопные газы автомобилей , газы , выбрасываемые в воздух промышленными предприятиями, радиоактивные вещества, табачный дым, частицы лаков и красок вредят здоровью. Частицы этих веществ оседают на стенках легочных пузырьков, накапливаются в них, мешают поступлению кислорода в кровь.

Когда на доске помещается карточка со словами "радиоактивные вещества", проводится беседа по вопросам:

- Что это за вещества?
- Почему они опасны для здоровья?
- Где содержатся эти вещества?
- Как радиоактивные вещества попадают в организм человека?
- Как уберечься от попадания радиоактивных веществ в оргнизм человека?

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

В ходе беседы ученики вспоминают об источниках естественного (космическое, земное) и искусственного излучения (излучение бытовых приборов, излучение атомного реактора). Учитель рассказывает о последствиях аварии на Чернобыльской атомной электростанции, в результате которой произошло загрязнение территории Беларуси радиоактивными веществами. С воздушными потоками радионуклиды распространились по значительной территории, попали в почву и воду. Из почвы вместе с питательными веществами и водой радионуклиды попали в растения и грибы.

Загрязненные растения поедают животные. Вместе с овощами и фруктами, мясом, молоком, яйцами радиоактивные вещества могут попасть в организм человека. Иными словами радионуклиды могут попасть в организм человека с продуктами питания.

Известно, что некоторая часть радиоактивных веществ, поступающая в организм человека, выводится через пищеварительную систему. Оставшаяся часть накапливается в различных органах, наносит вред здоровью, ослабляет организм человека и вызывает болезни.

В итоговой беседе учитель просит учащихся подумать над вопросом, как может облучаться организм человека? В ходе обсуждения на классной доске появляется таблица. В центре нарисован силуэт человека. Слева написаны слова "внутреннее облучение". Справа слова "внешнее облучение". Под словами пишутся те виды облучения, которые перечисляют дети. Учитель помогает им сформулировать ответ.

Внутреннее облучение	**Внешнее облучение**
Радионуклиды, поступившие в организм с пищей	*Космическое излучение*
Радионуклиды, поступившие в организм с воздухом при дыхании	*Излучение радионуклидов Земли*
Радионуклиды, проникшие в организм через кожу	*Излучение приборов*

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Занятие 2. Как защитить свой организм от поступления вредных веществ

Цели: закрепить знания учащихся о путях поступления вредных веществ в организм человека; сформировать навыки по защите организма от вредных веществ, по уменьшению и предотвращению поступления радионуклидов в организм; воспитать у детей отрицательное отношение к употреблению никотина и алкоголя.

Оборудование: цветные карточки для деления учащихся на группы, полоски бумаги, фломастеры, карточки с описанием ситуаций для игры "Как ты поступишь?", карточки со словами – подсказками, белые халаты и шапочки, набор продуктов для игры "Магазин", листы бумаги для рисования плакатов, скотч.

Ход занятия

Задание "Круг здоровья"

Учитель чертит на классной доске круг и делит его на две части. В одной части пишет слово "Полезно", а в другой — "Вредно".

Ученики делятся на две команды. Одна команда вписывает в круг слова, отражающие то, как можно сохранить и укрепить здоровье, а другая — перечисляет всё, что вредно для здоровья.

По сигналу учителя групповая работа заканчивается, обсуждаются результаты выполнения задания. Ещё раз отмечается, что полезно и что вредно для здоровья. Если необходимо, то учитель сам дополняет "Круг здоровья".

Затем педагог выделяет названия вредных для здоровья веществ (например, "алкоголь", "табачный дым", "радиоактивные вещества", нитраты"), а затем спрашивает, что объединяет эти слова (они обозначают вредные вещества).

Далее детям задаются вопросы:

- Какие ещё вредные вещества, отрицательно влияющие на организм человека, вы знаете?
- Какой вред они наносят организму человека? Как эти вещества попадают в организм людей?

Следующая часть занятия проводится по методике "Обучение сверстников".

Ученики делятся на четыре группы в соответствии с цветом выбранных карточек. На обратной стороне карточек написаны буквы. Ученики раскладывают карточки на столах так, чтобы можно было прочитать пословицы.

У *первой группы* получается пословица "Лучше дышать свежим воздухом, чем пить лекарство". *Вторая группа* читает пословицу "Курить — здоровью вредить", а *третья группа* — "Человеку вредит алкоголь, как

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

шерсти моль". *Четвёртая группа* из букв составляет пословицу "Не всякое лекарство на пользу, как и не всякая пища к здоровью".

Перед каждой группой ставится цель — выполнить задание, предложенное учителем, а затем научить одноклассников тому, что узнали сами. В соответствии с текстом пословиц перед учениками ставятся разные задачи.

Без помощи учителя школьникам не обойтись. Поэтому педагог должен помочь работе групп: проинструктировать их, подготовить вопросы и задания в устной или письменной форме, необходимые таблицы, схемы, тексты для инсценировок.

Первая группа

Члены группы будут обсуждать, как можно защитить себя от вредных веществ, которые поступают в организм вместе с загрязненным воздухом. В результате обсуждения дети должны составить "Правила на всю жизнь", записать эти правила на длинных полосках бумаги. А затем познакомить с этими правилами одноклассников.

Вторая группа

Члены группы будут обсуждать, как можно защитить свой организм от табачного дыма, если около тебя взрослые люди курят. В результате обсуждения ученики должны представить одноклассникам "Наши советы".

Третья группа

Члены этой группы обсуждают, как можно защитить свой организм от алкоголя. Дети читают на подготовленных учителем карточках текст задания "Как ты поступишь?". Ученики обсуждают возможные варианты поведения в той или иной ситуации. Затем они озвучивают ситуации классу и предлагают свои варианты ответов на вопросы.

Для обсуждения можно предложить следующие ситуации:

- У вас дома гости. За столом тебе предлагают выпить немного шампанского или вина. Что ты сделаешь?
- Тебя пригласили на день рождения друга. За столом сидят одни дети. В тайне от взрослых ребята хотят попробовать какой-то алкогольный напиток. Как ты убедишь их, что это делать не следует?
- Старшие ребята предлагают тебе выпить алкогольный напиток, чтобы доказать, что ты не маленький. Как ты откажешься?

В ходе выступления этой группы перед одноклассниками внимание детей важно акцентировать на различных способах отказа от спиртного. Лучшие варианты ответов записываются на классной доске.

Учитель может также предложить учащимся класса после выступления третьей группы предложить свои варианты отказа от алкогольных напитков.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Четвертая группа

Члены четвёртой группы обсуждают, как можно защитить свой организм от попадания вредных веществ с пищей. Ученики получают карточки со словами-подсказками: "мясо", "рыба", "грибы", "ягоды", "молоко", "овощи", "фрукты", "яйца". От имени врачей ученики готовят устный журнал "*Советы врачей населению*".

Примечание. Особое внимание учащихся надо обратить на то, как уменьшить поступление радионуклидов в организм человека.

При необходимости учитель дополняет и уточняет ответы детей, используя следующую информацию:

- *Продукты сомнительного происхождения следует подвергать радиометрическому контролю.*
- *Уменьшить в 2-3 раза содержание радионуклидов в мясе можно, если в течение двух часов его вымачивать в воде, а затем после десятиминутного кипячения отвар слить. Доварить мясо в чистой воде.*
- *Нельзя употреблять в пищу рыбу неизвестного происхождения. Ее следует проверить в пункте радиометрического контроля. Можно уменьшить содержание радионуклидов в рыбе (от 2 до десяти раз), если отварить, сливая отвар после 10-минутного кипячения. При употреблении в пищу яиц надо учитывать, что радионуклиды накапливаются главным образом в скорлупе. При варке яиц радионуклиды могут проникать в белок. Поэтому из яиц лучше готовить яичницу, омлет, кремы.*
- *Грибы и ягоды на загрязненной радионуклидами территории собирать запрещается.*
- *Ягоды и фрукты перед употреблением следует тщательно вымыть проточной водой, потому что на них может оседать радиоактивная пыль.*
- *Корнеплоды (морковь, свёклу) и клубни картофеля необходимо тщательно мыть проточной водой, срезать поверхностный слой кожуры.*

После выступления четвертой группы для всех учеников класса можно провести игру "Магазин".

Игра "Магазин"

Ученики выбирают по одному представителю от каждой группы. Эти дети подходят к столу учителя и выбирают продукты, которые им нравятся. На столе представлен большой выбор продуктов питания и напитков (чипсы, шоколад, , газированная вода, соки, фрукты, овощи), а также разные виды жевательной резинки. Ученики выбирают продукты, а затем в группах обсуждают, являются ли выбранные продукты полезными для здоровья.

В конце занятия учитель предлагает школьникам нарисовать плакаты на любую из следующих тем:

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- “Алкоголю — нет!”
- “Курение — враг здоровья”
- “Мы за чистый воздух!”
- “Я выбираю здоровую пищу!”

Детские работы размещаются на классной доске, школьники могут ознакомиться с рисунками одноклассников и обсудить их.

Занятие 3. Правила личной гигиены

Цели: сформировать у учащихся готовность к соблюдению правил личной гигиены и практические навыки по уходу за одеждой, обувью, жилищем, воспитывать трудолюбие.

Оборудование: полоски бумаги, листы бумаги, фломастеры, выставка средств по уходу за одеждой, обувью, жилищем, чистые тряпочки для практической работы, щетки для чистки одежды и обуви.

Ход занятия

В начале занятия учитель открывает на классной доске заранее подготовленные записи.

- Жить, здоровым, чисто, быть.
- А, быть, нарядным, думай, не думай, опрятным, быть.
- Красота, лучшая, чистота.
- Враждуют, с, болезнь, чистотой.

Учитель предлагает переставить слова так, чтобы можно было прочитать пословицы:

- Чисто жить — здоровым быть.
- Не думай быть нарядным, а думай быть опрятным.
- Чистота — лучшая красота.
- Болезнь с чистотой враждуют.

Затем учитель спрашивает: догадались ли учащиеся, о чем пойдет речь на занятии? Учитель записывает тему занятия на доске.

Обсуждается вопрос: почему для здоровья человека важно соблюдать правила личной гигиены?

В ходе беседы отмечается, что, с одной стороны, аккуратный внешний вид украшает человека, а с другой стороны, чистота важна для здоровья человека. Поясняя последний тезис, педагог просит вспомнить учащихся о том, что можно встретить в пыли и грязи. Естественно, учащиеся вспоминают, что в пыли и грязи содержатся не только микробы, которые вызывают болезни человека, но и микроскопические частицы радиоактивных веществ. Вместе с пылью и грязью эти частицы попадают на одежду, обувь, тело человека, наносят вред здоровью. В пыли, которая скапливается в жилище человека, тоже содержатся частицы радиоактивных веществ. Поэтому для сохранения здоровья нужно следить за чистотой жилых помещений.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Для дальнейшей работы учитель делит учеников на три группы (можно организовывать работу по рядам).

Задание "Кто больше?"

Учитель предлагает учащимся посовещаться в группах 3 – 4 минуты, вспомнить и написать на полосках бумаги как можно больше правил по уходу за кожей. По истечении указанного времени ученики с помощью скотча укрепляют полоски бумаги с правилами личной гигиены на классной доске. Затем обсуждаются результаты работы групп. При необходимости учитель может дополнить ответы детей.

Советуем обратить внимание на следующие правила:

– Руки следует мыть с мылом много раз в день по мере их загрязнения. Обязательно это нужно делать до и после посещения туалета, перед едой, после прогулки или игр на улице, после занятий спортом, после общения с животными.

– После работы в саду и огороде нужно вымыть участки тела, которые были открыты.
– Для удаления частиц грязи из-под ногтей и с кожи рук желательно пользоваться щеткой.
– Желательно ежедневно принимать теплый душ или ванну.

Следующая часть занятия посвящается изучению в группах правил ухода за одеждой, обувью и жилищем. На выполнение заданий группам дается 10 минут. Одна группа готовит сообщение о правилах ухода за одеждой. Вторая группа готовит сообщение о правилах по уходу за обувью. Третья – о правилах ухода за жилищем.

Примечание. Внимание учащихся следует обратить на несколько правил, которые особенно важно соблюдать на загрязненной радионуклидами территории:

- *Не посещать места, где установлен знак «Радиоактивное загрязнение!»*
- *Очищать обувь и одежду от грязи и пыли по возвращении домой с прогулки.*
- *Ежедневно в помещении проводить влажную уборку.*
- *У входа в помещение на пол стелить специальный коврик или влажную тряпку, которые периодически нужно мыть, сливая грязную воду в канализацию.*
- *Одежда должна быть всегда опрятной, чистой, удобной, красивой. Лучше всего, если она будет изготовлена из натуральных волокон и тканей: хлопка, льна, шерсти, меха. Она должна защищать кожу и организм летом от излишней жары, а зимой — от холода.*
- *Ежедневно надо менять нижнее белье.*

Затем проводится практическая работа. Учащиеся подходят к заранее подготовленной учителем выставке. Дети выбирают средства по уходу за одеждой и обувью, а также средства, необходимые для содержания дома в чистоте, рассказывают и показывают, как ими пользоваться.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

После демонстрации учитель предлагает учащимся подготовить в группах рисунки “Моя помощь в доме”. Детские работы размещаются на классной доске или на первых партах, и проводится их обсуждение в классе.

Занятие 4. Заключительное занятие “Что мы знаем и умеем”

Цели: обобщение и систематизация знаний учащихся о факторах, укрепляющих и ослабляющих здоровье, о радиационной безопасности, формирование умений безопасной жизнедеятельности в условиях неблагоприятной экологической ситуации.

Оборудование: карточки с вопросами для *Красного* и *Синего раундов*.

Ход занятия

Занятие проводится в форме игры.

Игра “Своя игра”

Игра состоит из двух раундов: Красного и Синего. Длительность раундов не более 15 минут. Между раундами может проводиться конкурс художественной самодеятельности. От каждой команды представляется один номер. Учитель заранее готовит карточки с вопросами по темам

для *Красного раунда*:

- питание,
- грибы,
- ягоды,
- искусственные источники излучения,
- режим дня;

для *Синего раунда*:

- чистота — залог здоровья,
- твое здоровье и земное излучение,
- мы — жители Вселенной,
- слагаемые здоровья,
- правила личной гигиены.

В зависимости от сложности вопросы оценивают различным количеством баллов.

Баллы за ответы в Красном раунде

Питание	Грибы	Ягоды	Искусственные источники облучения	Режим дня
10 20 30 40 50	10 20 30 40 50	10 20 30 40 50	10 20 30 40 50	10 20 30 40 50

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Баллы за ответы в Синем раунде

Чистота–залог здоровья	Твоездоровье и земное излучение	Мы – жители Вселенной	Слагаемые здоровья	Правила личной Гигиены
20	20	20	20	20
40	40	40	40	40
60	60	60	60	60
80	80	80	80	80
100	100	100	100	100

Учащиеся делятся на три команды. Каждая из команд придумывает себе название. Например, “Радионуклидики”, “Здоровяки”, “Микробики”, “Чистюльки”. Результаты команд фиксируются в таблице, нарисованной на доске ведущим. Следить за количеством баллов ведущему помогает ассистент.

Правила игры:

- Длительность раундов не более 15 минут.
- Первой выбирает вопрос команда, выигравшая жребий.
- Право ответа первой дается той команде, капитан которой первым поднял руку.
- Если команда отвечает неправильно, со счета списывается то количество баллов, которое составляет “цену” вопроса. И право ответа переходит другой команде.
- Если выпадает “Кот в мешке”, команда передает право ответа соперникам.
- Если выпадает “Вопрос-аукцион”, команда назначает любую цену за вопрос, но не ниже номинальной и не выше суммы баллов, имеющихся на счету команды.
- Если выпадает “Своя игра”, команда имеет право увеличить или уменьшить цену вопроса по своему усмотрению.
- Если выпадает “Счастливый случай”, команда получает указанную сумму баллов просто так, без ответа.
- Если выпадает “Вопрос сопернику”, команда выбирает соперника и задает ему вопрос по данной теме. Если соперник отвечает, то получает соответствующее количество баллов. Если нет, то это количество баллов получает команда, задавшая вопрос.

Побеждает в игре та команда, которая наберет больше баллов.

Вопросы и их цена в баллах

Красный раунд (*Вопросы написаны на красных карточках*)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

*Тема "**Питание**"*

- Можно ли пить сырую воду из речки? Почему?

  Ответ: Нет. В ней много вредных для организма веществ. (10 баллов)
- Можно ли есть на улице мороженое в сухую пыльную погоду?

  Ответ: Нет (20 баллов)
- Пища будет полезной, если она не будет содержать минеральных веществ.

  Ответ: Нет (30 баллов)
- «Их небольшое количество в продуктах питания, но без них организму плохо". О чём идёт речь?

  Ответ: Витамины. (40 баллов)
- Петя Иванов перед сном решил покушать. Он съел тарелку манной каши и запил стаканом молока с булочкой. "Как хорошо мне теперь будет спать на сытый желудок", — сказал Петя. Прав ли он и почему?

  Ответ: Нет. Он не прав. Перед сном нельзя наедаться. Организм не сможет полноценно ночью отдохнуть. (50 баллов)

*Тема "**Грибы**"*

- Как правильно собирать грибы на загрязненной радионуклидами территории?

  Ответ: В местах, где установлены знаки, запрещающие сбор грибов, их не следует собирать. На остальной территории можно собирать грибы, только слабо (опенок зимний, осенний и летний, зонтик пестрый, дождевик, вешенка) и средне накапливающие радионуклиды (лисичка настоящая, рядовка серая, белый гриб, подосиновик, подберезовик обыкновенный и болотный) и обязательно проверять их в пунктах радиационного контроля. (10 баллов)
- «*Кот в мешке*». *Тема: «Личная гигиена*»: Можно ли намылить руки корнем мыльнянки лекарственной?

  Ответ: Да. Этот корень хороший пенообразователь. (50 баллов)
- Что надо делать, после того как собрали грибы?

  Ответ: Провести радиометрический контроль, если грибы соответствуют норме, сварить их не позднее чем через 4 часа после сбора. (30 баллов)
- Все ли съедобные грибы можно собирать на загрязненной радионуклидами территории?

  Ответ: В местах, где установлены знаки, запрещающие сбор грибов, все виды грибов нельзя собирать. На остальной территории нельзя собирать грибы-аккумуляторы (польский гриб, свинушка, моховики желто-бурый и зеленый, маслята, горькушки) и грибы,

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

сильно накапливающие радионуклиды (груздь белый, волнушки белая и розовая, зеленки, сыроежки). Можно собирать грибы, только слабо (опенок зимний, осенний и летний, зонтик пестрый, дождевик, вешенка) и средне накапливающие радионуклиды (лисичка настоящая, рядовка серая, белый гриб, подосиновик, подберезовик обыкновенный и болотный) и обязательно проверять их в пунктах радиационного контроля. (40 баллов)

- «*Кот в мешке*». *Тема: «Личная гигиена»*: Можно ли намылить руки корнем мыльнянки лекарственной?

  Ответ: Да. Этот корень хороший пенообразователь. (50 баллов)

- Что надо делать, после того как собрали грибы?

  Ответ: Провести радиометрический контроль, если грибы соответствуют норме, сварить их не позднее чем через 4 часа после сбора. (30 баллов)

- Все ли съедобные грибы можно собирать на загрязненной радионуклидами территории?

  Ответ: В местах, где установлены знаки, запрещающие сбор грибов, все виды грибов нельзя собирать. На остальной территории нельзя собирать грибы-аккумуляторы (польский гриб, свинушка, моховики желто-бурый и зеленый, маслята, горькушки) и грибы, сильно накапливающие радионуклиды (груздь белый, волнушки белая и розовая, зеленки, сыроежки). Можно собирать грибы, только слабо (опенок зимний, осенний и летний, зонтик пестрый, дождевик, вешенка) и средне накапливающие радионуклиды (лисичка настоящая, рядовка серая, белый гриб, подосиновик, подберезовик обыкновенный и болотный) и обязательно проверять их в пунктах радиационного контроля. (40 баллов)

- Как ты думаешь, в какой части гриба больше всего накапливается радионуклидов?

  Ответ: В грибнице. (50 баллов)

*Тема "**Ягоды**"*

- Сорвав с куста вкусную ягоду, её можно сразу отправить в рот?

  Ответ: Нет. (10 баллов)

  Не следует увлекаться сбором клюквы на загрязненных радионуклидами территориях. Почему?

  Ответ: Клюква накапливает больше всего радионуклидов. (20 баллов)

- Отвар ягод, листьев и стеблей этого растения снимает жар, успешно лечит боль в горле, кашель.

  Ответ: малина. (30 баллов)

- В каких ягодах много калия, который необходим для работы сердца.

  Ответ: крыжовник, черная смородина. (40 баллов)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- Чудо – ягода. Маслом из неё лечат ожоги, обморожения, оно уменьшает боль, заживляет раны.

  Ответ: Облепиха. (50 баллов)

*Тема "**Искусственные источники излучения**"*

- Что описано в стихотворении?

  Начал он, ковер потрогав,
  С паутины и микробов.
  Шланг прошелся по углам,
  Собирая мелкий хлам.

  Ответ: пылесос. (10 баллов)
- "Вопрос сопернику (20 баллов)
- Перечислите не менее 5 известных Вам искусственных источников излучения.

  Ответ: рентгеновский аппарат, атомный реактор, радиотелефон, компьютер, телевизор (30 баллов)
- Как долго можно работать на компьютере?

  Ответ: Не более 5 часов в неделю и менее 2 часов в день. (40 баллов)
- "Счастливый случай" — *50 баллов*

*Тема "**Режим дня**"*

- Что такое режим дня?

  Ответ: Распорядок дня, т. е. то, как организован труд и отдых в течение дня. (10 баллов)
- «Вопрос-аукцион»: Можно ли назвать отдыхом работу в саду и огороде после уроков?

  Ответ: Да. Происходит смена видов деятельности. (20 баллов)
- Почему в народе говорят: Соблюдай режим труда и быта, будет здоровье тверже гранита? *(30 баллов)*
- От кого зависит твой режим дня? (*40 баллов)*
- "Вопрос сопернику" (*50 баллов)*

Синий раунд (*Вопросы написаны на синих карточках*)

*Тема "**Чистота — залог здоровья**"*

- Издавна наличие ковров в помещении считалось признаком богатства. А чем опасны ковры?

  Ответ: Во-первых, ковры "собирают" пыль. Во-вторых, со временем ворс ковров измельчается и попадает в воздух комнат. В ковровой, как и в любой пыли, скапливаются микробы, радиоактивные частицы. Если ковры регулярно не чистить, они становятся "копилкой" пыли и болезней. (20 баллов)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- Почему, поиграв с животными на улице, надо вымыть руки даже не дожидаясь еды?

  Ответ: На шерсти животных на улице скапливается пыль и грязь. А в грязи находятся микробы, радиоактивные частицы. Если не вымыть рук, вредные невидимки через мельчайшие ранки на руках могут проникнуть внутрь организма и нанести вред здоровью. (40 баллов)
- Можно ли считать бесцветную, прозрачную воду чистой?

  Ответ: В прозрачной сырой воде много микробов, могут быть также частицы радиоактивных веществ. Все они очень маленькие, поэтому не видны. (60 баллов)
- "Счастливый случай" *(80 баллов)*
- Перечислите не менее трех пословиц о чистоте. *(100 баллов)*

*Тема "**Твое здоровье и земное излучение**"*

- Всегда ли верна пословица: " Дома и стены помогают"?

  Ответ: Нет. Материалы, из которых сделаны стены дома, содержат радиоактивные вещества, влияющие на здоровье человека. Лучше всего жить в деревянных домах. (20 баллов)
- "Кот в мешке". *Тема: "Питание":*
  Почему овощи с большим количеством нитратов нельзя жарить?

  Ответ: При жарке не удаляются нитраты из овощей. (40 баллов)
- Зачем хозяйки на кухне при работе газовых плит открывают форточку?

  Ответ: Чтобы проветрить помещение и удалить радиоактивный газ радон, который может содержаться в природном газе. (60 баллов)
- Один школьник утверждает, что в полезных ископаемых есть радиоактивные вещества, другой с ним не согласен. Кто прав?

  Ответ: тот, который утверждает, что в полезных ископаемых есть радиоактивные вещества (80 баллов)
- "Вопрос сопернику" *(100 баллов)*

*Тема "**Мы жители Вселенной**"*

- Докажите, что Солнце - друг здоровья *(20 баллов)*
- Когда Солнце становится недругом здоровья? *(40 баллов)*
- От космического излучения нас защищает:... *(60 баллов)*
- Какую помощь надо оказать пострадавшему при солнечном ударе? *(80 баллов)*
- Перечислите признаки солнечного удара. *(100 баллов)*

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

*Тема "**Слагаемые здоровья**"*

- Назовите три фактора, которые укрепляют здоровье *(20 баллов)*
- Назовите три фактора, которые вредят здоровью *(40 баллов)*
- К кому надо обратиться при недомогании? *(60 баллов)*
- Объясните пословицу "Ветер – источник ста болезней" *(80 баллов)*
- Счастливый случай" *(100 баллов)*

*Тема "**Правила личной гигиены**"*

- После прогулки Миша сразу пошел на кухню и сел за стол. Правильно ли он поступил? И почему? *(20 баллов)*
- Что ты будешь делать, чтобы воздух в классе, когда ты дежуришь, был чистым?

  Ответ: На переменках проветривать классную комнату, классную доску вытирать влажной тряпкой. После уроков протирать мебель и подоконники от пыли. (40 баллов)
- Многие дети летом купаются в речке. Надо ли ходить в баню? ("Вопрос-аукцион")

  Ответ: Да, надо и сразу после купания, чтобы смыть с кожи вредные вещества. (60 баллов)
- Что это?

  Я маленький, я гладенький,
  Покорный, неспесивый,
  А в скачке пеной брызгаю,
  Как дикий конь ретивый.

  Ответ: Мыло. (80 баллов)
- Что это?

  Что за братец? Вот загадка!
  У него за носом – пятка.
  И за ним нужен уход,
  Помоги ему Федот!

  Ответ: Туфля. (100 баллов)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Приложение I
Иллюстрации к главе 12

ПЕРВЫЙ КЛАСС

Занятие 3. С лукошком за грибами


белый гриб


лисичка


сыроежка


подосиновик

Задание "Экзамен со шпаргалкой"


1. Рыжик


2. Подберезовик


3. Подосиновик


4. Масленок


5. Лисичка


6. Моховик


7. Сыроежка


8. Волнушка


9. Опята


10. Белый гриб


11. Мухомор


12. Бледная поганка

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

***Задание для группы** 2*



1. Бледная поганка



2. Ложные опята



3.Желчный гриб



4. Шампиньон



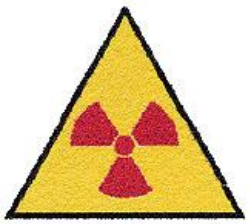
5. Опята



6.Белый гриб

***Задание для группы** 4*

Знаки, предупреждающие о радиационной обстановке



РАДИОАКТИВНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ!
Сбор грибов и ягод разрешается с обязательным радиометрическим КОНТРОЛЕМ!

Знак устанавливается в зоне с уровнем радиоактивного загрязнения 1-5 **Ки/км²** (*37-185* ***кБк/м²***) – на дорогах республиканского и областного значения перед въездом в зону



РАДИОАКТИВНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ!
Выпас скота, сенокошение, сбор грибов и ягод, заготовка дров ЗАПРЕЩЕНЫ!

Знак устанавливается в зоне с уровнем радиоактивного загрязнения 5-15 **Ки/км²** (*185-555* ***кБк/м²***) – на дорогах перед въездом в зону и в местах, наиболее посещаемых людьми

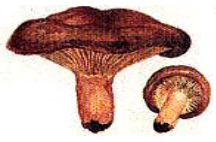


РАДИОАКТИВНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ!
ВХОД И ВЪЕЗД ЗАПРЕЩЕН!

Знак устанавливается в зоне с уровнем радиоактивного загрязнения 15 **Ки/км²** (*555* ***кБк/м²***) **и более** – на дорогах и по границам лесных массивов, расположенных возле населенных пунктов

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

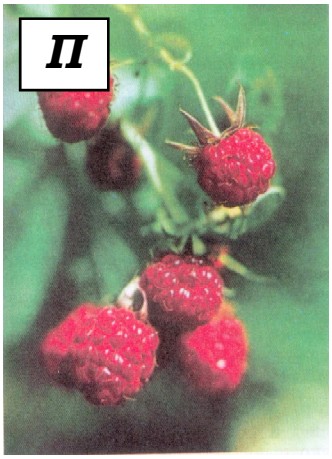
Класификация грибов по степени накопления ^{137}Cs

Слабо накапливающие		*Средне накапливающие*	
Опенок осенний		Лисичка настоящая	
Опенок зимний		Рядовка серая	
Опенок летний		Белый гриб	
Зонтик пестрый		Подосиновик и подосиновик красный	
Дождевик		Подберезовик обыкновенный	
Вешенка		Подберезовик болотный	
Сильно накапливающие		*Грибы - аккумуляторы*	
Груздь белый и черный		Польский гриб	
Волнушка белая и розовая		Свинушка	
Зеленка		Маховик желто-бурый и зеленый	
Сыроежки		Масленок Горкушка	

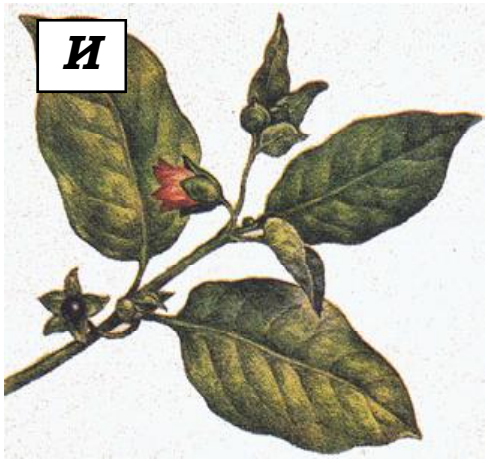
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Занятие 4. Что надо знать о сборе ягод?

Задание "Угадай-ка"



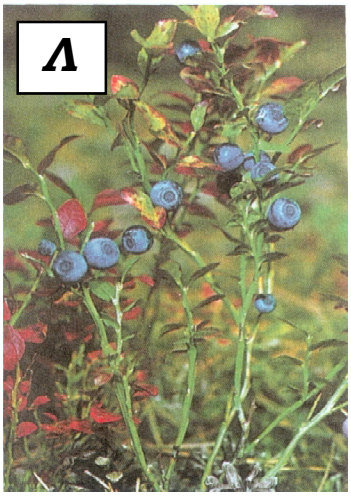
Малина



Вороний глаз



Земляника



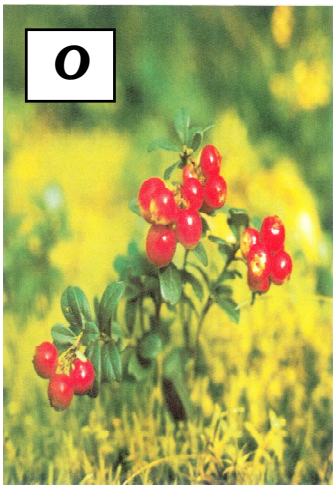
Черника



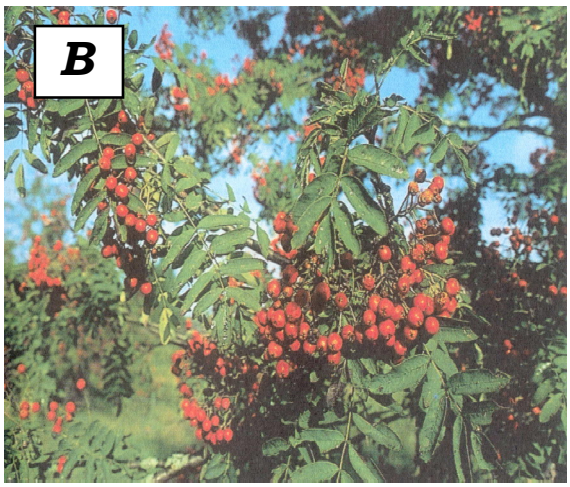
Смородина



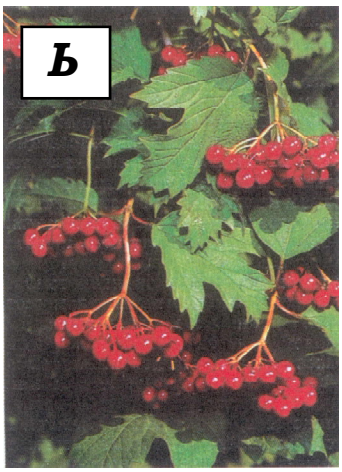
Клюква



Брусника



Рябина



Калина

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Задание "Что лишнее?"


Ягоды ландыша

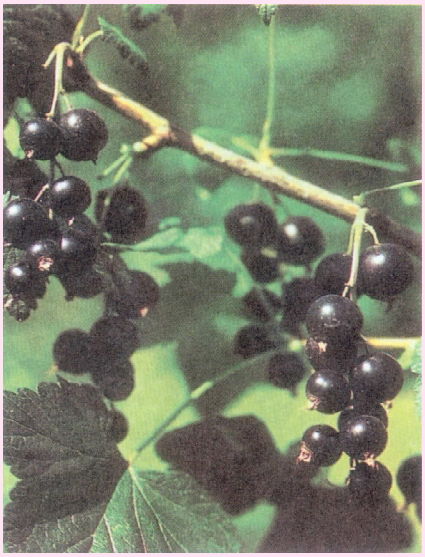

Бузина


Жимолость


Волчье лыко

Задание "Буква за буквой"

Ягоды, богатые витамином С


Черная смородина


Облепиха


Шиповник


Калина

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Ягоды, богатые витамином *А*



Малина



Крыжевник



Черноплодная рябина (арония)

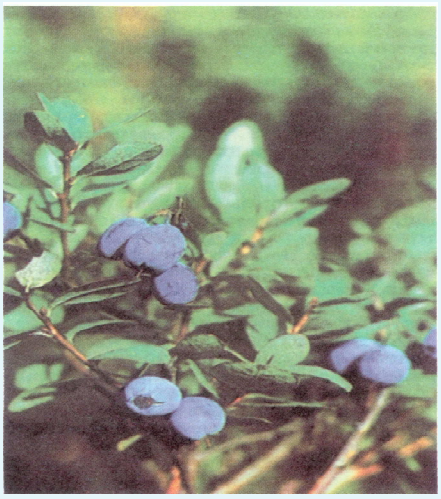
Ягоды, богатые *железом*



Земляника



Черная смородина



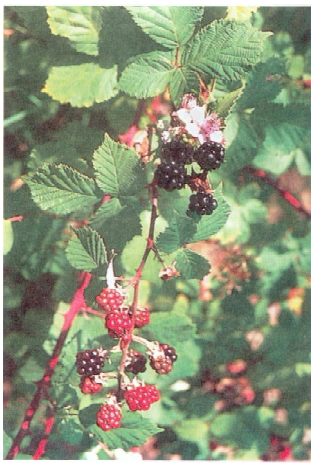
Голубика



Малина

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

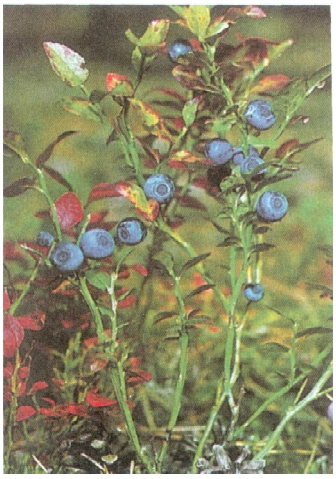
Задание "Ягодный парад здоровья"



1. Ежевика

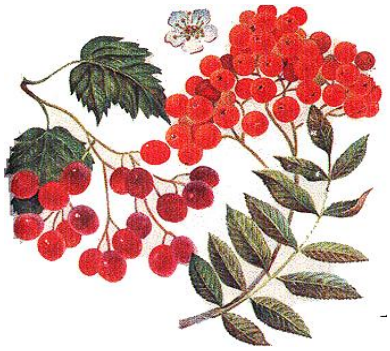
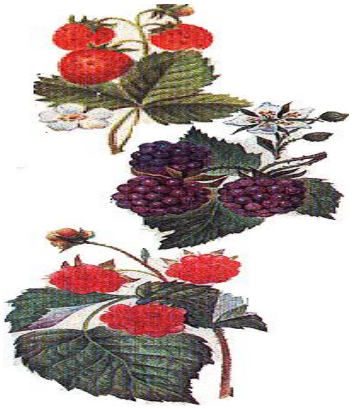


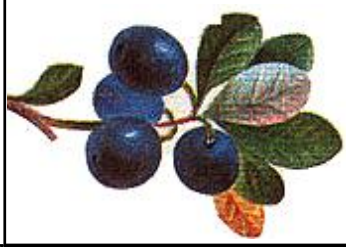
2. Облепиха



3. Черника

Класификация лесных ягод по степени накопления ^{137}Cs

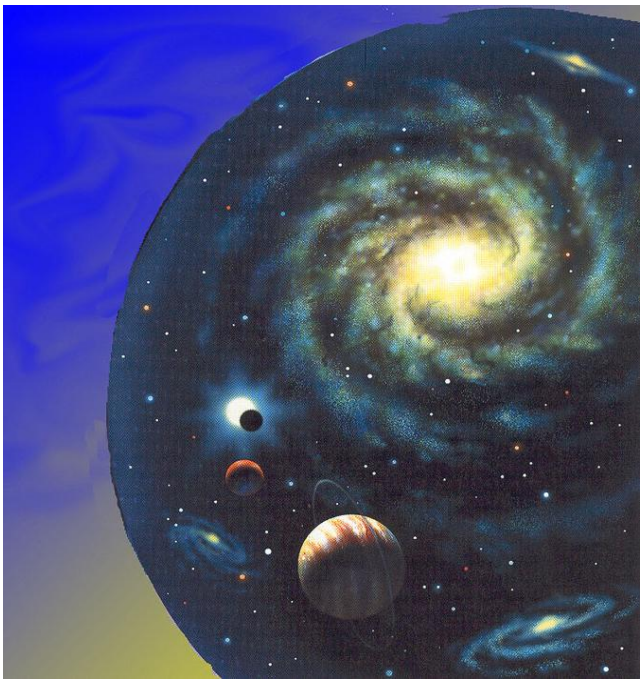
Слабо накапливающие		*Средне накапливающие*	
Калина Рябина		Земляника Ежевика Малина	

Сильно накапливающие			
Клюква		Голубика	
Черника		Брусника	

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

ТРЕТИЙ КЛАСС

Занятие 1. Космическое излучение и твое здоровье



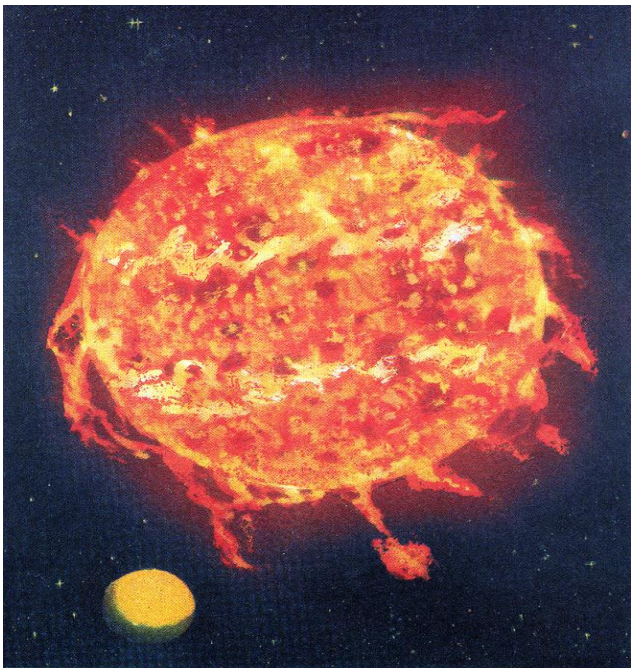
Космос (Вселенная)



Земной шар

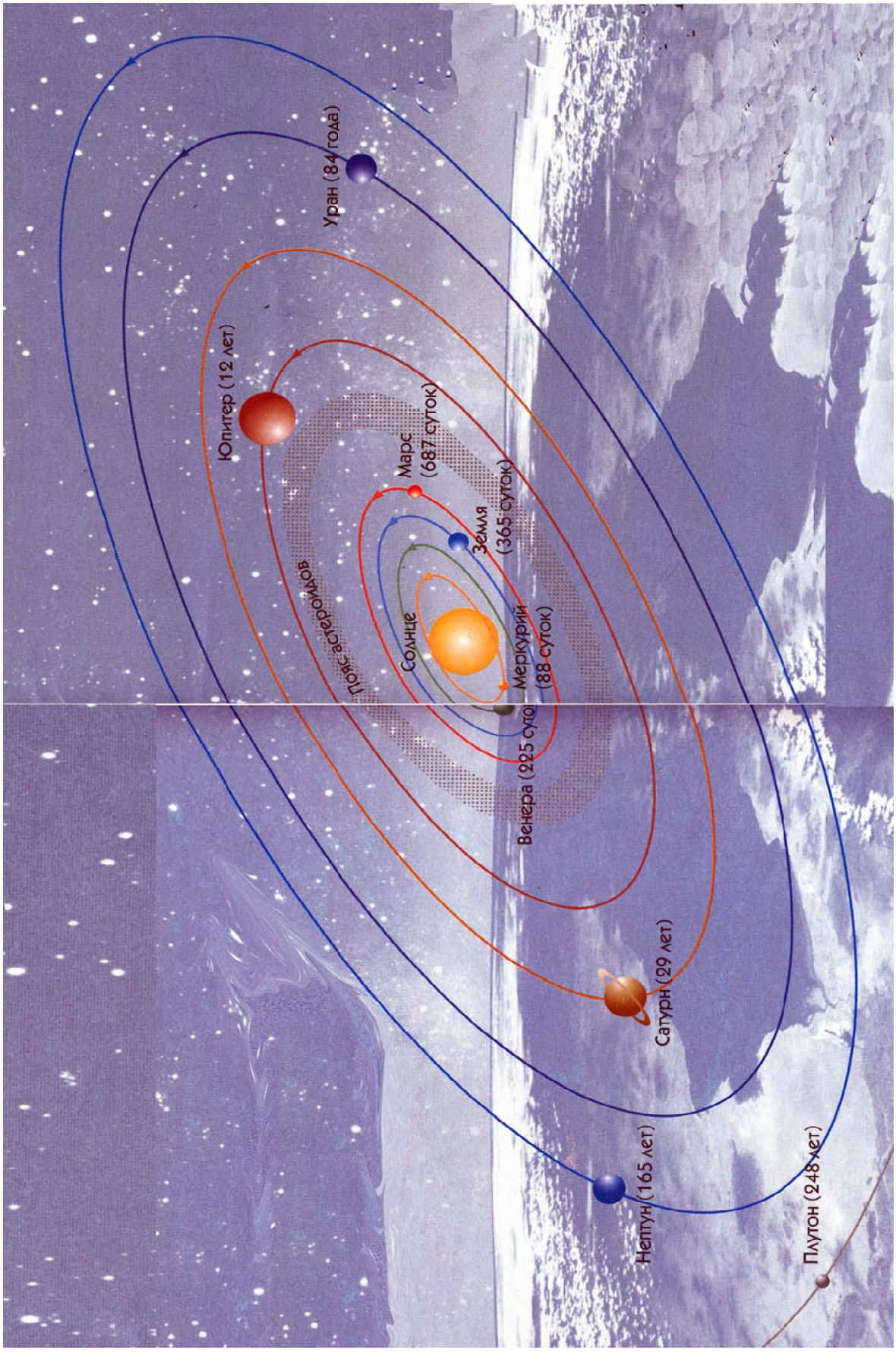


Вид Земли из космоса



Солнце

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

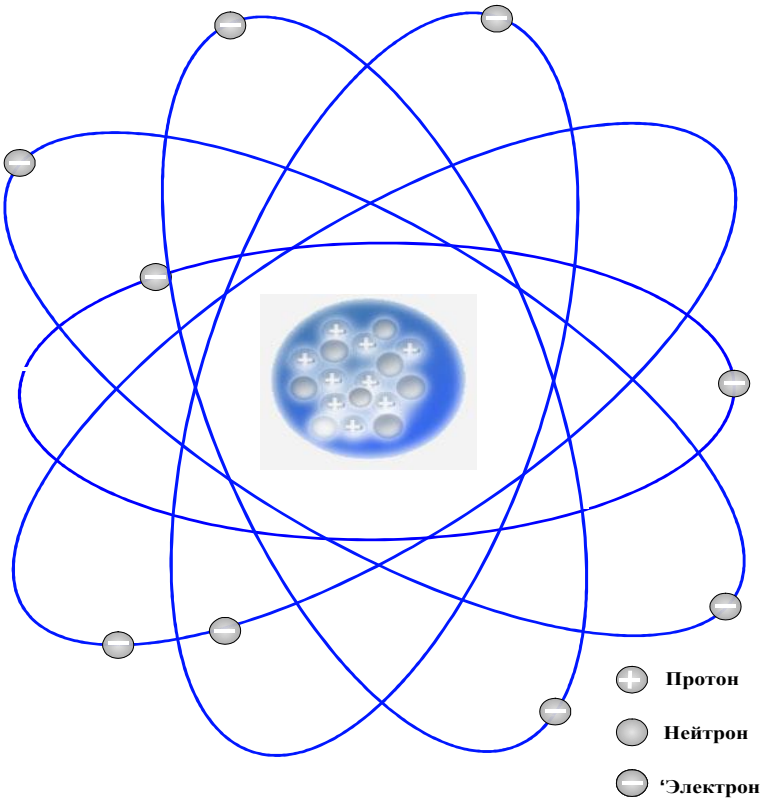


Солнечная система

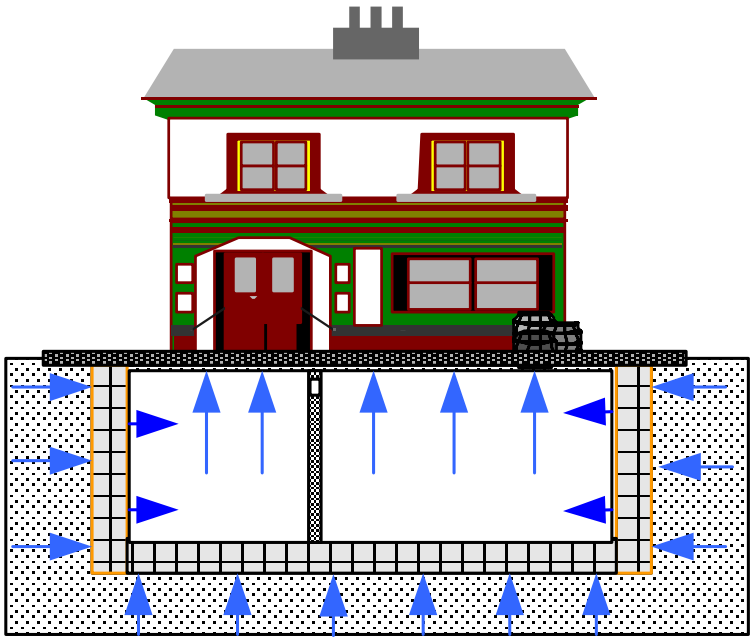
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Занятие 2. Тайны земного излучения

Схема стоения атома



Проникновение радона из грунта во внутренние помещения дома



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Искусственные источники излучения



Атомная электростанция



Рентгеновская установка



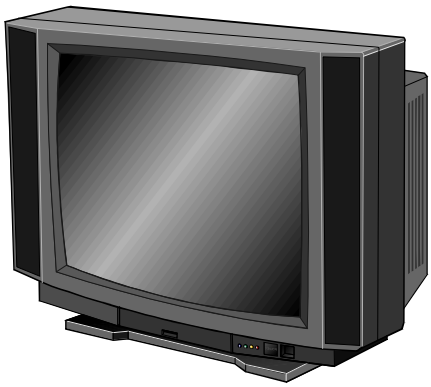
Установка для контроля грузов



Часы со светящимся циферблатом



Ядерный взрыв



Телевизор



Компьютер

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

13.1. ***Пятый класс***

Урок 1. Что мы знаем о Вселенной?

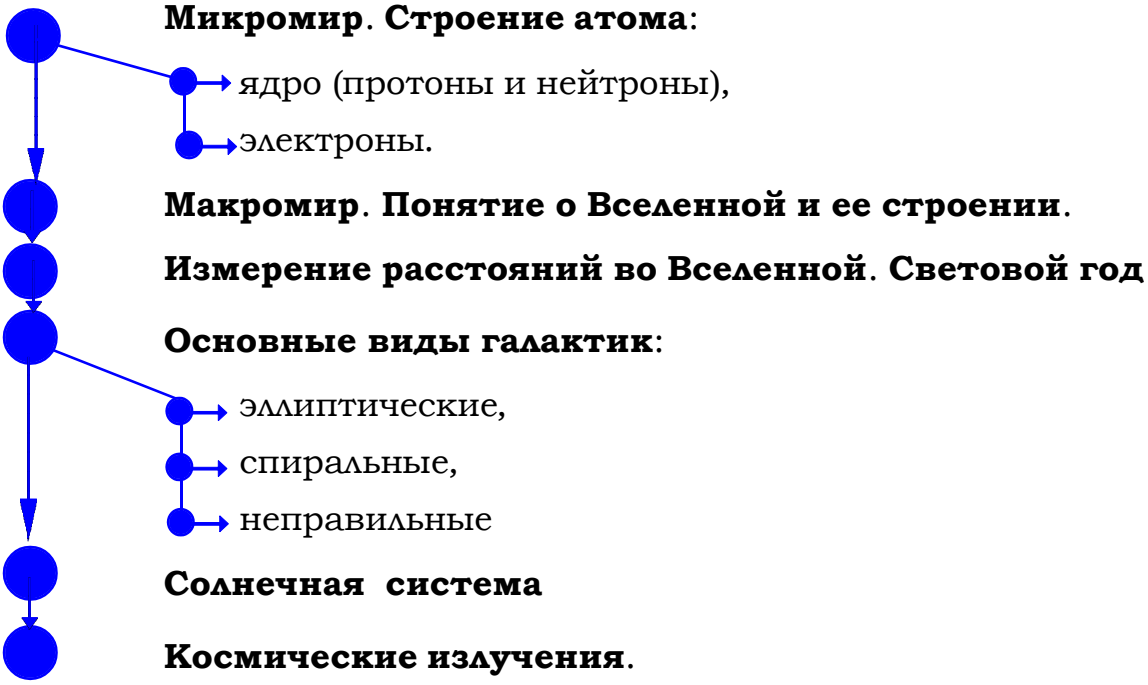
Задачи: познакомить учащихся с особенностями строения атомов; сформировать понятия о Вселенной как об источнике космических излучений, законах ее развития; развивать умение работать с текстом учебника, находить главное.

Оборудование: рисунки «Строение Вселенной»; «Солнечная система».

Ход урока

I. **Организационный момент**

II. **Опорные точки урока**



III. **Постановка учебной задачи**. Мир, в котором мы живем, полон самых разнообразных излучений. Это и видимый свет и тепловые лучи, которые мы осязаем. Однако это и множество невидимых излучений, присутствие которых можно установить только с помощью приборов.

Все излучения — это часть окружающего нас мира. Поэтому изучение курса «Основы радиоэкологии и безопасной жизнедеятельности» мы начнем с удивительного путешествия во Вселенную.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

IV. **Актуализация опорных знаний и изучение нового материала**.

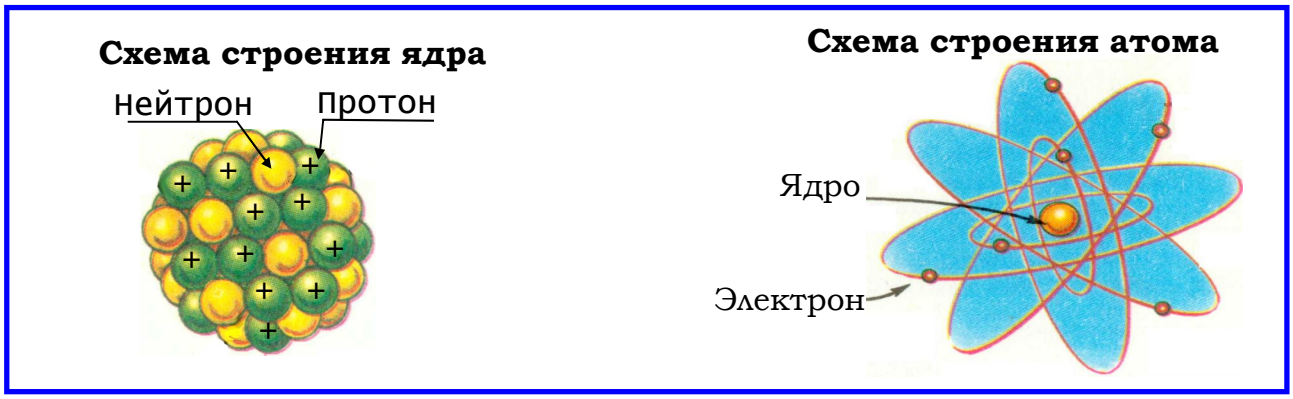
Объяснение с элементами беседы.

Из курса «Природоведение» вы уже знаете, что все, что нас окружает, называют природой. Отдельные ее элементы называют телами. Тела и живые, и неживые, состоят из веществ.

Из чего же состоят вещества?

Ответ: Вещества состоят из молекул. А молекулы состоят из атомов.

▶ **Учитель**. **Так что же такое атом**? (**рисует на доске схему строения атома**)



Атом — это наименьшая химически неделимая частица вещества. В центре атома находится тяжелое и плотное ядро, в котором сосредоточена почти вся масса атома. Вокруг ядра движутся электроны, масса которых ничтожно мала по сравнению с массой ядра. Атомное ядро состоит из двух видов частиц — протонов и нейтронов. Масса каждой из них почти в 2 000 раз больше массы электрона. Масса протона и нейтрона практически одинакова, но протоны заряжены положительно, а нейтроны не имеют заряда. Заряд каждого протона равен +1, поэтому, в целом, ядро имеет положительный заряд, равный числу протонов в ядре. Число протонов в атомном ядре определяет, какому химическому элементу принадлежит атом. Например, атомы, в ядрах которых содержится по 1 протону, являются атомами водорода, а атомы, в ядрах которых по 8 протонов, являются атомами кислорода и т. д.

Электроны заряжены отрицательно. Каждый электрон имеет заряд, который равен –1. Число электронов в атоме равно числу протонов в его ядре, поэтому атом, в целом, не имеет заряда.

● **А теперь из микромира — мира очень маленьких частиц, отправимся в макромир — мир больших тел. Вселенная – это макромир. Кто знает, что представляет собой Вселенная**?

Ответ: Вселенная — это звезды, планеты, другие космические тела, их системы и все пространство между ними.

▶ **Учитель** . Верно . Космос (Вселенная) состоит из огромного количества звезд и небесных тел, которые так далеки от нас, что увидеть

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

их можно только с помощью специальных приборов . Вселенная безгранична. Это трудно представить, но это так. Все попытки установить границы Вселенной кончались неудачей. Чем совершеннее становились приборы, тем более далекие части Вселенной открывались астрономам.

Расстояния до звезд и иных космических тел столь огромны, что измерять их километрами — привычной для земных путешественников мерой длины, оказалось крайне неудобно: слишком с огромными числами пришлось бы иметь дело. Поэтому для измерения космических расстояний ученые ввели специальную единицу измерения — световой год.

▶ **Работа с учебником. Найдите в учебном пособии определение светового года**.

Учащийся зачитывает определение : « Световой год — это расстояние, на которое распространяется свет в течение одного года».

▶ **Учитель**. Световой год намного больше, чем километр. Оценим, во сколько же раз. Скорость, с которой распространяются световые лучи в космическом пространстве, равна 300 000 км/с. Если эту величину умножить на число секунд в году, то мы получим расстояние, которое за год преодолевают световые лучи. Этот простой расчет показывает, что 1 световой год составляет приблизительно 10 000 000 000 000 км (10 триллионов километров!). Значит, световой год в 10 триллионов раз больше километра.

С современной точки зрения, Вселенная состоит из множества галактик.

▶ **Работа с учебником**. **Найдите в учебном пособии**, **что же такое галактика**?

Учащийся зачитывает определение: «Галактики — это огромные звездные системы (скопления звезд), которые отличаются друг от друга по форме, размерам и количеству входящих в них звезд».

▶ **Учитель**. Различают три основных вида галактик: эллиптические, спиральные и неправильные . Галактики распределены во Вселенной крайне неравномерно. Некоторые из них могут объединяться в группы по две, три или большее число галактик, и даже образовывать галактические скопления. Маленькие галактики могут быть спутниками больших. Всю обозримую с помощью существующих средств наблюдения часть Вселенной называют Метагалактикой.

Нашу Галактику мы видим «изнутри». Она представляется нам в виде сплошной светлой полосы, образованной светом множества звезд, и это скопление звезд мы называем Млечный Путь. Мы живем в гигантской спиралевидной Галактике, которая выделяется своими размерами среди известных галактик. Диаметр нашей Галактики настолько велик, что луч света от одного ее края до другого пролетает за 100 тысяч лет!

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

● **Как называется ближайшая к Земле звезда нашей Галактики**?

Ответ: Ближайшая к Земле звезда в нашей Галактике — Солнце.

▶ **Учитель**. Верно, это Солнце. Солнечный свет долетает до Земли за 8 минут и 20 секунд. Все другие звезды расположены гораздо дальше. Их свет достигает Земли за три световых года и больше.

● **Сколько планет вращается вокруг Солнца**?

Ответ: Вокруг Солнца вращается девять планет со своими спутниками, в том числе и наша Земля со своим единственным спутником — Луной.

▶ **Учитель**. Солнце с семейством планет, которые движутся вокруг него по своим орбитам, образует Солнечную систему. Эта система занимает далеко не центральное место в нашей Галактике и расположена вдали от ее центра, на периферии — ближе к внешнему витку звездной спирали.

▶ **Работа с текстом учебника. Найдите в учебнике информацию об астероидах**.

«В состав Солнечной системы входит также огромное количество небольших космических тел — астероидов, которые ученые называют малыми планетами. Астероиды похожи на каменные глыбы неправильной формы. Обнаружены самые разные по размерам и составу астероиды. Встречаются каменные, и даже металлические астероиды, которые целиком состоят из металла — например, железа и никеля. Некоторые астрономы считают, что астероиды — это те «кирпичики», из которых формировались планеты».

▶ **Объяснение учителя**. «Близкими родственниками» астероидов считают кометы и метеорные тела, которые также являются малыми космическими телами Солнечной системы. Кометы обычно состоят из смеси льда, каменистых веществ и пыли. По сути, комета — это «грязный снежок», который начинает таять и испаряться под влиянием солнечного излучения, и когда это происходит, у кометы образуется длинный хвост.

Метеорные тела — это мелкие каменистые тела. Господствует мнение, что они являются обломками астероидов или комет.

По каким же законам «живет» Вселенная? Задумывались ли вы над тем, почему на Земле любой предмет, куда бы его ни бросили — вверх, вниз, в сторону, — все равно падает вниз. На все тела действует сила тяготения! Ученые называют ее гравитацией. Все тела притягиваются друг к другу, и тем сильнее, чем больше их массы и чем меньше расстояние между ними. Силы тяготения действуют во всей Вселенной! Силы тяготения удерживают планеты в Солнечной системе, звезды в галактиках, космические спутники на их орбитах.

Если бы не было сил тяготения, то наша Земля могла бы улететь далеко от Солнца в космическое пространство. Но Солнце удерживает Землю и другие планеты в пределах Солнечной системы.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Ученые обнаружили, что космическое пространство между звездами и планетами далеко не пустое. Его заполняют атомы и молекулы разреженного межзвездного газа и космическая пыль. Химический состав межзвездного газа примерно такой же, как у звезд. В основном это атомы водорода, небольшая часть атомов гелия и совсем незначительная часть атомов остальных химических элементов. Космические пылинки состоят из углерода, кремния и частичек замерзших газов. А еще пространство Вселенной во всех направлениях пронизано *излучениями*. Все небесные тела испускают в окружающее пространство самые разные излучения. Человеческий глаз способен воспринимать только видимый свет. Как и многие излучения, видимый свет — это волны.

Когда произносят слово «волна», обычно представляют себе какое-то движение. Если бросить камень в воду, то по поверхности воды побежит волна. Волны могут быть большими и маленькими, размер волны определяют по ее длине — расстоянию от одного бугорка на воде до соседнего (от одного максимума до другого ближайшего).

Видимый свет относится к особым волнам, которые называют *электромагнитными*. Видимые (световые) электромагнитные волны определенной длины соответствуют конкретному цвету. Видимый свет состоит из волн разной длины. Наш глаз воспринимает световые волны, отличающиеся по длине, как свет разного цвета (от красного до фиолетового). Смешанный в одинаковой пропорции (в равных долях), свет разного цвета дает белый свет. Звезды, звездные скопления, соседние планеты, освещенные солнечным светом, мы видим потому, что они посылают в окружающее их космическое пространство световое излучение, которое мы воспринимаем с помощью органов зрения.

▶ **Работа с текстом учебника. Чем же звезды отличаются от планет?**

Ученик. «Все планеты имеют твердую поверхность, звезды же — это раскаленные газовые шары. Все звезды, кроме Солнца, находятся очень далеко от Солнечной системы».

▶ **Учитель.** Внутри звезд одни атомные ядра превращаются в другие атомные ядра. Такие превращения называют *ядерными реакциями*, и при их протекании в окружающее пространство выделяется огромное количество энергии в виде излучения, в том числе и светового. Поэтому светящиеся точки на ночном на небе — это свет раскаленных звезд, дошедший до нас из глубин космоса, преодолев огромные расстояния.

Нередко мы можем наблюдать на небе и кратковременные световые вспышки.

▶ **Работа с текстом учебника. Найдите в тексте учебника, что это за вспышки?**

Ученик. «Это метеоры, которые особенно хорошо видны невооруженным глазом в ясные темные ночи. Такие вспышки возникают при вторжении в земную атмосферу метеорных тел, летящих с огромной

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

скоростью в направлении Земли. Почти все метеорные тела сгорают в атмосфере, лишь ничтожная их часть долетает до поверхности Земли».

▶ **Учитель**. Помимо видимого света есть и другие невидимые человеком электромагнитные волны. Это радиоволны, ультрафиолетовое, инфракрасное, рентгеновское и гамма-излучения. Все эти невидимые излучения отличаются по длине волны, обнаружить их можно только с помощью специальных электронных приборов.

Солнце и другие небесные тела непрерывно испускают самые разнообразные электромагнитные волны. Кроме электромагнитных волн, некоторые небесные тела излучают и потоки заряженных частиц, которые с огромными скоростями перемещаются в космосе во всех направлениях — это преимущественно ядра атомов водорода, небольшая часть ядер атомов гелия и других более тяжелых элементов. Эти невидимые потоки заряженных частиц называют *космическими лучами*. Они пронизывают любой участок межпланетного и межзвездного пространства.

V. **Закрепление материала**

Учитель предлагает учащимся ответить на следующие вопросы:

- Что мы называем микромиром? А макромиром?
- Что же такое атом?
- Как он устроен?
- Что представляет собой Вселенная?
- В каких единицах измеряют обычно расстояния между космическими телами?
- Какие волны испускают космические тела?
- Что такое видимый свет?
- Какие еще виды излучений вы знаете?

Урок 2. Звезды – источники излучения в космическом пространстве

Задачи: сформировать у учащихся представление о звездах, их составе, цикле жизни, излучениях; сформировать понятия о звездных величинах, светимости звезд, ядерных реакциях, протекающих на звездах; развивать умение работать с текстом учебника, находить главное.

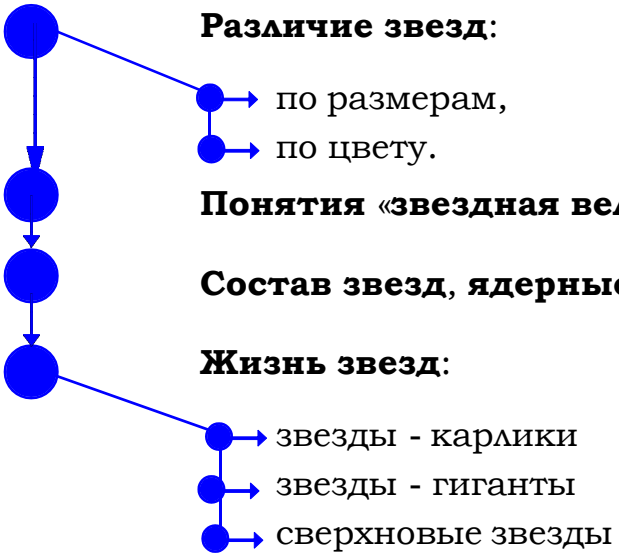
Оборудование: рисунки «Цикл жизни звезд»; «Строение Солнца».

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Ход урока

I. **Организационный момент**

II. **Опорные точки урока**



III. **Постановка учебной задачи**

Сегодня мы познакомимся с удивительным миром Звезд. Узнаем о том, как рождаются звезды, как живут, какая судьба ждет звезды в конце их пути.

IV. **Актуализация опорных знаний и изучение нового материала.**

Работа с текстом учебного пособия. Прочтите начало параграфа №2.

«Что за огни мы видим в ночном небе? Почему они выглядят именно так? Большинство светящихся точек — это звезды.

Мир звезд, сверкающих на ночном небе, огромен и многообразен. В атласе звездного неба отмечено около 2 миллиардов звезд. Тысячи звезд видны невооруженным глазом. Трудно представить расстояние, отделяющее нас от звезд. Большинство из них удалено от Земли на десятки и сотни световых лет! Например, расстояние до Полярной звезды составляет 500 световых лет, т.е. свет этой звезды достигает Земли за 500 лет, и сейчас мы видим Полярную звезду такой, какой она была 500 лет назад».

Сколько звезд отмечено в атласе звездного неба?

Почему мы видим Полярную звезду такой, какой она была 500 лет назад?

Учитель. Звезды различаются по размерам. Диаметр Солнца, например, составляет примерно 1,4 миллиона км (109 диаметров Земли). Солнце и большинство других звезд — это звезды средней величины.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Звезды, которые имеют диаметр в 10 – 100 раз больше солнечного, называют гигантами , самые крупные звезды — сверхгигантами . Например, Антарес является сверхгигантом. Его диаметр в 350 раз больше диаметра Солнца. Такие звезды встречаются чрезвычайно редко. Бывают и совсем небольшие звезды. К таким звездам относятся красные карлики. Еще меньше по размеру (примерно, как наша Земля) — белые карлики. Самые крошечные, диаметром всего лишь в 10 – 20 км — нейтронные звезды.

Работа с текстом учебного пособия. Прочтите в учебнике, какие бывают звезды по цвету.

«Звезды бывают самые разные. Еще древние люди отмечали их разные цвет и яркость. Звезды бывают голубые, белые, желтые, оранжевые, красные, даже красно-коричневыеи коричневые. Мы уже говорили, что звезды — это раскаленные газовые шары. Цвет звезды на небе зависит от температуры этого раскаленного тела. Самые горячие — голубые звезды, за ними следуют белые, желтые, оранжевые, красные».

Объяснение учителя

Наше Солнце — одинарная звезда, однако во Вселенной существуют также двойные звезды. Фактически, это системы, состоящие из двух звезд, в которых одна звезда вращается вокруг другой. Астрономам известны и тройные звезды, состоящие из трех звездных тел, и даже такие звезды, которые состоят из множества звездных тел, их называют кратными звездами.

Свет одних звезд нам кажется более ярким, а свет других — менее ярким. Древнегреческий ученый Гиппарх еще во втором веке до нашей эры ввел понятие «звездной величины» и разделил все видимые звезды в зависимости от яркости их света на 6 классов — самые яркие, менее яркие и т. д. Самым ярким звездам он присвоил первую звездную величину, следующим, меньшим по яркости — вторую и т. д. до самых тусклых звезд шестой звездной величины. Чем больше блеск звезды, тем меньше ее звездная величина, тем лучше она видна.

Гиппарх делил звезды по яркости на глаз, причем так, чтобы звезды первой величины казались настолько ярче звезд второй величины , насколько те кажутся ярче звезд третьей величины и т. д. Он был незнаком с особенностью зрения человека легко обнаруживать увеличение освещенности помещения при добавлении одной лампочки там, где уже горят одна или две лампочки. Однако в ярко освещенном помещении, там, где уже горит множество лампочек, человек может и не заметить увеличение освещенности при добавлении света всего одной лампочки. Поэтому деление звезд Гиппархом по звездной величине оказалось несовершенным.

Позднее ученые с помощью специальных приборов обнаружили более яркие и более тусклые звезды. Более ярким звездам стали приписывать нулевые, и даже отрицательные звездные величины. Например, звездная

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

величина самой яркой звезды на небе — Сириуса, равна –1,5. По яркости Сириус в 1 000 раз превосходит звезды, едва различимые невооруженным глазом.

Работа с текстом учебника. Найдите в тексте, что характеризует звездная величина? Что является единицей измерения звездной величины?

«Звездная величина характеризует поток света, который доходит от звезды до наблюдателя. Однако по яркости видимых звезд невозможно судить об истинной мощности их излучения, ведь все они находятся на разном расстоянии от Земли. В настоящее время астрономы сравнивают звезды, используя специальную единицу измерения — светимость.

Светимость — это мощность излучения звезды, т. е. полная энергия излучения звезды, которую она испускает в единицу времени.

Звезды чрезвычайно различаются по величине светимости. Например, светимость Сириуса в 28 раз больше светимости Солнца. Светимость же самых тусклых звезд-карликов в сотни тысяч раз меньше солнечной».

Учитель. На протяжении основного времени своего существования большинство звезд излучают свет равномерно . Но существуют и переменные звезды, блеск которых меняется, как бы пульсирует, из-за изменения радиуса и температуры звезд.

Подобно всем телам природы, звезды рождаются, живут и умирают. Во Вселенной постоянно происходят превращения звездного вещества в межзвездное и наоборот. При этом изменяется испускаемое ими излучение.

Звезда — это ядерный котел, внутри которого протекают ядерные реакции , выделяется огромная энергия и достигается чрезвычайно высокая температура.

Из чего же состоят звезды?

В состав звезд, подобных Солнцу, в основном, входят атомы двух самых легких элементов — водорода (***H***) и гелия (***He***), причем водорода почти в три раза больше, чем гелия. В недрах таких звезд водород постепенно превращается в гелий. Гелий является как бы золой в огромной звездной печи. При этом если из обычной печи золу можно убрать, то гелий остается и постепенно накапливается внутри звезд.

Когда в центре звезды весь водород выгорит и превратится в гелий, звезда начнет меняться. Она увеличится в размере и станет красным гигантом. Рано или поздно красный гигант сбросит с себя внешнюю оболочку , сохранив только центральную часть. Гигант значительно «похудеет», и на его месте останется только белый карлик с гелиевым ядром. Дальнейшая судьба белого карлика зависит от его массы и температуры.

Температура внутри карлика может быть настолько высокой, что станет возможным превращение гелия в углерод. Белый карлик будет постепенно охлаждаться и, в конечном итоге, превратится в черного карлика — огромную массу из углерода.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Некоторые звезды ожидает более драматичная судьба. По мере того, как в недрах звезд сгорает водород, они увеличиваются в размере и превращаются в сверхгигантов. Под действием сил тяготения (гравитации) может произойти резкое сжатие, а затем чудовищный взрыв с выделением огромного количества энергии в виде электромагнитных излучений и потоков разных частиц. Такой взрыв астрономы называют рождением сверхновой звезды.

Вспышка сверхновых звезд — чрезвычайно редкое явление, за последнее тысячелетие отмечены вспышки только 5 сверхновых звезд. Какое-то время сверхновая звезда светит в миллионы раз ярче Солнца, испуская мощное излучение. Пройдет время, и, в конце концов, от нее может остаться лишь небольшая нейтронная звезда. Изменится и ее излучение.

Однако события могут развиваться и иным образом. В некоторых сверхновых звездах сила сжатия может быть настолько велика, что звезда станет совсем невидимой, а на ее месте возникнет участок космического пространства, называемый «черной дырой».

У каждой звезды свой путь развития, но все они являются мощными источниками излучения.

V. Закрепление материала

Учитель предлагает учащимся ответить на следующие вопросы:

- Почему мы видим звезды и планеты на ночном небе?
- Какого цвета бывают звезды? О чем говорит цвет звезды?
- Что такое звездная величина? Кто впервые ввел это понятие?
- Что такое светимость звезды?
- Почему светят звезды?
- Из атомов каких элементов состоят Солнце и подобные ему звезды?
- Какие ядерные превращения происходят на Солнце?

Урок 3. Солнце. Солнечное излучение. Солнечная активность.

Задачи: познакомить учащихся с особенностями строения Солнца, сформировать понятия о солнечном излучении и солнечной активности; развивать умение работать с текстом учебника, находить главное.

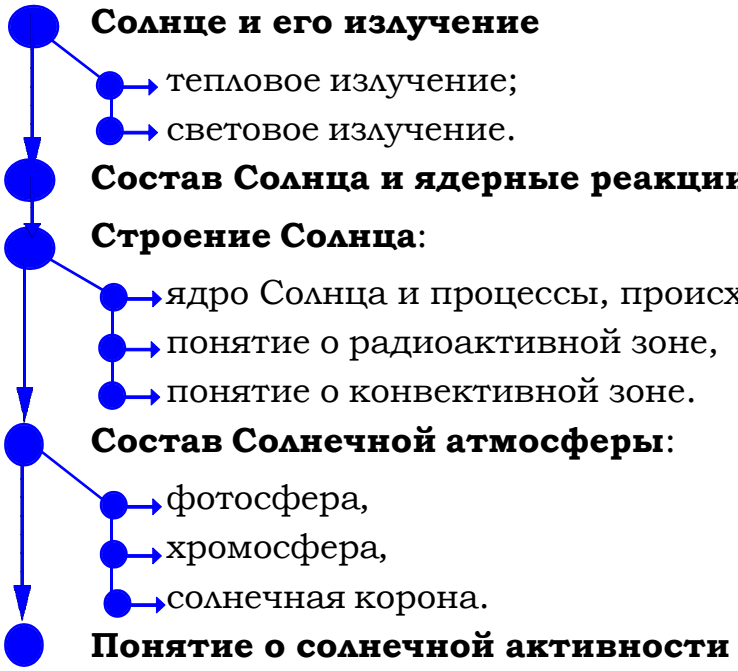
Оборудование: рисунок «Строение Солнца».

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Ход урока

. I. **Организационный момент**

II. **Опорные точки урока**



III. **Постановка учебной задачи**

Солнце — ближайшая к Земле звезда. Для астрономов это всего лишь обычный желтый карлик, рядовая звезда. Но представьте себе, что масса этого карлика в 333 000 раз больше массы Земли! Сегодня нам предстоит познакомиться с удивительной жизнью нашего Светила.

IV. **Актуализация опорных знаний и изучение нового материала**.

▶ **Учитель. Какое значение для нас — землян, имеет Солнце**?

Примерный ответ. Солнце излучает мощные потоки тепла и света и является главным источником энергии в Солнечной системе. Исходящая от Солнца энергия в виде излучения оказывает огромное влияние на все процессы, протекающие на Земле.

▶ **Объяснение учителя**.

Луч солнечного света преодолевает расстояние от Солнца до Земли всего за 8 минут и 20 секунд! Другие же звезды настолько далеки от нас, что их свет доходит до Земли за многие годы!

Значение Солнца для жизни на Земле человек чувствовал уже в далекие времена. В древности Солнце обожествляли, ему поклонялись. Несмотря на то, что Солнце от нас на расстоянии почти 150 000 000 км, его тепла и света хватает всем живым существам на Земле.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Солнце излучает не только свет и тепло. Оно является также источником и других видов излучения, например, потока заряженных частиц (главным образом, протонов и электронов), постоянно идущего от Солнца. Этот поток солнечных частиц называют *солнечным ветром*.

Чтобы лучше понять, почему Солнце является источником энергии, рассмотрим, как оно устроено. Основные химические элементы, из которых состоит Солнце, — это водород и гелий. Атомы других элементов содержатся в солнечном веществе в очень малых количествах.

Внутри Солнца, как и внутри многих звезд, водород постепенно превращается в гелий. При образовании каждого атомного ядра гелия выделяется огромное количество энергии! Его достаточно для того, чтобы растопить «кубик» льда, одна сторона которого составляет 20 метров! Но большая часть энергии Солнца рассеивается в космическом пространстве, на Землю приходит лишь ничтожная часть солнечной энергии.

Условно в строении Солнца можно выделить четыре части. В центральной части Солнца расположено *ядро*, диаметр которого равен примерно 460 000 км, что составляет примерно третью часть диаметра Солнца. Температура в ядре меняется в интервале от 14 до 20 миллионов градусов. При таких невообразимо высоких температурах и сверхвысоком давлении, которое здесь существует, любое вещество находится в особом состоянии — это смесь атомных ядер и электронов, покинувших атомы, и все эти заряженные частицы движутся с огромными скоростями.

Именно в солнечном ядре происходят ядерные превращения, которые сопровождаются выделением огромного количества энергии в виде излучения. Энергия, выделяющаяся в ядре, постепенно передается наружу. На это уходит около 10 миллионов лет. Это означает, что солнечное излучение, доходящее до Земли в настоящее время, является продуктом ядерных превращений, произошедших миллионы лет назад.

Солнечное излучение по пути своего распространения от ядра к поверхности Солнца частично поглощается и отражается веществом Солнца. Слой, в котором происходят эти процессы, называется *радиоактивной зоной* или *областью лучистой зоны*.

Над радиоактивной зоной, примерно на последней трети радиуса Солнца, располагается *конвективная зона*, в которой постоянно происходят процессы перемешивания газа, подобно перемешиванию воды при ее кипении в чайнике.

В чайнике горячая вода, находящаяся ближе к нагревателю, поднимается, а более прохладная опускается вниз. Так и раскаленный газ из огненного ядра перемещается к поверхности Солнца, а более прохладный газ устремляется к ядру Солнца.

Над конвективной зоной располагается *солнечная атмосфера*, которая включает те части Солнца, которые можно непосредственно наблюдать.

Солнечная атмосфера состоит из нескольких слоев: *фотосферы*, *хромосферы* и *солнечной короны*.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Сразу за конвективной зоной располагается *фотосфера* (в переводе с греческого это означает «сфера света»). Именно она видна нам с Земли в виде солнечного шара. Толщина этого слоя — всего 200 – 300 километров, при радиусе Солнца в 700 000 километров. Средняя температура фотосферы примерно 6 000 ^{0}C. Разные слои фотосферы имеют разную температуру: чем глубже слои фотосферы, тем выше температура.

Над фотосферой располагается *хромосфера* толщиной примерно 10 000 км. Далее находится *солнечная корона* — ажурная (очень разреженная) газовая оболочка Солнца, которая видна как необычно красивое лучистое сияние, наблюдаемое во время солнечного затмения.

Уже давно замечено, что Солнце может быть «спокойным» и активным. В период солнечной активности на его поверхности образуются *пятна*, *протуберанцы* или происходят *вспышки*. Многолетние наблюдения позволили обнаружить в жизни Солнца интересную закономерность: в среднем через каждые 11 лет солнечная активность возрастает, затем уменьшается, а потом снова возрастает и т. д. В периоды наибольшей активности Солнца заметно увеличивается его излучение в окружающее космическое пространство.

Солнечные пятна, имеющие более темный цвет, — это более холодные места на поверхности Солнца. Обычно пятна появляются группами, их размеры составляют несколько тысяч километров, диаметр же отдельных пятен может превосходить даже диаметр Земли.

Наиболее значительное событие солнечной активности — это *вспышки* на Солнце. Солнечные вспышки возникают в областях хромосферы и короны, которые расположены над солнечными пятнами. Каждая вспышка — это мощный взрыв в солнечной атмосфере, вызванный внезапным сжатием солнечного вещества. Солнечная вспышка может наблюдаться около часа. В этот период излучение с поверхности Солнца становится особенно сильным. Достигая Земли, оно вызывает сбои в работе электросетей, помехи в радиосвязи и работе многих электронных устройств.

Нередко после солнечных вспышек возникают *протуберанцы*, имеющие вид красивых, сложных дуг, замкнутых петель, «высовывающихся» из хромосферы. Протуберанцы — это грандиозные по размерам газообразные образования в солнечной короне, которые формируются в результате выноса вещества с поверхности Солнца на сотни тысяч километров в космическое пространство. Через некоторое время протуберанцы опускаются на поверхность Солнца и исчезают. Есть и спокойные протуберанцы, плавающие над поверхностью Солнца, словно облака.

Солнечное излучение оказывает на Землю огромное влияние. Если бы не было Солнца, то наша планета стала бы холодной и мертвой. Солнечное излучение нагревает земную атмосферу, поверхность материков и океанов, поддерживает жизнь на Земле.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Самое красочное световое явление в природе — *полярное сияние* происходит под влиянием *солнечного ветра*. Заряженные частицы, выбрасываемые с поверхности Солнца, разлетаются в разных направлениях в космическом пространстве и образуют солнечный ветер. Когда частицы проникают в атмосферу Земли, в районе полюсов возникает удивительное зрелище, которое М.В. Ломоносов, наблюдая в детстве полярное сияние, называл «пожаром небес».

Мы сами можем легко проверить, на что способно солнечное излучение. Самая обыкновенная лупа позволяет так сфокусировать солнечные лучи в одной точке, что от этой ослепительно яркой точки загорится сухая щепка, клочок ваты или бумага.

Солнце ближе всех остальных звезд к Земле, и для нашей планеты — это главный источник энергии, которая поступает на Землю в виде *солнечного излучения*.

IV. Закрепление материала

Учитель предлагает учащимся ответить на следующие вопросы:

- Как устроено наше Солнце?
- В какой части Солнца происходят , в основном ядерные превращения?
- Каким образом энергия Солнца достигает Земли?
- Что такое «солнечные пятна»?
- Что такое «солнечный ветер»?
- Как образуется полярное сияние?

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Урок-игра 4. Путешествие в Солнечной системе

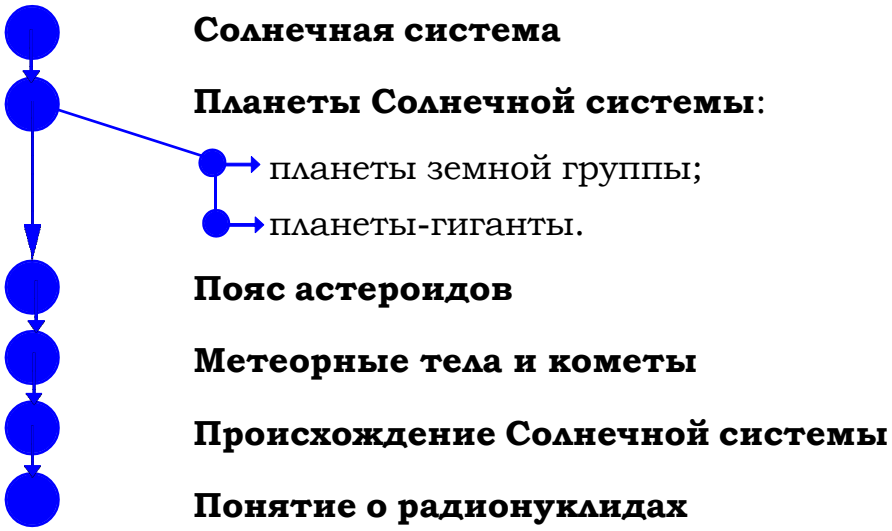
Задачи: познакомить учащихся с особенностями строения Солнечной системы, ее происхождением; сформировать понятия о планетах, кометах, астероидах и метеорных телах, о радионуклидах; развивать умение работать с текстом учебника, находить главное.

Оборудование: рисунки «Солнечная система», «Движение кометы вокруг Солнца», «След метеора».

Ход урока

I. Организационный момент

II. Опорные точки урока



III. **Постановка учебной задачи**

Сегодня нам предстоит познакомиться с планетами Солнечной системы, их происхождением. Наш урок пройдет в форме увлекательного путешествия на космическом корабле по планетам Солнечной системы.

IV. **Изучение нового материала**

Командир корабля. Прежде, чем отправиться в путешествие, я должен предупредить вас о том, что надо быть осторожными, ведь Солнечная система не является случайным собранием космических тел, это удивительный космический механизм, гигантская небесная машина, все части которой находятся в непрерывном, постоянном движении.

1-**й пилот**. Любой машине для работы, прежде всего, нужен двигатель, задающий ход всем узлам и деталям. В Солнечной системе таким двигателем является Солнце. Вокруг Солнца движется девять больших небесных тел — планет. Вокруг планет, в свою очередь, движутся тела поменьше — их спутники.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Пассажир . Посмотрите на это удивительное чудо – планеты , оказывается, разные!

2-**й пилот**. Планеты Солнечной системы разделены на две группы: планеты земной группы и планеты-гиганты.

1-**й пассажир**. Есть ли закономерность в расположении планет вокруг Солнца?

Ученый – физик. Планеты земной группы расположены ближе к Солнцу , получают от него больше энергии , сильнее нагреваются солнечными лучами. К таким планетам относятся Земля, Меркурий, Венера и Марс. Планетами-гигантами являются Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун. В пределах одной группы планеты довольно близки друг другу по плотности, размерам, химическому составу.

2-**й пассажир**. Орбиты всех планет, я вижу, расположены почти одинаково. А вот та, самая далекая планета, она что из другой системы?

Ученый – физик. Нет. Она тоже из Солнечной системы. Замыкает планетную систему Плутон. Эта планета наиболее удалена от Солнца, ее орбита больше всего наклонена к плоскости орбит других планет. О Плутоне ученые знают немного. Известно, что Плутон нельзя отнести ни к одной из двух указанных выше групп планет. По своему составу она близка к планетам-гигантам, а по размеру — к планетам земной группы.

Космонавт. Недавно ученые запустили в космос специальный аппарат для изучения этой планеты. Аппарат, летящий со скоростью 16 км/с, достиг Луны уже через 9 часов, а до Плутона он долетит только через 9 лет.

3-**й пассажир**. А как быстро вращаются планеты вокруг Солнца?

Ученый – физик. Планеты вращаются вокруг Солнца по орбитам, имеющим форму эллипса. Эти орбиты немного наклонены по отношению друг к другу. Чем дальше от Солнца расположена планета, тем больше времени уходит на один ее оборот вокруг Солнца. Земля совершает один оборот вокруг Солнца за 1 год, Меркурий — за 88 суток, а Плутон — за 248 лет.

Командир корабля . Всеобщее внимание ! Мы входим в пояс астероидов!

4-**й пассажир**. Астероиды? Впервые о них слышу. Что это за тела?

Астронавт. Вокруг Солнца движутся малые космические тела — астероиды. Основная часть астероидов расположена между орбитами Марса и Юпитера. Эту зону называют «*пояс или кольцо астероидов*». Большинство ученых полагает, что астероиды могли бы образовать планету, но сила тяготения огромного Юпитера помешала этому.

5-**й пассажир**. А это еще что такое – круглая голова и хвост?

Астронавт. Вокруг Солнца движутся и другие малые тела Солнечной системы — *метеорные тела* и *кометы*. Значительно реже мы можем наблюдать *кометы*. Когда комета находится далеко от Солнца, она имеет

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

округлый вид. Мы видим ее потому, что она отражает солнечный свет. Когда комета приближается к Солнцу, ее твердое ядро нагревается, и выделяющиеся из ядра газы и пылевидные частицы образуют хвост кометы. Тогда наблюдается яркое светящееся вытянутое тело с округлой головой (ядро кометы) и длинным хвостом.

6-**й пассажир**. Друзья! А что вы знаете о происхождении этого уникального собрания планет Солнечной системы? Когда и из чего образовались Солнце, планеты и другие космические тела?

Специалист в области ядерной физики. Полагают, что Солнечная система образовалась около 4,5 миллиардов лет назад. Материалом для строительства Солнечной системы послужили атомы, рожденные в недрах звезд. В результате ядерных реакций водород (^{1}***H***) постепенно превращался в гелий (^{4}***He***), а затем гелий — в более тяжелый элемент бериллий (^{8}***Be***), бериллий — в углерод (^{12}***C***), углерод — в кислород (^{16}***O***) и т. д. Так постепенно в Космосе рождались атомы известных сегодня химических элементов.

Ученый-радиоэколог. Среди атомов химических элементов есть как устойчивые, так и неустойчивые (радионуклиды). Устойчивые атомы имеют ядра почти неизменного состава. А ядра неустойчивых атомов могут сами по себе превращаться в ядра других атомов. Радионуклиды — это неустойчивые атомы, ядра которых самопроизвольно распадаются.

Пассажир. Интересно. Но ведь ядерные превращения происходят быстро!

Ученый-радиоэколог. Это неверно. У одних атомных ядер на эти превращения уходят тысячи, миллионы и миллиарды лет, у других — всего лишь несколько дней, часов, минут или секунд. Ученые полагают, что большая часть недолговечных радионуклидов исчезла еще до возникновения Солнечной системы, а большая часть «долгожителей» осталась и могла войти в состав молодых планет и других небесных тел.

Пассажир. И все же мне не понятно, как же образовались планеты?

Ученый-астроном. Предполагают, что примерно 5,0 – 4,7 млрд. лет назад образовалась солнечная туманность, состоящая из газообразного вещества. Эта туманность имела форму диска. Неясно, как образовалась сама эта туманность. Это еще предстоит узнать в будущем.

Постепенно в центре газового диска сформировалось Солнце. Солнечное излучение играло огромную роль в «сортировке» материала Солнечной системы. Исходящее от первичного Солнца излучение оказало влияние на состав газа и температуру в различных частях солнечной туманности. Разные части диска остывали с разной скоростью. Ближе к Солнцу остывание происходило медленно, а вдали от него — быстрее. В результате, самые легкие газы были отброшены из центра туманности на ее край. В краевых областях и возникли планеты-гиганты, состоящие, в основном, из газов.

Пассажир. А как образовались твердые планеты, такие как наша Земля?

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Ученый -астроном . Процесс образования твердых веществ в Солнечной системе протекал очень сложно. Скопления из твердого материала сталкивались друг с другом, увеличивались в размере. Так формировались планеты земной группы. Постепенно планеты приобрели шарообразную форму.

Пассажир. А как образовалась эта красавица? (указывает на комету).

Ученый-астрофизик. Кометы — самые красивые тела Солнечной системы, скорее всего, зародились за орбитой Плутона, где до сих пор находятся многочисленные куски льда, оставшиеся после формирования Солнечной системы.

Командир корабля. Друзья, внимание! Вы так увлеклись и не заметили, что наше путешествие подошло к концу. Пора готовиться к приземлению.

V. **Задание на дом**. Изучить § 4. Подготовить сообщения о Земле как планете, о ее строении и происхождении.

Урок 5. Строение нашей планеты. Радионуклиды земной коры

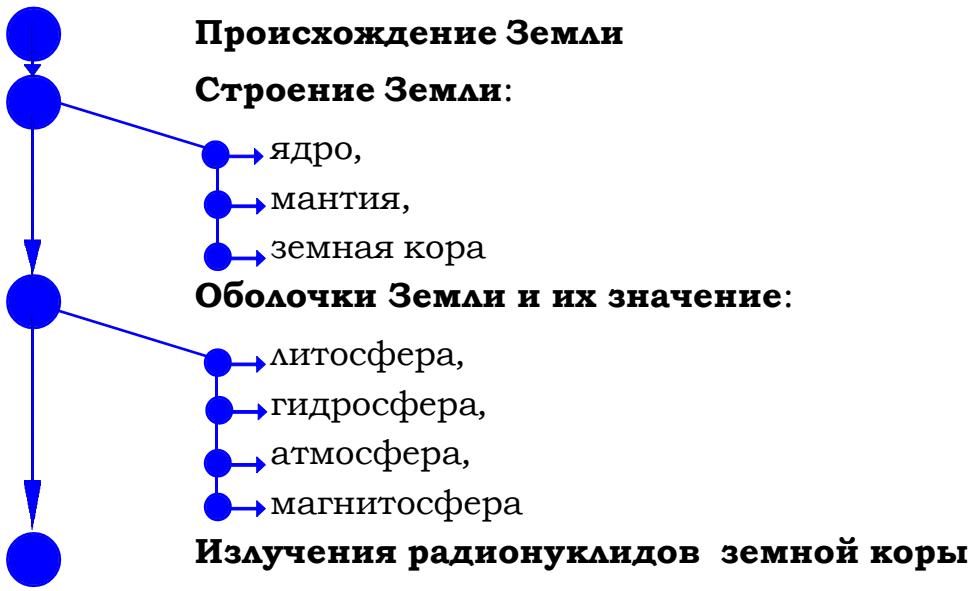
Задачи: познакомить учащихся с особенностями строения Земли; сформировать такие понятия как, ядро Земли, мантия, земная кора, гидросфера, литосфера, магнитосфера, их строение и значение, излучение радионуклидов земной коры; развивать умение работать с текстом учебника, находить главное.

Оборудование: рисунок «Строение Земли».

Ход урока

I. **Организационный момент**

II. **Опорные точки урока**



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

III. **Постановка учебной задачи**

Сегодня мы познакомимся с нашей планетой, на которой живем.

▶ **Работа с текстом учебника**. Найдите в тексте учебника, каков возраст нашей планеты.

Ученик. «Земля — одна из девяти планет, вращающихся вокруг звезды по имени Солнце. Земля — это единственная планета Солнечной системы, на которой существует жизнь. История Земли, как и всей Солнечной системы, насчитывает 4,5 миллиарда лет».

▶ **Учитель**. Наша планета прошла в своем развитии длинный и сложный путь. При формировании Земли в ее состав вошли уже присутствующие в Галактике элементы, в том числе и радионуклиды. На ранних стадиях своего развития планета стала нагреваться за счет гравитационного сжатия и распада радионуклидов , при котором выделялось большое количество энергии.

Постепенно она нагрелась до такой степени, что в ее недрах началось плавление твердого материала. Это привело к образованию *магмы* — расплавленной массы глубинных пород Земли и поднятию ее вместе с летучими веществами к поверхности планеты. Именно этим объясняется тот факт, что вещества с высокой плотностью, например, железо, никель, находятся в теле Земли преимущественно на большой глубине, а более легкие вещества — у поверхности. Постепенно Земля охлаждалась и твердела.

Как же устроена наша планета? На этот вопрос нам дадут ответ учащиеся, подготовившие сообщения.

1-**й ученик**.

Внутри Земли располагается *ядро*. Оно делится на две части. Внутреннее ядро твердое. Внешняя часть ядра находится в жидком состоянии. В целом радиус ядра составляет 3 500 км.

Над ядром располагается *мантия*. Она имеет каменистый вид, толщина мантии составляет около 3 000 км.

Над мантией располагается *земная кора*, которая имеет каменистую структуру неравномерной толщины: примерно 10 км под дном океанов и около 50 км под континентами.

Оболочка , состоящая из верхней части мантии и земной коры называется *литосферой*. В переводе с греческого «литос» означает «камень». Литосфера состоит из огромных плит, размеры которых могут достигать размеров целого континента.

Водную оболочку нашей планеты называют *гидросферой* , а ее воздушную оболочку — *атмосферой*.

▶ **Учитель** . Радиоэкологов интересуют вопросы , связанные с излучениями радионуклидов на нашей планете.

2-**й ученик**.

Жизнь на Земле, в основном, сосредоточена у поверхности самой верхней оболочки планеты — *земной коры*. Поэтому все организмы под-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

вергаются воздействию излучения радионуклидов, которые содержатся в почве, кристаллических породах и других природных образованиях земной коры. Излучение радионуклидов более глубоких слоев планеты поглощается верхними оболочками Земли и не достигает поверхности.

В гидросфере , приземных слоях атмосферы и в самих живых организмах также содержатся радионуклиды, которые попали в них из земной коры. Излучения радионуклидов земной коры и всех природных образований, в которые радионуклиды попали из земной коры, создают *естественный радиоационный фон земной коры.*

Из первичных радионуклидов , попавших на Землю в момент ее образования, сейчас можно встретить лишь те из них, которые не успели распасться за время существования нашей планеты.

Учитель. Помимо литосферы, гидросферы и атмосферы выделяют еще и особую оболочку Земли — *магнитосферу.*

3-**й ученик**.

Наша планета — это огромный магнит. Протяженность магнитного поля Земли равна почти 5 земным радиусам. Происхождение магнитного поля связывают с движением расплавленных масс, находящихся внутри планеты, и вращением Земли вокруг собственной оси. Магнитное поле Земли представляет собой препятствие на пути *солнечного ветра* — потока электрически заряженных частиц, постоянно идущего от Солнца и далеких звезд других галактик. Магнитное поле захватывает эти заряженные частицы, образуя *магнитосферу* — пространство, расположенное над атмосферой, которое заполнено заряженными частицами.

В магнитосфере, которая очень неоднородна по своим свойствам, формируются радиационные пояса планеты, заполненные космическими частицами, в основном, солнечными (протонами, электронами и др.); которые отличаются по составу и скорости движения, т. е. по энергии.

Время от времени некоторые частицы «вырываются» из магнитосферы и попадают в земную атмосферу. При столкновении этих частиц с атомами и молекулами атмосферы возникает яркое свечение воздуха, которое мы называем *полярным сиянием.*

Таким образом, на Земле есть собственные источники излучения — радионуклиды. Кроме того, излучение поступает на Землю из космоса.

V. **Закрепление изученного материала**.

Учитель предлагает учащимся ответить на следующие вопросы:

- Как устроена наша Земля?
- Где сосредоточена жизнь на нашей планете?
- Что создает радиационный фон земной коры?
- Что такое магнитосфера Земли?
- Как формируется магнитосфера Земли?
- Какие источники излучения есть на Земле?

VI. **Задание на дом**. Изучить § 5.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Урок-спектакль 6. Газовые оболочки Земли и других планет

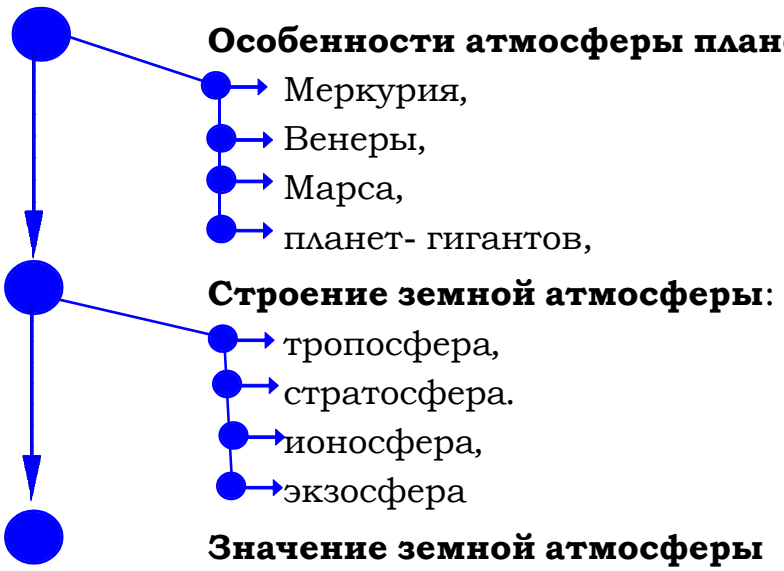
Задачи: дать представление о земной атмосфере, показать отличия в составе атмосферы других планет, о значении атмосферы Земли для жизни на планете; воспитывать уважительное отношение друг к другу, умение общаться, внимательно слушать товарища.

Оборудование: рисунки «Солнечная система», «Строение атмосферы Земли».

Ход урока

I. **Организационный момент**

II. **Опорные точки урока**



III. **Постановка учебной задачи**

Сегодня мы познакомимся с особенностями строения и химического состава атмосферы Земли и других планет Солнечной системы. Узнаем, насколько важна газовая оболочка для формирования жизни на нашей планете.

IV. **Изучение нового материала**

Вступительное слово учителя. Сегодня у нас в гостях находятся «Атмосферы» различных планет Солнечной системы. Они будут вести светскую беседу, а мы будем наблюдать за ними. Думаю, то, что мы услышим – будет весьма познавательным.

Атмосфера Меркурия обращается к Атмосфере Венеры: «Смотрю я на тебя, моя ближайшая соседка, и диву даюсь – находишься ты дальше от Солнца, нежели я, а температура на поверхности твоей планеты гораздо выше (740 К или 467 °С), чем на моей (625 К или 352 °С).

Атмосфера Венеры: «Это и неудивительно, ведь я такая плотная, и состою, в основном, из *углекислого газа*. Огромное количество углекислого

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

газа создает на моей планете парниковый эффект. Ведь известно, что углекислый газ пропускает солнечную радиацию, но сильно поглощает тепло, идущее от планеты в космическое пространство, и поэтому температура у поверхности моей планеты выше».

Атмосфера Марса: «Вот неведаль какая, я тоже состою, в основном, из углекислого газа. А вон, видишь, поодаль сидят Атмосферы планет–гигантов, так они в своем составе содержат, в основном, водород – самый легкий из газов».

Атмосфера Меркурия: «Нет, чтобы вы ни говорили, подружки, а планеты - гиганты счастливее моего Меркурия. Пусть самый легкий из газов в составе их Атмосфер, но его много… А я такая тощая, что говорят: практически отсутствую. В моем составе обнаружены лишь следы гелия, водорода, кислорода и совсем немного других элементов».

Атмосфера Марса: «Да, Меркурию не повезло. Период обращения Меркурия вокруг собственной оси совпадает с периодом его обращения вокруг Солнца. Поэтому Меркурий все время повернут к Солнцу одной стороной, на которой температура достигает 625 К (352 ^{0}С), что и способствовало потере Меркурием большей части его газовой оболочки».

Атмосфера Венеры: «Самая особенная среди нас, планетных атмосфер, земная атмосфера».

Атмосфера Земли: «О, ты права, моя соседка! Я состою, в основном, из азота и кислорода. Это резко отличает меня от других планет, лишенных жизни. Меня недаром называют «Воздушной шубой» Земли. Без меня жизнь на Земле была бы невозможна».

Атмосфера Марса: «Из нас, планет земной группы, она уступает по массе только атмосфере Венеры. Вес ее внушителен - примерно 5 миллионов миллиардов тонн».

Атмосфера Земли: «Не всегда такою я была. Ведь прапра …бабушка моя – «Древняя атмосфера» значительно отличалась от меня. В ней не было кислорода, а были водород, аммиак и немного других газов. Постепенно мои родственники – Земные Атмосферы всех периодов- обогащались кислородом и передали мне в наследство современный состав».

Атмосфера Меркурия: «Конечно, хорошо тебе возле Земли. Она удерживает тебя возле себя силами притяжения (гравитации)».

Атмосфера Земли: «Во мне выделяют несколько слоев, которые отличаются между собой по составу, плотности воздуха и температуре. Плотность атмосферного воздуха быстро убывает с высотой. Нижний, ближний к Земле слой — *тропосфера* простирается на 10 – 15 км вверх от поверхности Земли. В тропосфере сосредоточено 80 % моей массы. Это самая важная часть воздушной оболочки планеты. Именно здесь образуются облака и происходят многие природные явления».

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Атмосфера Марса: «Я наблюдаю их со стороны. В тропосфере постоянно происходит перемешивание теплых и холодных воздушных масс. Их движение воспринимается землянами как ветер. Температура в тропосфере изменяется от +40° до –50°С. Над тропосферой, на расстоянии до 50 км от поверхности Земли, расположен следующий слой атмосферы — *стратосфера*».

Атмосфера Земли: «А в стратосфере моей есть клад — *озоновый слой*. *Озон* — это газ, молекулы которого состоят из трех атомов кислорода (O_3). Значение озонового слоя для всего живого на Земле чрезвычайно велико.

Он поглощает ту часть солнечного излучения, которая губительна для живых организмов. Кроме того, озоновый слой задерживает тепло, которое выделяет Земля в атмосферу, и не дает ему рассеиваться в космическом пространстве . Иногда озон в небольших количествах образуется в приземных слоях воздуха во время грозы или в кабинете физиотерапии при кварцевании (облучении ультрафиолетовой лампой). В этих случаях земляне ощущают слабый приятный запах озона».

Атмосфера Марса: «За стратосферой, поближе ко мне, располагается *ионосфера*, которая, в свою очередь, подразделяется на несколько слоев. Ионосфера находится на высоте от 60 до 1 000 км от поверхности Земли».

Атмосфера Земли: «И это тоже слой особенный! На высоте около 90 км от земной поверхности температура ионосферы достигает 183 К (–90°С), а в верхних слоях ионосферы она поднимается до 973 – 1173 К (700 – 900°С). Именно в ионосфере происходят чудесные явления, которые люди Земли воспринимают как полярное сияние . Ионосфера отражает радиоволны и обеспечивает дальнюю радиосвязь.

Последний слой атмосферы — *экзосфера* постепенно сливается с космическим пространством».

Атмосфера Венеры: «Роль атмосферы в сохранении жизни на Земле чрезвычайно велика. Она поглощает губительную для всего живого часть солнечного излучения, защищает планету от переохлаждения ночью или перегрева днем, предохраняет ее от метеоритной бомбардировки . Большинство метеоритов сгорает в атмосфере, не успевая достигнуть земной поверхности».

V. **Закрепление изученного материала**

Учитель предлагает учащимся ответить на следующие вопросы:

- Что называется атмосферой?
- Каков состав атмосферы планет Солнечной системы?
- Каковы особенности атмосферы Земли?
- Из каких слоев состоит атмосфера Земли?
- В каком слое земной атмосферы расположен озоновый слой и каково его значение для сохранения жизни на Земле?
- Какую роль играет атмосфера Земли для природных процессов, происходящих на нашей планете?

VI. **Задание на дом**. Изучить § 6.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Урок 7. Какое излучение поступает на Землю из Космоса

Задачи: дать представление о природе и источниках космического излучения; сформировать понятие о естественном радиационном фоне, развивать умение работать с текстом учебника, находить главное.

Оборудование : рисунок «Вторичное и первичное космические излучения».

Ход урока

I. **Организационный момент**

II. **Опорные точки урока**

- **Природа космического излучения**
- **Солнечное излучение**
- **Первичное космическое излучение**
- **Вторичное космическое излучение**
- **Естественный радиационный фон**

III. **Постановка учебной задачи**

Сегодня мы постараемся обобщить все наши знания о *космическом излучении*, полученные на предыдущих уроках. Вспомним, каково его происхождение, влияние, оказываемое на жизнь на Земле.

IV. **Актуализация опорных знаний и изучение нового материала**.

Вспомните, откуда приходит к нам на Землю космическое излучение?

Ответ: Космическое излучение приходит к Земле из далекого космического пространства и поступает с ближайшей к нам звезды — Солнца. Все, что находится на поверхности Земли, постоянно подвергается воздействию космического излучения.

Учитель. Космическое излучение состоит из электромагнитного излучения и потока частиц. Оно бывает галактического и солнечного происхождения. Космическое излучение, возникающее за пределами Солнечной системы, является излучением галактического происхождения. Оно представляет собой преимущественно поток ядер водорода (протонов) и гелия (альфа-частиц), а также ядер атомов других более тяжелых элементов.

Вспомните, что может быть основным источником галактического излучения?

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Ответ: Основными источниками галактического излучения являются взрывы сверхновых звезд и быстро вращающиеся нейтронные звезды. Излучение всех остальных звезд также пронизывает космическое пространство

Учитель. Галактические лучи преодолевают огромные расстояния, движутся по довольно запутанным маршрутам под действием магнитных полей небесных тел, меняют направление и скорость своего движения.

Они постоянно бомбардируют космическое пространство, в том числе, и околоземное.

Вспомните, из чего состоит солнечное излучение?

Ответ: Солнечное излучение состоит из электромагнитного излучения и потока частиц.

Учитель . Электромагнитная часть солнечного излучения представлена в основном видимым светом, но включает в себя и невидимые компоненты (инфракрасное, ультрафиолетовое и др.). В потоке солнечных частиц присутствуют, в основном, протоны, электроны, а также в меньшем количестве ядра атомов гелия (*альфа*-частицы) и ядра других более тяжелых элементов . Поток частиц солнечного происхождения в околоземном пространстве намного превосходит поток частиц галактического происхождения

Работа с текстом учебного пособия. Найдите в тексте информацию о первичном космическом излучении.

Текст. «Различают *первичное* и *вторичное* космическое излучение. Первичное излучение приходит к нашей планете непосредственно из космического пространства. Оно практически не достигает поверхности Земли . Магнитное поле нашей планеты отклоняет основную часть заряженных частиц, движущихся в направлении Земли. Лишь малая часть первичных космических лучей « прорывается » через магнитосферу и достигает верхних слоев земной атмосферы».

Учитель. В атмосфере Земли частицы *первичных* космических лучей сталкиваются с ядрами атомов азота и кислорода, которые входят в состав атмосферного воздуха, и образуют новые частицы. Такие частицы, рожденные в атмосфере Земли, вместе с электромагнитным излучением, которое сопровождает их рождение, называют *вторичным* космическим излучением.

& Работа с текстом учебного пособия . Найдите в тексте информацию о том, какие участки земной поверхности подвергаются больше всего действию космического излучения.

Текст. «Полностью защититься от «космического душа» невозможно. Космические лучи бомбардируют нашу планету с момента ее образования. При этом одни участки земной поверхности более подвержены воздействию космической радиации , а другие — менее . Например , Северный и Южный полюсы меньше защищены от космической радиации,

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

чем экваториальные области. На больших высотах (например, в горах) мы больше подвержены воздействию космического излучения, потому что с увеличением высоты уменьшается слой воздуха, который защищает Землю от излучения. Реальную опасность космические лучи представляют лишь для космонавтов.

▶ **Учитель**. Космическое излучение и излучение радионуклидов земной коры в сумме образуют , так называемый , *естественный радиационный фон*. На протяжении всей истории своего существования живые организмы приспособилась к излучениям естественного происхождения , и, как правило , они не представляют для живых организмов большой опасности.

V. **Закрепление изученного материала**

Учитель предлагает учащимся ответить на следующие вопросы:

- Что такое космическое излучение?
- Какова природа космического излучения?
- Чем отличается первичное космическое излучение от вторичного?
- Какие участки земной поверхности более подвержены воздействию космического излучения?
- Что создает естественный радиационный фон?

VI. **Задание на дом**. Изучить § 7.

Урок 8. Итоговая контрольная работа

Вариант I

1. Найдите **не**правильное утверждение и подчеркните его:
   а) звезды — это раскаленные газовые шары;
   б) первичное космическое излучение приходит к нашей планете непосредственно из космоса;
   в) на Землю поступает гораздо больше частиц из далеких галактик, чем частиц, выбрасываемых Солнцем;
   г) далеко не все виды излучения воспринимает человеческий глаз.

Ответ: в).

Ответьте на следующие вопросы:

2. Из каких элементарных частиц состоит атом?
3. Какой заряд имеют
   а) электрон
   б) протон
   в) нейтрон
   г) атом

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

4. Какое излучение может воспринимать человеческий глаз?
5. Как можно обнаружить невидимые человеком излучения?
6. Почему мы видим звезды такими, какими они были много лет тому назад?
7. Из каких атомов состоит Солнце и подобные ему звезды?

Вариант II

1. Найдите **не**правильное утверждение и подчеркните его:
   а) мы видим планеты, потому что они светят отраженным светом звезд;
   б) вторичное космическое излучение, в основном, образуется при столкновении первичного космического излучения с ядрами атомов кислорода и азота атмосферного воздуха;
   в) практически вся масса атома сосредоточена в ядре;
   г) после рождения звезда существует вечно и постоянно излучает в окружающее ее космическое пространство одно и то же излучение.

Ответ; г).

Ответьте на следующие вопросы:

2. Из каких частиц состоит атомное ядро?
3. Укажите, чему равна относительная масса
   а) протона,
   б) нейтрона,
   в) электрона;
   г) атомного ядра.
4. Что представляет собой видимый свет?
5. От чего зависит цвет звезды, которую мы видим на небе?
6. Что представляют собой звезды?
7. Почему мы видим зведы?

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Приложение II
Дополнительный материал и иллюстрации к разделу 13.1

ПЯТЫЙ КЛАСС

§ 1. Что мы знаем о Вселенной?

Вы приступили к изучению нового предмета «Основы радиоэкологии и безопасной жизнедеятельности».

Мир, в котором мы живем, полон самых разнообразных излучений. Это и видимый свет, и тепловые лучи, которые мы осязаем. Однако это и множество невидимых излучений, присутствие которых можно установить только с помощью приборов.

Все излучения — это часть окружающего нас мира. Поэтому изучение курса «Основы радиоэкологии и безопасной жизнедеятельности» мы начнем с удивительного путешествия во Вселенную.

Для начала заглянем в мир мельчайших частиц (микромир) и вспомним, что такое атом. Все тела, что нас окружают (сосулька, дом, стол, одежда, растения, животные, тело человека и др.), состоят из молекул, а те, в свою очередь, — из атомов.

Атом — это наименьшая химически неделимая частица вещества. В центре атома находится тяжелое и плотное ядро, в котором сосредоточена почти вся масса атома. Вокруг ядра движутся электроны, масса которых ничтожно мала по сравнению с массой ядра.

Атомное ядро состоит из двух видов частиц — протонов и нейтронов. Масса каждой из них почти в 2 000 раз больше массы электрона. Масса протона и нейтрона практически одинакова, но протоны заряжены положительно, а нейтроны не имеют заряда. Заряд каждого протона равен +1, поэтому, в целом, ядро имеет положительный заряд, равный числу протонов в ядре. Число протонов в атомном ядре определяет, какому химическому элементу принадлежит атом. Например, атомы, в ядрах которых содержится по 1 протону, являются атомами водорода, а атомы, в ядрах которых по 8 протонов, являются атомами кислорода и т. д.

Электроны заряжены отрицательно. Каждый электрон имеет заряд, который равен –1. Число электронов в атоме равно числу протонов в его ядре, поэтому атом, в целом, не имеет заряда.

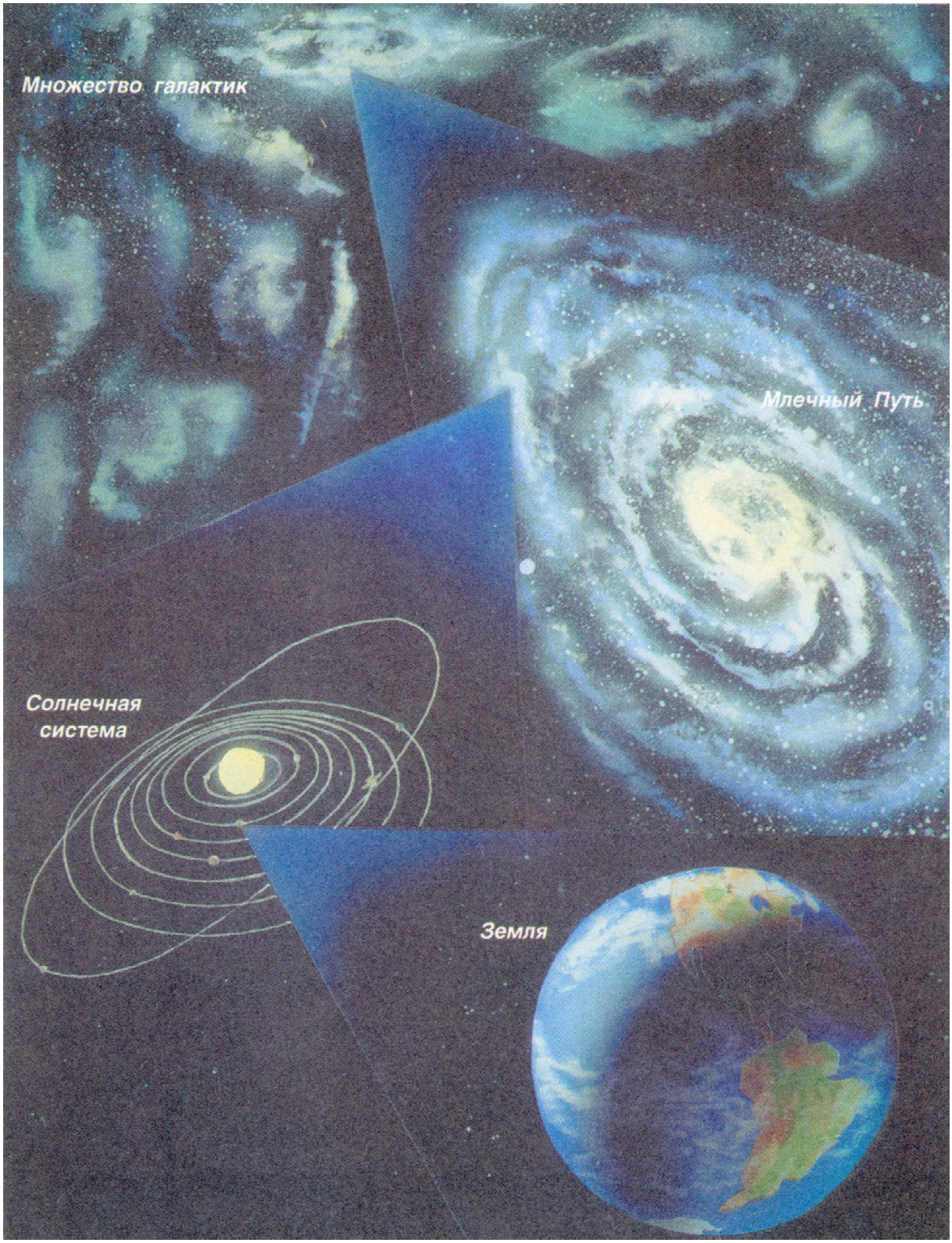
А теперь из микромира отправимся в макромир — мир больших тел.

Что же представляет собой Вселенная? Вселенная (Космос) — это звезды, планеты, другие космические тела, их системы и все пространство между ними. Лишь некоторые из небесных тел мы можем видеть невооруженным глазом в ясную ночь. Это — звезды, некоторые планеты, Луна. Очень долго люди думали, что это и есть Вселенная.

Впоследствии ученые узнали о существовании огромного количества иных звезд и небесных тел, которые так далеки от нас, что увидеть их можно только с помощью специальных приборов. Вселенная безгранична. Это трудно представить, но это так. Все попытки установить границы

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Строение Вселенной



Безграничная Вселенная . Эта иллюстрация показывает , что представляет собой наша планета в необъятной Вселенной . Земля пренадлежит Солнечной системе, находящейся в галактике Млечный Путь, которая, в свою очередь, является одной из множества галактик.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Вселенной кончались неудачей. Чем совершеннее становились приборы, тем более далекие части Вселенной открывались астрономам.

Расстояния до звезди иных космических тел столь огромны, что измерять их километрами — привычной для земных путешественников мерой длины, оказалось крайне неудобно: слишком с огромными числами пришлось бы иметь дело. Поэтому для измерения космических расстояний ученые ввели специальную единицу измерения — *световой год*.

Световой год — это расстояние, на которое распространяется свет в течение одного года.

Световой год намного больше, чем километр. Оценим, во сколько же раз.

Скорость, с которой распространяются световые лучи в космическом пространстве, равна 300 000 км/с. Если эту величину умножить на число секунд в году, то мы получим расстояние, которое за год преодолевают световые лучи (S).

Подсчитаем количество секунд в году:

1 год = 365 суткам = 365 х 24 х 60 х 60 = 31 536 000 с

Теперь мы можем подсчитать, какое расстояние преодолеет световой луч за это время:

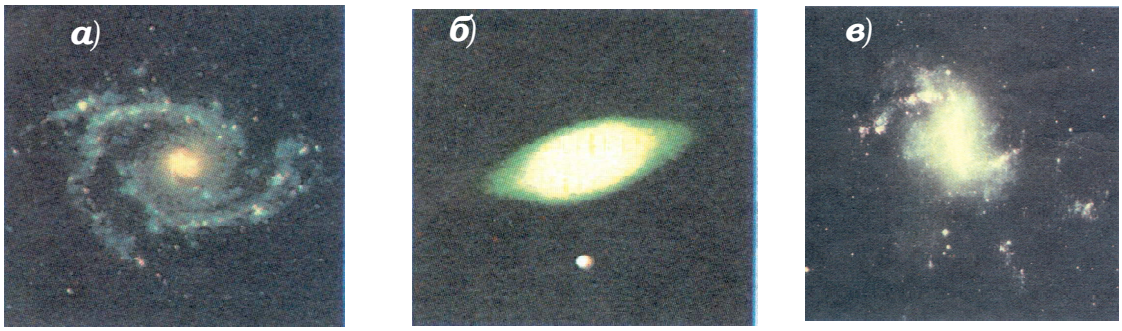
S = 300 000 км/с х 31 536 000 с = 9 460 800 000 000 км ≈

≈ 10 000 000 000 000 км

Этот простой расчет показывает, что 1 световой год составляет приблизительно 10 000 000 000 000 км (10 триллионов километров). Значит, световой год в 10 триллионов раз больше километра.

Представления о Вселенной менялись на протяжении всей истории развития человечества. С современной точки зрения, Вселенная состоит из множества галактик.

Галактики — это огромные звездные системы (скопления звезд), которые отличаются друг от друга по форме, размерами количеству входящих в них звезд.



***Типы галактик*:**

а – спиральная, б – эллиптическая, в – неправильная

Различают три основных вида галактик: *эллиптические, спиральные и неправильные*. Галактики распределены во Вселенной крайне неравномерно. Некоторые из них могут объединяться в группы по две, три или большее число галактик, и даже образовывать галактические скопления. Маленькие галактики могут быть спутниками больших.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Всю обозримую с помощью существующих средств наблюдения часть Вселенной называют ***Метагалактикой***.

Нашу Галактику мы видим «изнутри». Она представляется нам в виде сплошной светлой полосы, образованной светом множества звезд, и это скопление звезд мы называем ***Млечный Путь***. Мы живем в гигантской спиралевидной Галактике, которая выделяется своими размерами среди известных галактик. Диаметр нашей Галактики настолько велик, что луч света от одного ее края до другого пролетает за 100 тысяч лет!

Ближайшая к Земле звезда в нашей Галактике — Солнце. Солнечный свет долетает до Земли за 8 минут и 20 секунд. Все другие звезды расположены гораздо дальше. Их свет достигает Земли за три световых года и больше.

Вокруг Солнца вращается девять планет со своими спутниками, в том числе и наша Земля со своим единственным спутником — Луной. Солнце с семейством планет, которые движутся вокруг него по своим орбитам, образуют Солнечную систему. Эта система занимает далеко не центральное место в нашей Галактике и расположена вдали от ее центра, на периферии — ближе к внешнему витку звездной спирали.

В состав Солнечной системы входит также огромное количество *астероидов*, которые ученые называют *малыми планетами*. Астероиды похожи на каменные глыбы неправильной формы. Обнаружены самые разные по размерам и составу астероиды. Встречаются каменные, и даже металлические астероиды, которые целиком состоят из металла — например, железа и никеля. Некоторые астрономы считают, что астероиды — это те «кирпичики», из которых формировались планеты.

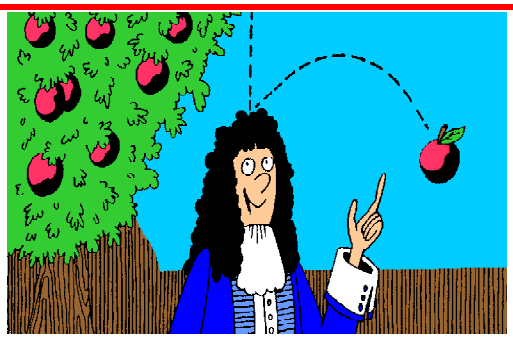
«Близкими родственниками» астероидов считают *кометы* и *метеорные тела*, которые также являются малыми космическими телами Солнечной системы. Кометы обычно состоят из смеси льда, каменистых веществ и пыли. По сути, комета — это «грязный снежок», который начинает таять и испаряться под влиянием солнечного излучения, и когда это происходит, у кометы образуется длинный хвост.

Метеорные тела — это мелкие каменистые тела. Господствует мнение, что они являются обломками астероидов или комет.

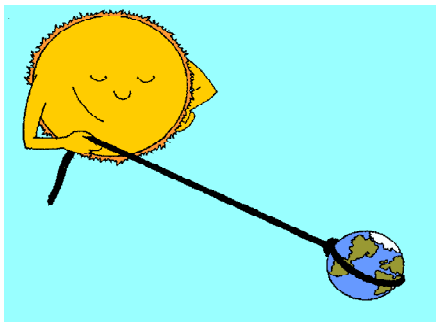
По каким же законам «живет» Вселенная? Задумывались ли Вы над тем, почему на Земле любой предмет, куда бы его ни бросили — вверх, вниз, в сторону, — все равно падает вниз. На все тела действует сила тяготения! Ученые называют ее гравитацией. Все тела притягиваются друг к другу тем сильнее, чем больше их массы и чем меньше расстояние между ними. Силы тяготения действуют во всей Вселенной! Силы гравитации удерживают планеты в Солнечной системе, звезды в галактиках, космические спутники на их орбитах.

Если бы не было сил тяготения, то наша Земля могла бы улететь далеко от Солнца в космическое пространство. Но Солнце удерживает Землю и другие планеты в пределах Солнечной системы.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



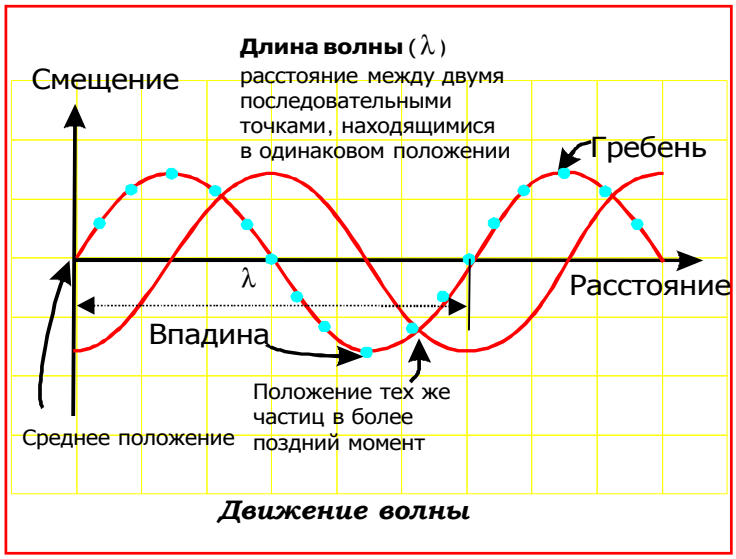
Задумывались ли Вы над тем, почему любой предмет, куда бы его ни бросили, все равно падает вниз?



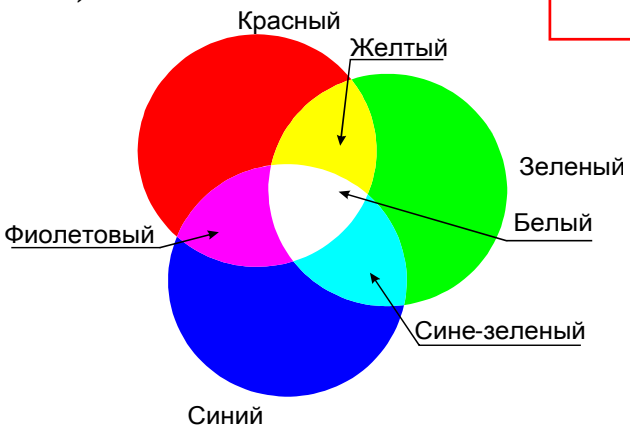
Силы тяготения действуют во всей Вселенной!

Ученые обнаружили, что космическое пространство между звездами и планетами далеко не пустое. Его заполняют атомы и молекулы межзвездного газа и космическая пыль. Состав межзвездного газа примерно такой же, как у звезд. В основном это атомы водорода, небольшая часть атомов гелия и совсем незначительная часть атомов остальных химических элементов. Космические пылинки состоят из углерода, кремния и частичек замерзших газов. А еще пространство Вселенной во всех направлениях пронизано *излучениями*. Все небесные тела испускают в окружающее пространство самые разные излучения. Человеческий глаз способен воспринимать только *видимый свет*. Как и многие излучения, видимый свет — это волны.

Когда произносят слово «волна», обычно представляют себе какое-то движение. Если бросить камень в воду, то по поверхности воды побежит волна. Волны могут быть большими и маленькими, размер волны определяют по ее длине — расстоянию от одного бугорка на воде до соседнего (от одного максимума до другого ближайшего).



Движение волны



Спектр видимого света

Видимый свет относится к особым волнам, которые называют *электромагнитными*. Видимые (световые) электромагнитные волны определенной длины соответствуют определенному цвету. Видимый свет состоит из волн разной длины. Наш глаз воспринимает световые волны разной длины как свет разного цвета (от красного до фиолетового). Смешанный в одинаковой пропорции (в

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

равных долях), свет разного цвета дает белый свет. Звезды, звездные скопления, соседние планеты, освещенные солнечным светом, мы видим потому, что они посылают в окружающее их космическое пространство световое излучение, которое мы воспринимаем с помощью органов зрения.

На первый взгляд, планеты и звезды на небе очень похожи. Однако если внимательно посмотреть в бинокль или телескоп на небо в ясную ночь, можно заметить, что планету мы видим в виде маленького светлого кружочка, тогда как любую звезду — в виде светящейся мерцающей точки. Это происходит потому, что поверхность планет, которые мы видим, отражает солнечный свет, а звезды сами его испускают.

Все планеты имеют твердую поверхность , звезды же — это раскаленные газовые шары, расположенные очень далеко от Солнечной системы. Внутри звезд одни атомные ядра превращаются в другие атомные ядра. Такие превращения называют *ядерными реакциями*, и при их протекании выделяется в пространство огромное количество энергии в виде излучения, в том числе и светового. Поэтому светящиеся точки на ночном на небе — это свет раскаленных звезд, дошедший до нас из глубин космоса, преодолев огромные расстояния.

Свет галактики — это свет всех звезд, образующих звездное скопление. Только три галактики можно наблюдать невооруженным глазом — Большое Магелланово Облако, Малое Магелланово Облако и туманность Андромеды. Большое и малое Магеллановы Облака в виде двух больших пятен хорошо видны на небе в южном полушарии. Туманность Андромеды в виде слабого светового пятнышка можно увидеть на небе в северном полушарии.

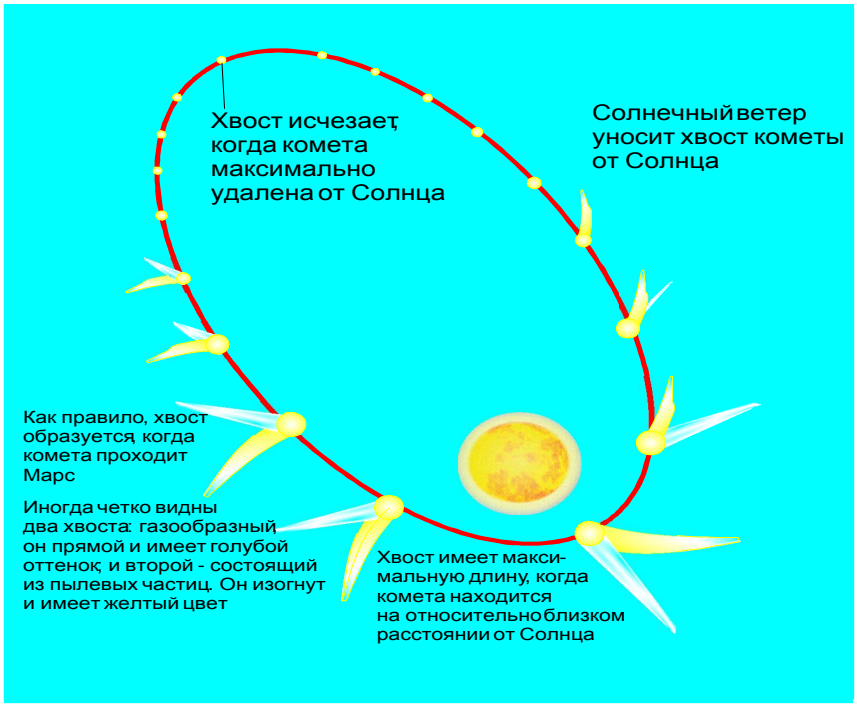


След метеора

Нередко мы можем наблюдать на небе и кратковременные световые вспышки . Это метеоры , которые особенно хорошо видны невооруженным глазом в ясные темные ночи. Такие вспышки возникают при вторжении в земную атмосферу метеорных тел, летящих с огромной скоростью в направлении Земли. Почти все метеорные тела сгорают в атмосфере, лишь ничтожная их часть долетает до поверхности Земли.

Значительно реже мы можем наблюдать кометы. Когда комета находится далеко от Солнца, она имеет округлый вид. Мы видим ее потому , что она отражает солнечный свет. Когда комета приближается к Солнцу , ее твердое ядро нагревается, и выделяющиеся из ядра газы и пылевидные частицы образуют хвост кометы . Тогда наблюдается яркое светящееся вытянутое тело с округлой головой (ядро кометы) и длинным хвостом.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



Движение кометы вокруг Солнца

Помимо видимого света есть и другие невидимые человеком электромагнитные волны. Это радиоволны, ультрафиолетовое, инфракрасное, рентгеновское и *гамма*-излучения. Все эти невидимые излучения отличаются по длине волны, обнаружить их можно только с помощью специальных электронных приборов.

Солнце и другие небесные тела непрерывно испускают самые разнообразные электромагнитные волны. Кроме электромагнитных волн, некоторые небесные тела излучают и потоки заряженных частиц, которые с огромными скоростями перемещаются в космосе во всех направлениях — это преимущественно ядра атомов водорода, небольшая часть ядер атомов гелия и других более тяжелых элементов. Эти невидимые потоки заряженных частиц называют *космическими лучами*. Они пронизывают любой участок межпланетного и межзвездного пространства. О том, откуда берутся космические лучи, мы поговорим позже.

§ 2. Звезды – источники излучения в космическом пространстве

Что за огни мы видим в ночном небе? Почему они выглядят именно так? Большинство светящихся точек — это звезды.



Что за огни мы видим в ночном небе?

Мир звезд, сверкающих на ночном небе, огромен и многообразен. В атласе звездного неба отмечено около 2 миллиардов звезд. Тысячи звезд видны невооруженным глазом. Трудно представить расстояние, отделяющее нас от звезд. Большинство из них удалено от Земли на десятки и сотни световых лет! Например, расстояние до Полярной звезды составляет 500 световых лет, т.е. свет этой звезды достигает Земли за 500 лет, и сейчас мы видим Полярную звезду такой, какой она была 500 лет назад.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Звезды бывают самые разные. Еще древние люди отмечали их разные цвет и яркость. Звезды бывают голубые, белые, желтые, оранжевые, красные, даже красно-коричневые и коричневые. Мы уже говорили, что звезды — это раскаленные газовые шары. Цвет звезды на небе зависит от температуры этого раскаленного тела. Самые горячие — голубые звезды, за ними следуют белые, желтые, оранжевые, красные.

Различаются звезды и по размерам. Диаметр Солнца, например, составляет примерно 1,4 миллиона км (109 диаметров Земли). Солнце и большинство других звезд — это звезды средней величины. Звезды, которые имеют диаметр в 10 – 100 раз больше солнечного, называют *гигантами*, самые крупные звезды — *сверхгигантами*. Например, Антарес является *сверхгигантом*. Его диаметр в 350 раз больше диаметра Солнца. Такие звезды встречаются чрезвычайно редко. Бывают и совсем небольшие звезды. К таким звездам относятся красные карлики. Еще меньше по размеру (примерно, как наша Земля) — белые карлики. Самые крошечные, диаметром всего лишь в 10 – 20 км — нейтронные звезды.

Наше Солнце — одинарная звезда, однако во Вселенной существуют также двойные звезды. Фактически, это системы, состоящие из двух звезд, в которых одна звезда вращается вокруг другой. Астрономам известны и тройные звезды, состоящие из трех звездных тел, и даже такие звезды, которые состоят из множества звездных тел, их называют кратными звездами.

Свет одних звезд нам кажется более ярким, а свет других — менее ярким. Древнегреческий ученый Гиппарх еще во втором веке до нашей эры ввел понятие «звездной величины» и разделил все видимые звезды в зависимости от яркости их света на 6 классов — самые яркие, менее яркие и т. д. Самым ярким звездам он присвоил первую звездную величину, следующим, меньшим по яркости — вторую и т. д. до самых тусклых звезд шестой звездной величины. Чем больше блеск звезды, тем меньше ее звездная величина, тем лучше она видна.

Гиппарх делил звезды по яркости на глаз, причем так, чтобы звезды первой величины казались настолько ярче звезд второй величины, насколько те кажутся ярче звезд третьей величины и т. д. Он был незнаком с особенностью зрения человека легко обнаруживать увеличение освещенности помещения при добавлении одной лампочки там, где уже горят одна или две лампочки. Однако в ярко освещенном помещении, там, где уже горит множество лампочек, человек может и не заметить увеличение освещенности при добавлении света всего одной лампочки. Поэтому деление звезд Гиппархом по звездной величине оказалось несовершенным.

Позднее ученые с помощью специальных приборов обнаружили более яркие и более тусклые звезды. Более ярким звездам стали приписывать нулевые, и даже отрицательные звездные величины. Например, звездная величина самой яркой звезды на небе — Сириуса равна –1,5. По яркости Сириус в 1 000 раз превосходит звезды, едва различимые невооруженным глазом.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Цикл жизни звезд.

У каждой звезды свой путь развития, но все они являются мощными источниками излучений.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Звездная величина характеризует поток света, который доходит от звезды до наблюдателя. Однако по яркости видимых звезд невозможно судить об истинной мощности их излучения, ведь все они находятся на разном расстоянии от Земли. В настоящее время астрономы сравнивают звезды, используя специальную единицу измерения — *светимость*.

Светимость — это мощность излучения звезды, т. е. полная энергия излучения звезды, которую она испускает в единицу времени

Звезды чрезвычайно различаются по величине светимости. Например, светимость Сириуса в 28 раз больше светимости Солнца. Светимость же самых тусклых звезд-карликов в сотни тысяч раз меньше солнечной.

На протяжении основного времени своего существования большинство звезд излучают свет равномерно. Но существуют и переменные звезды (например, цефеиды), блеск которых меняется, как бы пульсирует, из-за изменения радиуса и температуры звезд.



Звездная печь

Подобно всем телам природы, звезды рождаются, живут и умирают. Во Вселенной постоянно происходят превращения звездного вещества в межзвездное и наоборот. При этом изменяется испускаемое ими излучение.

Звезда — это ядерный котел, внутри которого протекают ядерные реакции, выделяется огромная энергия и достигается чрезвычайно высокая температура.

В состав звезд, подобных Солнцу, в основном, входят атомы двух самых легких элементов — водорода (***H***) и гелия (***He***), причем водорода почти в три раза больше, чем гелия. В недрах таких звезд водород постепенно превращается в гелий. Гелий является как бы золой в огромной звездной печи. При этом если из обычной печи золу можно убрать, то гелий остается и постепенно накапливается внутри звезд.

Когда в центре звезды весь водород выгорит и превратится в гелий, звезда начнет меняться. Она увеличится в размере и станет красным гигантом. Рано или поздно красный гигант сбросит с себя внешнюю оболочку, сохранив только центральную часть. Гигант значительно «похудеет», и на его месте останется только белый карлик с гелиевым ядром. Дальнейшая судьба белого карлика зависит от его массы и температуры. Температура внутри карлика может быть настолько высокой, что станет возможным превращение гелия в углерод. Белый карлик будет постепенно охлаждаться и, в конечном итоге, превратится в черного карлика — огромную массу из углерода.

Некоторые звезды ожидает более драматичная судьба. По мере того, как в недрах звезд сгорает водород, они увеличиваются в размере и превращаются в сверхгигантов. Под действием сил тяготения (гравитации) может произойти резкое сжатие, а затем чудовищный взрыв с выделением

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

огромного количества энергии в виде электромагнитных излучений и потоков разных частиц. Такой взрыв астрономы называют рождением *сверхновой* звезды.

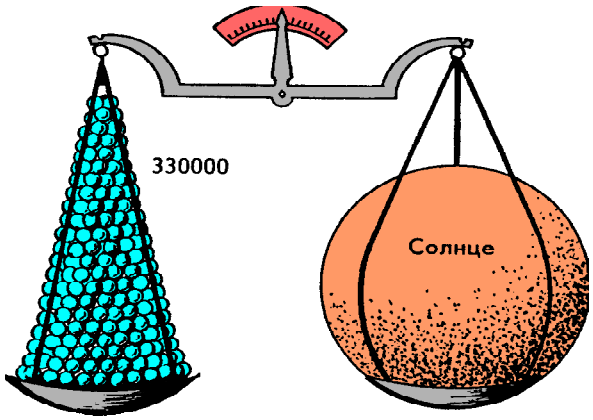
Вспышка сверхновых звезд — чрезвычайно редкое явление, за последнее тысячелетие отмечены вспышки только 5 сверхновых звезд. Какое-то время сверхновая звезда светит в миллионы раз ярче Солнца, испуская мощное излучение. Пройдет время, и, в конце концов, от нее может остаться лишь небольшая *нейтронная* звезда. Изменится и ее излучение.

Однако события могут развиваться и иным образом. В некоторых сверхновых звездах сила сжатия может быть настолько велика, что звезда станет совсем невидимой, а на ее месте возникнет участок космического пространства, называемый «*черной дырой*».

У каждой звезды свой путь развития, но все они являются мощными источниками излучения.

§ 3. Солнце. Солнечное излучение. Солнечная активность.

Солнце — ближайшая к Земле звезда. Для астрономов это всего лишь обычный желтый карлик, рядовая звезда. Но представьте себе, что масса этого карлика в 333 000 раз больше массы Земли!



Масса Солнца в** 330 000 **раз больше массы Земли

Солнце излучает мощные потоки тепла и света и является главным источником энергии в Солнечной системе. Исходящая от Солнца энергия в виде излучения оказывает огромное влияние на все процессы, протекающие на Земле. Луч солнечного света преодолевает расстояние от Солнца до Земли всего за 8 мин и 20 сек! Другие же звезды настолько далеки от нас, что их свет доходит до Земли за многие годы!

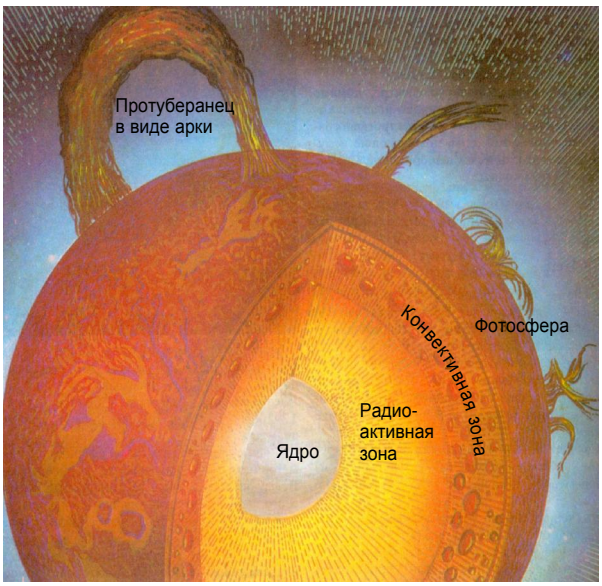
Значение Солнца для жизни на Земле человек чувствовал уже в далекие времена. В древности Солнце обожествляли, ему поклонялись. Несмотря на то, что Солнце от нас на расстоянии почти 150 000 000 км, его тепла и света хватает всем живым существам на Земле.

Солнце излучает не только свет и тепло. Оно является также источником и других видов излучения, например, потока заряженных частиц (главным образом, протонов и электронов), постоянно идущего от Солнца. Этот поток солнечных частиц называют *солнечным ветром*.

Чтобы лучше понять, почему Солнце является источником энергии, рассмотрим, как оно устроено. Основные химические элементы, из которых состоит Солнце, — это водород и гелий. Другие вещества содержатся в солнечном веществе в очень малых количествах.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Внутри Солнца, как и внутри многих звезд, водород постепенно превращается в гелий. При образовании каждого атомного ядра гелия выделяется огромное количество энергии! Его достаточно для того, чтобы растопить «кубик» льда, одна сторона которого составляет 20 метров! Но большая часть энергии Солнца рассеивается в космическом пространстве, на Землю приходит лишь ничтожная часть солнечной энергии.



Строение Солнца

Условно в строении Солнца можно выделить четыре части. В центральной части Солнца расположено *ядро*, диаметр которого равен примерно 460 000 км, что составляет примерно третью часть диаметра Солнца. Температура в ядре меняется в интервале от 14 до 20 миллионов градусов. При таких невообразимо высоких температурах и сверхвысоком давлении, которое здесь существует, любое вещество находится в особом состоянии — это смесь атомных ядер и электронов, покинувших атомы, и все эти заряженные частицы движутся с огромными скоростями.

Именно в солнечном ядре происходят ядерные превращения, которые сопровождаются выделением огромного количества энергии в виде излучения. Энергия, выделяющаяся в ядре, постепенно передается наружу. На это уходит около 10 миллионов лет. Это означает, что солнечное излучение, доходящее до Земли в настоящее время, является продуктом ядерных превращений, произошедших миллионы лет назад.

Солнечное излучение по пути своего распространения от ядра к поверхности Солнца частично поглощается и отражается веществом Солнца. Слой, в котором происходят эти процессы, называется *радиоактивной зоной* или областью лучистой зоны.

Над *радиоактивной зоной*, примерно на последней трети радиуса Солнца, располагается *конвективная зона*, в которой постоянно происходят процессы перемешивания газа, подобно перемешиванию воды при ее кипении в чайнике. В чайнике горячая вода, находящаяся ближе к нагревателю, поднимается, а более прохладная опускается вниз. Так и раскаленный газ из огненного ядра перемещается к поверхности Солнца, а более прохладный газ устремляется к ядру Солнца.

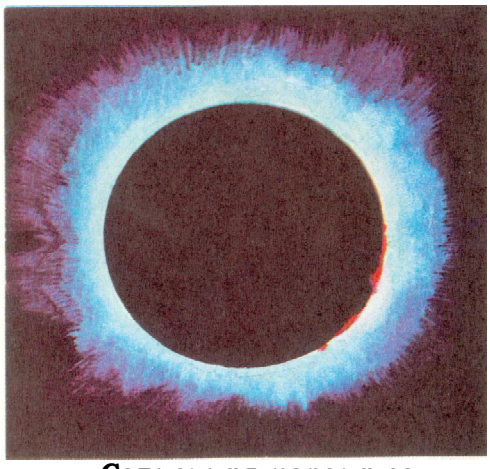
Над конвективной зоной располагается солнечная *атмосфера*, которая включает те части Солнца, которые можно непосредственно наблюдать. Солнечная атмосфера состоит из нескольких слоев: *фотосферы*, *хромосферы и солнечной короны*.

Сразу за конвективной зоной располагается *фотосфера* (в переводе с греческого это означает «сфера света»). Именно она видна нам с Земли в

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

виде солнечного шара. Толщина этого слоя — всего 200 –300 километров, при радиусе Солнца в 700 000 километров . Средняя температура фотосферы примерно 6 000 ^{0}С. Разные слои фотосферы имеют разную температуру: чем глубже слои фотосферы, тем выше температура.

Над фотосферой располагается *хромосфера* толщиной примерно 10 000 км. Далее находится *солнечная корона* — ажурная (очень разреженная) газовая оболочка Солнца, которая видна как необычно красивое лучистое сияние , наблюдаемое во время солнечного затмения.



Солнечная корона во время затмения

Уже давно замечено, что Солнце может быть « спокойным » и активным . В период солнечной активности на его поверхности образуются пятна, протуберанцы или происходят вспышки. Многолетние наблюдения позволили обнаружить в жизни Солнца интересную закономерность: в среднем через каждые 11 лет солнечная активность возрастает, затем уменьшается, а потом снова возрастает и т. д. В периоды наибольшей активности Солнца заметно увеличивается его излучение в окружающее космическое пространство.

Солнечные пятна, имеющие более темный цвет, — это более холодные места на поверхности Солнца. Обычно пятна появляются группами, их размеры составляют несколько тысяч километров, диаметр же отдельных пятен может превосходить даже диаметр Земли.

Наиболее значительное событие солнечной активности — это вспышки на Солнце. *Солнечные вспышки* возникают в областях хромосферы и короны, которые расположены над солнечными пятнами. Каждая вспышка — это мощный взрыв в солнечной атмосфере, вызванный внезапным сжатием солнечного вещества. Солнечная вспышка может наблюдаться около часа. В этот период излучение с поверхности Солнца становится особенно сильным . Достигая Земли , оно вызывает сбои в работе электросетей , помехи в радиосвязи и работе многих электронных устройств.

Нередко после солнечных вспышек возникают *протуберанцы* , имеющие вид красивых , сложных дуг, замкнутых петель , « высовывающихся» из хромосферы. Протуберанцы — это грандиозные по размерам газообразные образования в солнечной короне, которые формируются в результате выноса вещества с поверхности Солнца на сотни тысяч километров в космическое пространство . Через некоторое время протуберанцы опускаются на поверхность Солнца и исчезают. Есть и спокойные протуберанцы, плавающие над поверхностью Солнца, словно облака.

Солнечное излучение оказывает на Землю огромное влияние. Если бы не было Солнца, то наша планета стала бы холодной и мертвой.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Солнечное излучение нагревает земную атмосферу, поверхность материков и океанов, поддерживает жизнь на Земле.

Самое красочное световое явление в природе — полярное сияние происходит под влиянием *солнечного ветра*. Заряженные частицы, выбрасываемые с поверхности Солнца, разлетаются в разных направлениях в космическом пространстве и образуют солнечный ветер. Когда частицы проникают в атмосферу, в районе полюсов возникает удивительное зрелище, которое М.В. Ломоносов, наблюдая в детстве полярное сияние, называл «пожаром небес».

Мы сами можем легко проверить, на что способно солнечное излучение. Самая обыкновенная лупа позволяет так сфокусировать солнечные лучи, в одной точке, что от этой ослепительно яркой точки загорится сухая щепка, клочок ваты или бумага.

Солнце ближе всех остальных звезд к Земле, и для нашей планеты — это главный источник энергии, которая поступает на Землю в виде солнечного излучения.

§ 4. Солнечная система

Солнечная система не является случайным собранием космических тел, это удивительный космический механизм, гигантская небесная машина, все части которой находятся в непрерывном, постоянном движении. Любой машине для работы, прежде всего, нужен двигатель, задающий ход всем узлам и деталям. В Солнечной системе таким двигателем является Солнце. Вокруг Солнца движется девять больших небесных тел — планет. Вокруг планет, в свою очередь, движутся тела поменьше — спутники.

Планеты Солнечной системы разделены на две группы: планеты земной группы и планеты-гиганты. Планеты земной группы расположены ближе к Солнцу, получают от него больше энергии, сильнее нагреваются солнечными лучами. К таким планетам относятся Земля, Меркурий, Венера и Марс. Планетами-гигантами являются Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун. В пределах одной группы планеты довольно близки друг другу по плотности, размерам, химическому составу.

Замыкает планетную систему Плутон. Эта планета наиболее удалена от Солнца, ее орбита больше всего наклонена к плоскости орбит других планет. О Плутоне ученые знают немного. Известно, что Плутон нельзя отнести ни к одной из двух указанных выше групп планет. По своему составу она близка к планетам-гигантам, а по размеру — к планетам земной группы. Недавно ученые запустили в космос специальный аппарат для изучения этой планеты. Аппарат, летящий со скоростью 16 км/с, достиг Луны уже через 9 часов, а до Плутона он долетит только через 9 лет.

Планеты вращаются вокруг Солнца по орбитам, имеющим форму эллипса, орбиты их немного наклонены по отношению друг к другу. Чем дальше от Солнца расположена планета, тем больше времени уходит на

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

один ее оборот вокруг Солнца. Земля совершает один оборот вокруг Солнца за 1 год, Меркурий — за 88 суток, а Плутон — за 248 лет.

Вокруг Солнца движутся и малые планеты — астероиды. Основная часть астероидов расположена между орбитами Марса и Юпитера. Эту зону называют «пояс или кольцо астероидов». Большинство ученых полагает, что астероиды могли бы образовать планету, но сила тяготения огромного Юпитера помешала этому.

Вокруг Солнца движутся и другие малые тела Солнечной системы — метеорные тела и кометы.

Происхождение Солнечной системы

Полагают, что Солнечная система образовалась около 4,5 миллиардов лет назад.

Материалом для строительства Солнечной системы послужили атомы, рожденные в недрах звезд. В результате ядерных реакций водород постепенно превращался в гелий, а затем гелий — в более тяжелый элемент бериллий (^{8}***Be***), бериллий — в углерод (^{12}***C***), углерод в кислород (^{16}***O***) и т. д. Так постепенно в Космосе рождались атомы известных сегодня химических элементов.

Среди атомов химических элементов есть как устойчивые, так и неустойчивые (радионуклиды).

Устойчивые атомы имеют ядра почти неизменного состава. А ядра неустойчивых атомов могут сами по себе превращаться в ядра других атомов.

Радионуклиды — это неустойчивые атомы, ядра которых самопроизвольно распадаются.

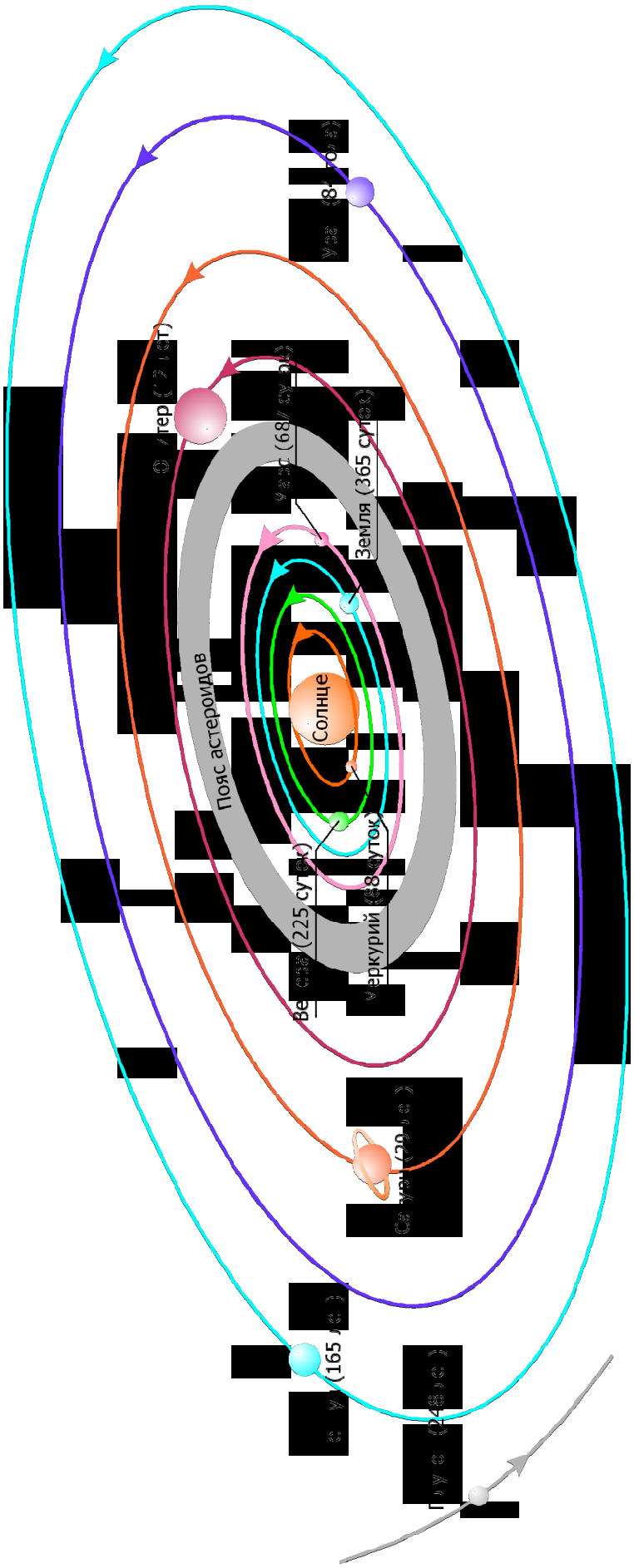
У одних атомных ядер на эти превращения уходят тысячи, миллионы и миллиарды лет, у других — всего лишь несколько дней, часов, минут или секунд. Ученые полагают, что большая часть недолговечных радионуклидов исчезла еще до возникновения солнечной системы, а большая часть «долгожителей» осталась и могла войти в состав молодых планет и других небесных тел.

Предполагают, что примерно 5,0 – 4,7 млрд. лет назад образовалась солнечная туманность, состоящая из газообразного вещества. Эта туманность имела форму диска. Неясно, как образовалась сама эта туманность. Это еще предстоит узнать в будущем.

Постепенно в центре газового диска сформировалось Солнце. Солнечное излучение играло огромную роль в «сортировке» материала солнечной системы. Исходящее от первичного Солнца излучение оказало влияние на состав газа и температуру в различных частях солнечной туманности. Разные части диска остывали с разной скоростью. Ближе к Солнцу остывание происходило медленно, а вдали от него — быстрее. В результате, самые легкие газы были отброшены из центра туманности на ее край.

В краевых областях и возникли планеты-гиганты, состоящие, в основном, из газов.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



Солнечная система
(в скобках указано время оборота планет вокруг Солнца)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Процесс образования твердых веществ в Солнечной системе протекал очень сложно. Скопления из твердого материала сталкивались друг с другом, увеличивались в размере. Так формировались планеты земной группы. Постепенно планеты приобрели шарообразную форму.

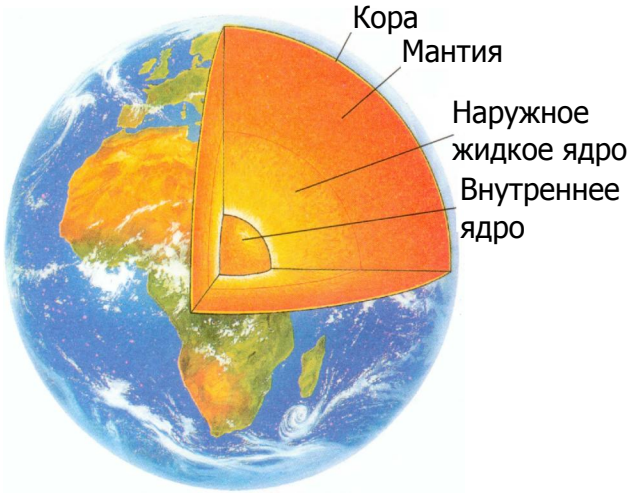
Кометы — самые красивые тела Солнечной системы, скорее всего, зародились за орбитой Плутона, где до сих пор находятся многочисленные куски льда, оставшиеся после формирования Солнечной системы.

§ 5. Земля

Земля — одна из девяти планет, вращающихся вокруг звезды по имени Солнце. Земля — это единственная планета Солнечной системы, на которой существует жизнь. История Земли, как и всей Солнечной системы, насчитывает 4,5 миллиарда лет.

Наша планета прошла в своем развитии длинный и сложный путь. При формировании Земли в ее состав вошли уже присутствующие в Галактике элементы, в том числе и радионуклиды. На ранних стадиях своего развития планета стала нагреваться за счет гравитационного сжатия и распада радионуклидов, при котором выделялось большое количество энергии.

Постепенно она нагрелась до такой степени, что в ее недрах началось плавление твердого материала. Это привело к образованию *магмы* — расплавленной массы глубинных пород Земли и поднятию ее вместе с летучими веществами к поверхности планеты. Именно этим объясняется тот факт, что вещества с высокой плотностью, например, железо, никель, находятся в теле Земли преимущественно на большой глубине, а более легкие вещества — у поверхности.



Строение Земли

Постепенно Земля охлаждалась и твердела.

Как же устроена наша планета?

Внутри Земли располагается *ядро*. Оно делится на две части. *Внутреннее ядро* твердое. Внешняя часть ядра находится в жидком состоянии. В целом радиус ядра составляет 3 500 км.

Над ядром располагается *мантия*. Она имеет каменистый вид, толщина мантии составляет около 3 000 км.

Над мантией располагается *земная кора*, которая имеет каменистую структуру неравномерной толщины: примерно 10 км под дном океанов и около 50 км под континентами.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Оболочка, состоящая из верхней части мантии и земной коры, называется *литосферой*. В переводе с греческого «литос» означает «камень». Литосфера состоит из огромных плит, размеры которых могут достигать размеров целого континента.

Водную оболочку нашей планеты называют *гидросферой*, а ее воздушную оболочку — *атмосферой*.

Жизнь на Земле, в основном, сосредоточена у поверхности самой верхней оболочки планеты — земной коры. Поэтому все организмы подвергаются воздействию излучения радионуклидов, которые содержатся в почве, кристаллических породах и других природных образованиях земной коры. Излучение радионуклидов более глубоких слоев планеты поглощается верхними оболочками Земли и не достигает поверхности.

В гидросфере, приземных слоях атмосферы и в самих живых организмах также содержатся радионуклиды, которые попали в них из земной коры. Излучения радионуклидов земной коры и всех природных образований, в которые радионуклиды попали из земной коры, создают *естественный радиоационный фон земной коры*.

Из первичных радионуклидов, попавших на Землю в момент ее образования, сейчас можно встретить лишь те из них, которые не успели распасться за время существования нашей планеты.

Наша планета — это огромный магнит. Протяженность магнитного поля Земли равна почти 5 земным радиусам. Происхождение магнитного поля связывают с движением расплавленных масс, находящихся внутри планеты, и вращением Земли вокруг собственной оси. Магнитное поле Земли представляет собой препятствие на пути солнечного ветра — потока электрически заряженных частиц, постоянно идущего от Солнца и далеких звезд других галактик. Магнитное поле захватывает эти заряженные частицы, образуя *магнитосферу* — пространство, расположенное над атмосферой, которое заполнено заряженными частицами.

В магнитосфере, которая очень неоднородна по своим свойствам, формируются *радиационные пояса* планеты, заполненные космическими частицами, в основном, солнечными, которые отличаются по составу и скорости движения, т. е. по энергии.

Время от времени некоторые частицы «вырываются» из магнитосферы и попадают в земную атмосферу. При столкновении этих частиц с атомами и молекулами атмосферы возникает яркое свечение воздуха, которое мы называем *полярным сиянием*.

Таким образом, на Земле есть собственные источники излучения — радионуклиды. Кроме того, излучение поступает на Землю из космоса.

§ 6. Атмосфера Земли и других планет

На состав атмосферы различных планет повлияли их размеры и положение в Солнечной системе. Например, у самой ближайшей к Солнцу планеты — Меркурия атмосфера практически отсутствует. Период обра-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

щения Меркурия вокруг собственной оси совпадает с периодом его обращения вокруг Солнца. Поэтому Меркурий все время повернут к Солнцу одной стороной, на которой температура достигает 625 К (352 ^{0}С), что способствовало потере Меркурием большей части его газовой оболочки. В составе атмосферы Меркурия обнаружены лишь следы гелия, водорода, кислорода и некоторых других элементов.

Атмосфера Венеры — плотная, а ее основным компонентом является углекислый газ. Огромное количество углекислого газа создает на планете парниковый эффект. Углекислый газ пропускает солнечную радиацию, но сильно поглощает тепло, идущее от планеты. В результате температура на поверхности Венеры — примерно 740 К (467^{0}С).

Атмосфера Марса также состоит, в основном, из углекислого газа, а планет–гигантов — в основном, из водорода.

Атмосфера Земли состоит , в основном, из азота и кислорода, что резко отличает ее от других планет, лишенных жизни. «Воздушной шубой» Земли называют ее атмосферу. Без нее жизнь на Земле невозможна. Весит атмосфера Земли примерно 5 миллионов миллиардов тонн, и по сравнению с атмосферой других планет земной группы уступает по массе только атмосфере Венеры.



«Воздушная шуба» Земли

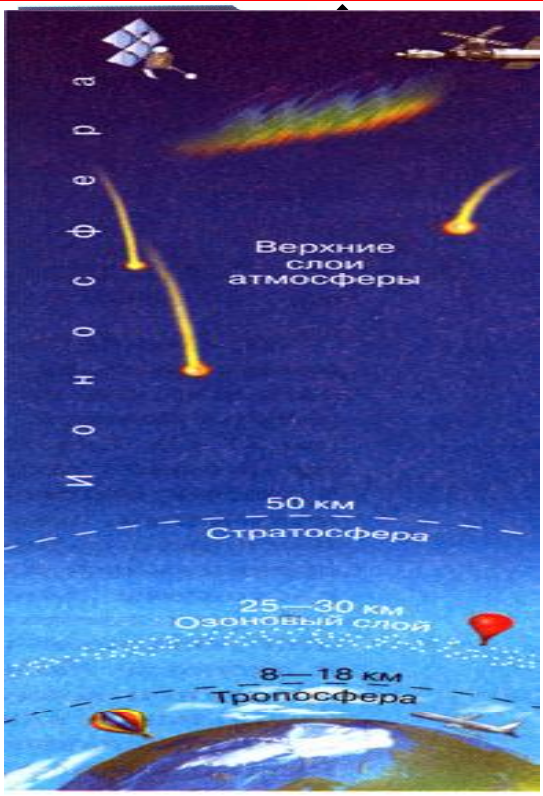
С течением времени земная атмосфера менялась. Древняя атмосфера Земли значительно отличалась от современной. Там не было кислорода, а были водород, аммиак и другие газы. Постепенно атмосфера обогатилась кислородом и приобрела современный состав.

Атмосфера удерживается Землей силами притяжения (гравитации). В ней выделяют несколько слоев, которые отличаются между собой по составу, плотности воздуха и температуре. Плотность атмосферного воздуха быстро убывает с высотой. Нижний, ближний к Земле слой атмосферы — *тропосфера* простирается на 10 – 15 км вверх от поверхности Земли. В тропосфере сосредоточено 80 % массы земной атмосферы. Это самая важная для нас часть воздушной оболочки планеты. Именно здесь образуются облака и происходят многие природные явления.

В тропосфере постоянно происходит перемешивание теплых и холодных воздушных масс. Их движение воспринимается нами как ветер. Температура в тропосфере изменяется от +40^o до –50^{o}С. Над тропосферой, на расстоянии до 50 км от поверхности Земли расположен следующий слой атмосферы — *стратосфера*.

В стратосфере находится *озоновый слой*. Озон — это газ, молекулы которого состоят из трех атомов кислорода (***O***$_3$).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



Строение атмосферы Земли

Значение озонового слоя для всего живого на Земле чрезвычайно велико. Он поглощает ту часть солнечного излучения, которая губительна для живых организмов. Кроме того, озоновый слой задерживает тепло, которое выделяет Земля в атмосферу, и не дает ему рассеиваться в космическом пространстве. Иногда озон в небольших количествах образуется в приземных слоях воздуха во время грозы или в кабинете физиотерапии при кварцевании (облучении ультрафиолетовой лампой). В этих случаях мы можем ощущать слабый приятный запах озона.

За стратосферой следует *ионосфера*, которая, в свою очередь, подразделяется на несколько слоев. Ионосфера находится на высоте от 60 до 1 000 км от поверхности Земли. На высоте около 90 км от земной поверхности температура ионосферы достигает 183 К (–90 ^{0}С), а в верхних слоях ионосферы она поднимается до 973 – 1173 К (700 – 900 °С). Именно в ионосфере происходят чудесные явления, которые мы воспринимаем как полярное сияние. Ионосфера отражает радиоволны и обеспечивает дальнюю радиосвязь.

Роль атмосферы в сохранении жизни на Земле чрезвычайно велика. Она поглощает губительную для всего живого часть солнечного излучения, защищает планету от переохлаждения ночью или перегрева днем, предохраняет ее от метеоритной бомбардировки. Большинство метеоритов сгорает в атмосфере, не успевая достигнуть земной поверхности.

§ 7. Космическое излучение

Так что же такое космическое излучение? Каково его происхождение?

Космическое излучение приходит к Земле из далекого космического пространства и поступает с ближайшей к нам звезды — Солнца. Все, что находится на поверхности Земли, постоянно подвергается воздействию космического излучения.

Космическое излучение состоит из электромагнитного излучения и потока частиц. Оно бывает *галактического* и *солнечного* происхождения.

Космическое излучение, возникающее за пределами Солнечной системы, является излучением *галактического* происхождения. Оно пред-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

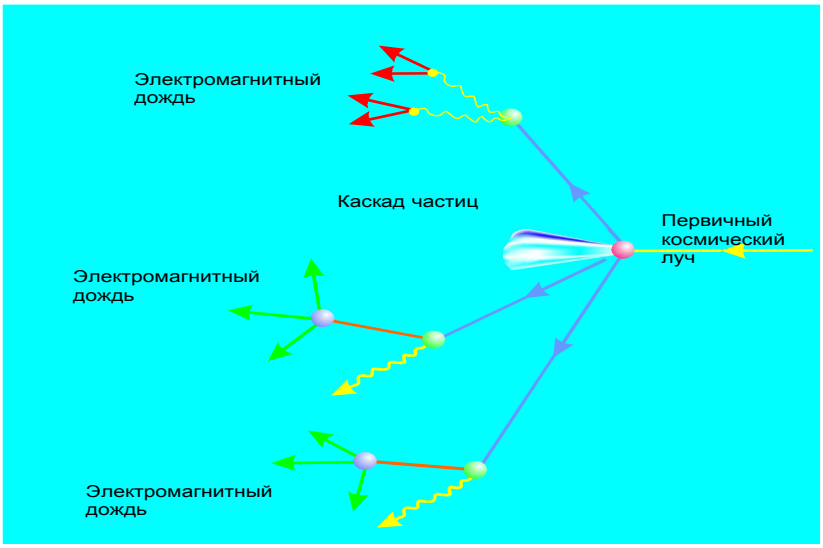
ставляет собой преимущественно поток ядер водорода (протонов) и гелия (альфа-частиц), а также ядер атомов других более тяжелых элементов.



Космические лучи

Основным источником галактического излучения являются взрывы сверхновых звезд, а также быстро вращающиеся нейтронные звезды. Галактические лучи преодолевают огромные расстояния, движутся по довольно запутанным маршрутам, под действием магнитных полей небесных тел меняют направление и скорость своего движения. Они постоянно бомбардируют космическое пространство, в том числе, и околоземное.

Солнечное излучение состоит из электромагнитного излучения и потока частиц. *Электромагнитная часть* солнечного излучения представлена, в основном, видимым светом, но включает в себя и невидимые компоненты (инфракрасное, ультрафиолетовое и др.). В потоке *солнечных частиц* присутствуют, в основном, протоны, электроны, а также в меньшем количестве альфа-частицы и ядра других более тяжелых элементов. Поток частиц солнечного происхождения в околоземном пространстве намного превосходит поток частиц галактического происхождения.



Первичное и вторичное космические излучения

Различают *первичное* и *вторичное* космическое излучение. Первичное излучение приходит к нашей планете непосредственно из космического пространства. Оно практически не достигает поверхности Земли. Магнитное поле нашей планеты отклоняет основную часть заряженных частиц, движущихся в направлении Земли. Лишь малая часть первичных космических лучей «прорывается» через магнитосферу и достигает верхних слоев земной атмосферы.

В атмосфере Земли частицы первичных космических лучей сталкиваются с ядрами атомов азота и кислорода, которые входят в состав атмосферного воздуха, и образуют новые частицы. Такие частицы, рожденные в атмосфере Земли, вместе с электромагнитным излучением, которое сопровождает их рождение, называют вторичным космическим излучением.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Полностью защититься от «космического душа» невозможно. Космические лучи бомбардируют нашу планету с момента ее образования. При этом одни участки земной поверхности более подвержены космической радиации, а другие — меньше. Например, Северный и Южный полюсы меньше защищены от космической радиации, чем экваториальные области. На больших высотах (например, в горах) мы больше подвержены воздействию космического излучения, потому что с увеличением высоты уменьшается слой воздуха, который защищает Землю от излучения. Реальную опасность космические лучи представляют лишь для космонавтов.

Космическое излучение и излучение радионуклидов земной коры в сумме образуют, так называемый, *естественный радиационный фон*. На протяжении всей истории своего существования живые организмы приспособилась к излучениям естественного происхождения, и, как правило, они не представляют большой опасности для живых организмов.
.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

13.2 Шестой класс

Урок 1. Атомы устойчивые и неустойчивые. Радиоактивность.

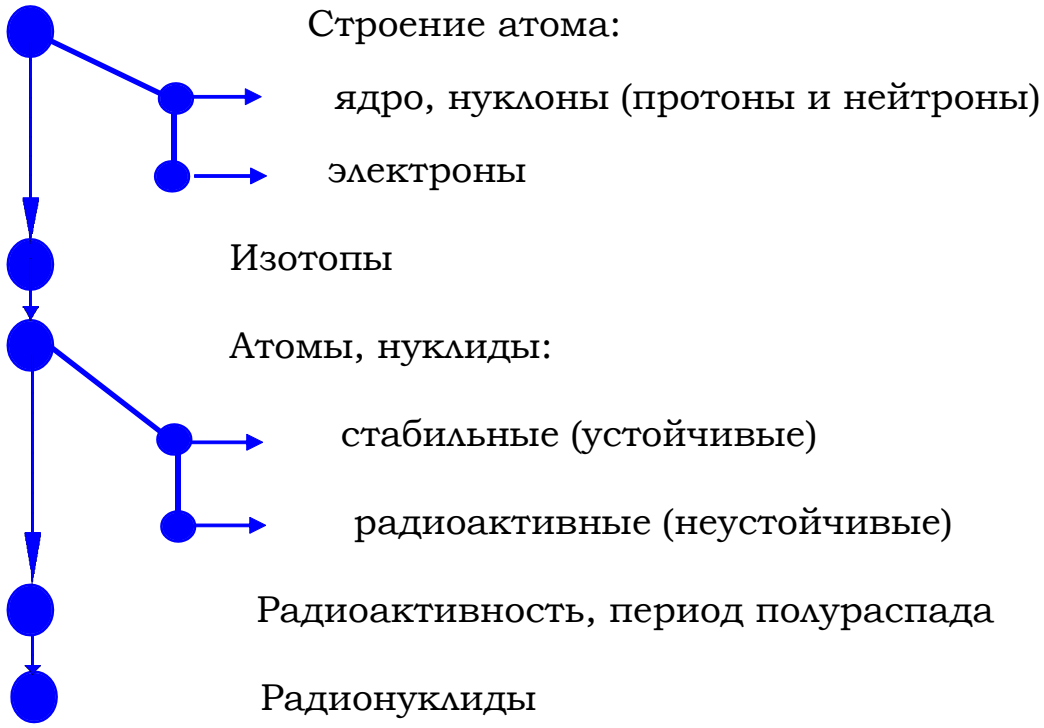
Задачи: познакомить учащихся с особенностями строения атомов; сформировать элементарные понятия: нуклон, устойчивые и неустойчивые атомы, нуклид, изотопы и радиоактивность, радионуклиды; развивать умение читать таблицы, схемы.

Оборудование: таблицы: «Заряд и масса элементарных атомных частиц»*; «Периодическая система химических элементов Д.И. Менделеева», рисунки со схематическим изображением строения атомов различных изотопов водорода.

Ход урока

I. **Организационный момент**

II. **Опорные точки урока**



III. **Актуализация опорных знаний**. Беседа.

Из курса «Природоведение» и «Вселенная» Вы уже знаете, что природой называют все, окружающее нас. Отдельные элементы природы называют телами. Тела (живые и неживые) состоят из веществ.

* Рисунки, схемы и таблицы могут быть взяты из текста методического пособия для учителей «Основы радиоэкологии и безопасной жизнедеятельности», том I

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Из чего же состоят вещества?

Примерный ответ. Вещества состоят из атомов и молекул. Вещества, состоящие из одинаковых атомов (атомов одного и того же химического элемента) называют простыми. Вещества, состоящие из разных атомов (атомов двух и более химических элементов), называют сложными. Атомы образуют молекулы. Молекула — это наименьшая частица вещества, которая сохраняет все химические свойства вещества. Атомы и молекулы находятся в постоянном движении.

Что мы знаем об атомах?

Примерный ответ. Атомы — это наименьшие химически неделимые частицы вещества, основные кирпичики, из которых построено все вокруг нас.

IV. **Постановка учебной задачи**

Сегодня нам предстоит расширить свои знания о строении атома, узнать, что атомы могут быть устойчивыми и неустойчивыми; выяснить, какая связь между неустойчивостью атома и таким явлением как радиоактивность

V. **Изучение нового материала**

По своему строению атом напоминает миниатюрную Солнечную систему и состоит из ядра и движущихся вокруг него электронов. Очень плотное тяжелое ядро располагается в центре атома. Оно состоит из положительно заряженных *протонов* и не имеющих заряда *нейтронов*. Поэтому ядро имеет положительный заряд. Протоны и нейтроны, составляющие атомное ядро, называют *нуклонами* (от латинского «*nucleus*», что означает ядро), они имеют одинаковую массу, примерно равную 1 условной единице — 1 атомной единице массы (1 а.е.м.).

В атомном ядре нуклоны находятся на определенном расстоянии друг от друга и удерживаются в нем мощными ядерными силами притяжения. Энергия связи нуклонов в ядре атома значительно превосходит энергию химической связи атомов в молекуле. В процессе химических превращений ядра атомов не разрушаются, происходит лишь перегруппировка атомов. Поэтому атом является химически неделимой частицей.

Ядро окружают легкие, отрицательно заряженные частицы — *электроны*, которые по размерам и массе значительно уступают нуклонам. Заряд электрона условно принят за единицу отрицательного заряда. Заряд протона равен заряду электрона, но противоположен ему по знаку. Масса электрона примерно в 1 840 раз меньше массы протона. Поэтому практически вся масса атома сосредоточена в ядре. Она определяется массой протонов и нейтронов, которые содержатся в ядре. Электрон, протон и нейтрон называют *элементарными частицами*.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Работа с таблицей 1 « **Заряд и масса элементарных атомных частиц**»

Таблица 1. **Заряд и масса элементарных атомных частиц**

Элементарная частица	Относительный заряд	Масса покоя, а.е.м.
протон, p	+1	1,0073
нейтрон, **n**	0	1,0087
электрон, *e*	-1	$1/1840 = 5{,}4858 \cdot 10^{-4}$

Какие заряды имеют протон и нейтрон? А протон и электрон? От каких частиц зависит заряд ядра? Как Вы думаете, чему будет равен заряд ядра?

Обратите внимание на массу каждой из элементарных частиц.

Объяснение учителя

В целом, атом электрически нейтрален, так как число протонов в его ядре равно числу электронов, и положительный заряд ядра уравновешен отрицательным зарядом окружающих его электронов.

Работа с Периодической системой химических элементов Д.И. Менделеева

Ядра атомов одного и того же химического элемента всегда содержат одинаковое число протонов. Например, все атомы углерода содержат в ядре по 6 протонов, а все атомы азота — по 7 протонов. Обратите внимание на то, что порядковый номер элемента в Периодической таблице химических элементов Д.И. Менделеева соответствует количеству протонов в ядрах атомов этого элемента.

6	7
C Углерод	N Азот

Ядра атомов одного и того же химического элемента всегда содержат одинаковое количество протонов, но могут отличаться по количеству содержащихся в них нейтронов.

Введение понятия изотопа

Атомы одного и того же химического элемента, содержащие одинаковое количество протонов и разное количество нейтронов в ядре, называют *изотопами*.

Так как количество протонов в атомных ядрах, а, следовательно, и заряд ядер изотопов одинаков, они имеют одинаковый порядковый номер и занимают одинаковое положение в Периодической системе химических

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

элементов Д.И. Менделеева, т.е. являются атомами одного и того же химического элемента. Изотопы отличаются по количеству нейтронов в ядрах атомов, а, значит, они отличаются по величине атомной массы.

Названия и символы изотопов, как правило, совпадают с названием и символом соответствующего химического элемента. Исключение составляют изотопы водорода, которые имеют свои названия. Известно три изотопа водорода — протий, дейтерий и тритий.

Каждый *изотоп — это совокупность атомов одного и того же химического элемента, имеющих определенное количество протонов и нейтронов в ядре.*

В природных условиях химический элемент, как правило, пред–ставляет собой смесь различных изотопов элемента. Поэтому массовые числа большинства химических элементов, указанные в Периодической системе, представляют собой средние величины, установленные с учетом содержания каждого изотопа элемента в окружающей среде, и не всегда являются целыми числами.

Рассмотрите рисунок со схематическим изображением строения атомов протия, дейтерия и трития. Что общего у атомов этих изотопов и чем они отличаются?

Примерный ответ. Атомы изотопов водорода имеют по одному протону в ядре и по одному электрону, движущемуся вокруг ядра. Отличаются изотопы водорода по количеству нейтронов, содержащихся в атомном ядре.

Учитель в ходе объяснения заполняет заранее вычерченную на доске таблицу, а учащиеся переносят ее в тетрадь.

Название изотопа водорода	Состав атомного ядра		Число электронов (**e**)
	Число протонов (p)	Число нейтронов (n)	
Протий (^1H)	1	0	1
Дейтерий (^2D)	1	1	1
Тритий (^3T)	1	2	1

Работа с пособием

Найдите в тексте пособия определение изотопа, запишите его в тетрадь.

Изотоп — это совокупность атомов одного и того же химического элемента, имеющих определенное количество протонов и нейтронов в ядре.

Практически каждый химический элемент в природных условиях представлен смесью различных изотопов, например, водород, — протием, дейтерием и тритием.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Изотопы — это атомы одного и того же химического элемента, имеющие одинаковое количество протонов в ядре, но отличающиеся по числу содержащихся в нем нейтронов.

Так, в ядре *протия* содержится только один протон, в ядре *дейтерия* — один протон и один нейтрон, а в ядре *трития* — один протон и два нейтрона.

Введение понятия «нуклид»

В современной научной литературе широкое распространение получил термин «нуклид».

Нуклид — это атом, который характеризуется определенным числом протонов и нейтронов в ядре.

▶ **Введение понятий: стабильные (устойчивые) и радиоактивные (неустойчивые) нуклиды, радиоактивность, радионуклид.**

Существуют устойчивые (стабильные) и неустойчивые (радио-активные) нуклиды. Устойчивые нуклиды имеют ядра практически неизменного состава. Ядра неустойчивых нуклидов самопроизвольно распадаются, независимо от того, где они находятся.

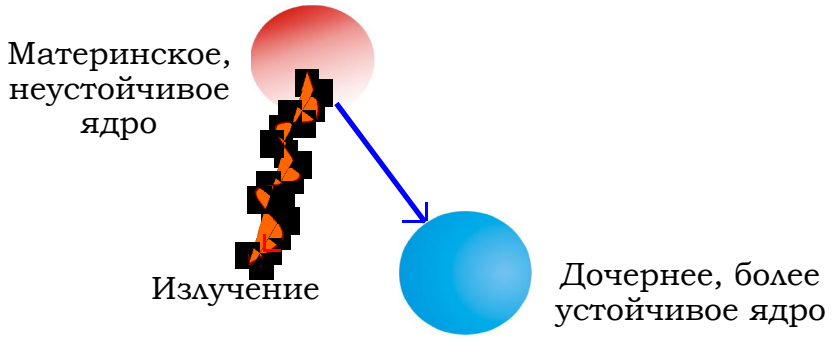
Например, изотопы углерода ^{12}C и ^{13}C, стабильны, а остальные 6 известных изотопов углерода — нестабильны, т. е. радиоактивны (^{9}C, ^{10}C, ^{11}C, ^{14}C, ^{15}C, ^{16}C).

Невозможно точно предсказать, будут ли определенные нуклиды устойчивыми или неустойчивыми. Точно установить это можно только на практике.

Так, изотопы водорода протий (^{1}H) и дейтерий ($^{2}Д$) — устойчивы, а тритий (^{3}T) — неустойчив (радиоактивен), и его ядро может самопроизвольно распадаться с испусканием *бета-* частиц.

Неустойчивые атомные ядра обладают избыточной энергией и стремятся перейти в более устойчивое состояние, в котором новое образовавшееся атомное ядро обладает меньшей энергией. В результате, одни атомные ядра, которые называют *материнскими*, самопроизвольно превращаются в другие, более устойчивые атомные ядра, называемые *дочерними*. Часть энергии уносится из материнского ядра в виде излучения. Любое самопроизвольное превращения атомных ядер сопровождается излучением.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



Радиоактивность — это самопроизвольное превращение неустойчивых атомных ядер в более устойчивые ядра, сопровождающееся выделением энергии в виде излучения.

Неустойчивые нуклиды, ядра которых самопроизвольно превращаются в другие, более устойчивые атомные ядра, называют *радиоактивными нуклидами* или *радионуклидами*.

Термин «***радионуклид***» произошел от латинских слов *"radiare"* — излучать, испускать лучи и *"nucleus"* — ядро.

Радионуклиды — это неустойчивые нуклиды, ядра которых самопроизвольно превращаются в атомные ядра других химических элементов или других изотопов одного и того же элемента с выделением в окружающую среду энергии в виде излучения.

Невозможно предсказать, когда точно произойдет распад неустойчивого атомного ядра. Отдельное неустойчивое атомное ядро может самопроизвольно превратиться в более устойчивое ядро в любое мгновение. Это может произойти через доли секунды, через несколько минут, через час, через сутки и т. д. Однако, когда имеется достаточно большое количество атомов определенного радиоактивного изотопа (радиоизотопа), ситуация вполне определенная. Половина любого количества атомов конкретного радиоизотопа всегда распадается за определенный промежуток времени, который называют *периодом полураспада*

Период полураспада — это промежуток времени, за который распадается половина любого количества радиоизотопа.

Период полураспада является одной из важнейших характеристик радиоизотопа.

Продолжительность периода полураспада различных радионуклидов может составлять от миллионных долей секунды до нескольких миллиардов лет. За промежуток времени, в 10 раз превышающий период полураспада, любой радиоизотоп практически полностью распадается.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

VI. **Закрепление изученного материала**.

1. **Дайте определение атома**.

Ø *Атом — это электронейтральная микросистема, состоящая из положительно заряженного ядра и отрицательно заряженных электронов.*

2. **Назовите элементарные частицы, входящие в состав атома**.

Ø *Это — протоны, нейтроны и электроны. Количество протонов в ядре определяет заряд ядра и количество электронов в атоме, а также порядковый номер химического элемента в Периодической системе элементов.*

3. **Какие частицы определяют заряд ядра и порядковый номер химического элемента? Чему равен заряд ядра и порядковый номер химического элемента?**

Ø *Заряд ядра и порядковый номер химического элемента определяют протоны. Заряд ядра и порядковый номер химического элемента равны числу протонов в ядре атомов химического элемента.*

4. **Что такое изотопы?**

Ø *Изотопы — атомы одного и того же химического элемента с одинаковым количеством в ядрах протонов, но отличающиеся по числу содержащихся в них нейтронов.*

5. **Что такое нуклид?**

Ø *Нуклид — это атом, который характеризуется определенным числом протонов и нейтронов в ядре.*

6. **Чем отличаются устойчивые нуклиды от неустойчивых?**

Ø *Устойчивые нуклиды имеют ядра практически неизменного состава. Неустойчивые нуклиды самопроизвольно распадаются и превращаются в атомы других химических элементов или других изотопов одного и того же элемента с выделением в окружающую среду энергии в виде излучения.*

7. **Как называется самопроизвольное превращение неустойчивого атомного ядра в более устойчивое атомное ядро?**

Ø *Самопроизвольное превращение неустойчивых атомных ядер в более устойчивые атомные ядра, которое сопровождается выделением энергии в виде излучения, называется радиоактивностью.*

VII. **Задание на дом**

1). Нарисовать схему строения различных изотопов водорода: протия ($^{1}\boldsymbol{H}$), дейтерия (^{2}D) и трития ($^{3}\boldsymbol{T}$).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

3). Когда произошел полный распад радиоактивного йода, если его выброс завершился 1 мая 1986 года?

Ответ: К 20 июля 1986 года.

Урок 2. Излучения, сопровождающие процессы ядерных превращений

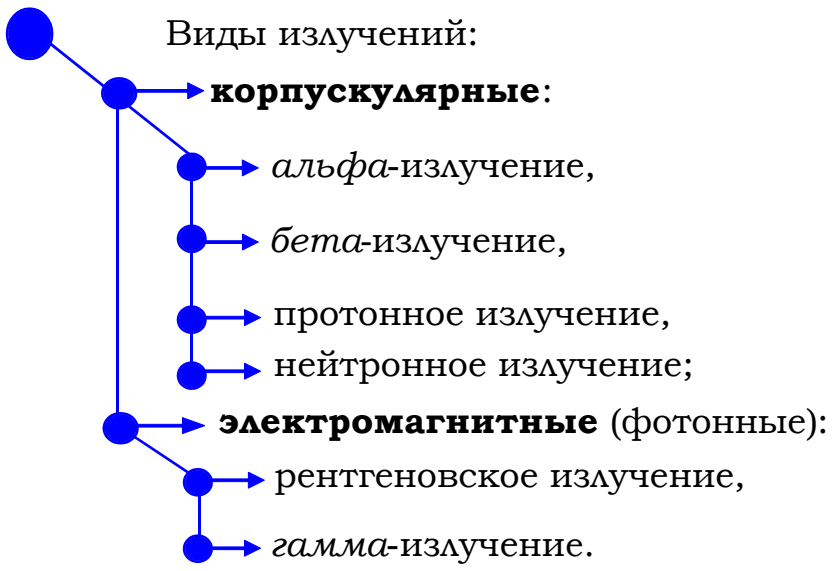
Задачи: сформировать представление об основных видах излучений, сопровождающих процессы радиоактивных превращений неустойчивых нуклидов; продолжить формирование умения работать с учебником, таблицами, рисунками и текстами как источниками информации.

Оборудование: карточки с заданиями; таблица, в которой приведен состав ядер изотопов водорода и изотопов урана; рисунки, на которых сравнивается пробег *альфа-* и *бета*-частиц в воздухе и представлены материалы, задерживающие эти излучения.

Ход урока

I. **Организационный момент**

II. **Опорные точки урока**



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

III. **Актуализация опорных знаний**

Работа по карточкам с заданиями.

Текст заданий на карточках:

1. Схематически изобразите строение любого атома, закрасив ядро красным цветом, а область, где находятся электроны, — синим. Стрелками укажите, где находятся протоны и нейтроны.
2. Чему равен заряд ядра атома кислорода?

   Ø *+8.*
3. Сколько электронов в атоме углерода?

   Ø *6.*
4. Дайте определение изотопа.

   Ø *Изотоп — это совокупность атомов одного и того же химического элемента, имеющих определенное количество протонов и нейтронов в ядре.*
5. Что такое нуклид?

   Ø *Нуклид — это атом, который характеризуется определенным числом протонов и нейтронов в ядре.*
6. Чем устойчивые нуклиды отличаются от неустойчивых?

   Ø *Атомные ядра неустойчивых нуклидов самопроизвольно распадаются , а устойчивых сохраняются практически неизменными.*
7. Что такое радиоактивность?

   Ø *Радиоактивность — это самопроизвольное превращение неустойчивых атомных ядер в более устойчивые ядра, сопровождающееся выделением энергии в виде излучения.*

IV. **Изучение нового материала**

▶ **Вступительное слово учителя**

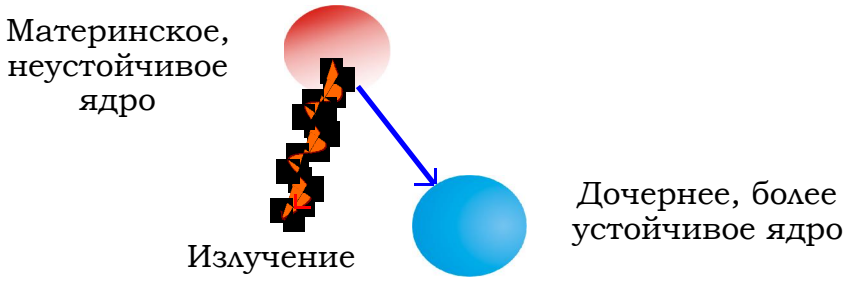
Из первичных радионуклидов, попавших на Землю в процессе ее формирования, сейчас можно встретить лишь те из них, которые еще не успели подвергнуться радиоактивному распаду за время существования планеты.

Ядерные превращения неустойчивых атомов происходят независимо друг от друга. За конкретный промежуток времени определенная часть атомов радиоактивного изотопа обязательно распадается.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

● **Нарисуйте в тетради схему распада неустойчивого (радиоактивного) нуклида.**

Учащиеся воспроизводят схему из предыдущего урока.



V. **Постановка учебной задачи**

Итак, в левой части схемы Вы выделили излучение. Сегодня мы познакомимся с разными видами излучения, которые могут сопровождать превращения атомных ядер.

Существует несколько видов излучения, сопровождающих превращения атомных ядер. Эти излучения отличатся по своей природе, энергии, глубине проникновения в вещество и степени воздействия на живые организмы.

Выделяютдве группыизлучений *корпускулярные*и *электромагнитные (фотонные)*.

«*Корпускула*» в переводе с латинского означает «частица».

Фотон — это порция (квант) энергии электромагнитного излучения, обладающий свойствами волны и частицы.

(Учитель в процессе объяснения рисует на доске схему)

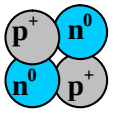
Виды излучений:

корпускулярные	***электромагнитные* (*фотонные*)**
1) *альфа*-излучение	1)рентгеновское излучение
2) *бета*-излучение	2)*гамма*-излучение
3) протонное излучение	
4) нейтронное излучение	

Корпускулярное излучение представляет собой поток быстро-движущихся частиц.

▶ **Что же представляет собой *альфа*-излучение?**

Альфа*-излучение** (а) — это поток положительно заряженных *альфа*-частиц. Каждая *альфа*-частица состоит из двух протонов и двух нейтронов, которые прочно связаны между собой ядерными силами. Фактически, *альфа*-частицы представляют собой ядра атомов гелия (^{4}He***). Масса *альфа*-частицы равна 4 а.е.м., ее заряд — +2.



α- частица

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

В любом веществе *альфа*-излучение быстро теряет свою энергию, отдавая его окружающим атомам и молекулам, и поэтому проникает в него неглубоко.

Что представляет собой *бета*-излучение?

***Бета*-излучение (*b*) — это поток быстро движущихся свободных электронов** (*бета*-частиц).

Бета-частицы могут вылетать из ядра при распаде радионуклидов с избыточным содержанием нейтронов в ядре. При таком типе ядерного распада *бета*-частицы образуются в ядре атома в результате превращения нейтрона в протон:

$$^{1}n \longrightarrow {}^{1}p + b^{-}$$

Образовавшийся протон остается в ядре, а электрон (*бета*-частица) покидает атомное ядро. Значительно меньшие по размерам *бета*-частицы глубже проникают в вещество, чем более крупные *альфа*-частицы.

Бета-частицы выделяются, например, при распаде радиоактивного изотопа водорода — трития (^{3}T).

Кроме *альфа*- и *бета*-излучений, к корпускулярным видам излучения относятся также потоки любых свободно перемещающихся частиц, например, положительно заряженных протонов (*протонное* излучение) или не имеющих заряда нейтронов (*нейтронное* излучение).

Во вторую группу излучений входят *рентгеновское* и *гамма*-излучения, которые относятся к *электромагнитным* (*фотонным*) излучениям.

Электромагнитное (фотонное) излучение — это разновидность электромагнитных волн, которые переносят энергию в пространстве строго определенными порциями — квантами (фотонами).

***Рентгеновское и гамма*-излучения (*g*) представляют собой разновидности коротковолнового электромагнитного излучения.**

Оба вида излучения имеют одинаковую природу: и те, и другие представляют собой невидимые электромагнитные волны, которые распространяются в вакууме со скоростью примерно *300 000 км/с*.

Гамма-лучи, как и рентгеновские, не несут электрического заряда. Энергия фотонов рентгеновского и *гамма*-излучения различна, энергия фотонов *гамма*-излучения обычно выше.

С рентгеновскими лучами сталкивался каждый, кто проходил медицинское обследование.

***Гамма*-излучение, как правило, сопровождает распад радионуклидов.**

Все виды излучения, сопровождающие процессы ядерных превращений, ионизируют вещество, через которое они проходят, поэтому их называют *ионизирующими* излучениями.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Из курса «Вселенная» Вы знаете, что существуют положительно и отрицательно заряженные частицы, которые называются *ионами*.

Положительно заряженные ионы — это атомы или молекулы, потерявшие один или несколько электронов. Их называют *катионами*. Они могут образоваться, когда электронейтральные атомы и молекулы теряют электроны под действием *альфа-*, *бета-* или *гамма*-излучения, попавшего в вещество. Электроны, покинувшие атомы или молекулы, становятся свободными. Однако в таком состоянии они не могут долго существовать и очень быстро присоединяются к другим атомам или молекулам с образованием отрицательно заряженных ионов, которые называют *анионами*.

VI. Закрепление изученного материала

Какие нуклиды существуют в природе?

Примерный ответ. В природе существуют устойчивые (стабильные) и неустойчивые (нестабильные) нуклиды. Ядра нестабильных нуклидов (радионуклидов) самопроизвольно распадаются.

Что является результатом радиоактивного распада?

Примерный ответ. Основным результатом радиоактивного распада является образование более устойчивых атомных ядер.

Какое явление сопровождает процесс радиоактивного распада неустойчивых атомных ядер?

Примерный ответ. Процесс радиоактивного распада неустойчивых атомных ядер всегда сопровождается испусканием энергии в виде ионизирующего излучения.

Можно ли органами чувств ощутить присутствие ионизирующего излучения?

Примерный ответ. Нет. Все виды ионизирующего излучения нельзя увидеть, услышать или почувствовать; они не имеют ни цвета, ни вкуса, ни запаха.

Какие ионизирующие излучения относятся к корпускулярным излучениям?

Примерный ответ. К корпускулярным излучениям относятся *альфа-*, *бета-*, протонное и нейтронное излучения.

Какие ионизирующие излучения представляют собой электромагнитные волны и относятся к группе электромагнитных (фотонных) излучений?

Примерный ответ. Рентгеновское и *гамма*-излучение представляют собой электромагнитные волны и относятся к группе электромагнитных (фотонных) излучений.

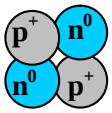
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

VII. **Задание на дом**

Изучить *§ 2* ***и выполнить следующие задания****:*

1). Ответьте, что такое *альфа*-частицы? Нарисуйте схематически строение *альфа*-частицы.

Ответ: Альфа-частицы представляют собой ядра атомов гелия (^{4}***He***). Масса каждой *альфа*-частицы равна 4 а.е.м., а ее заряд — +2. Она состоит из двух протонов и двух нейтронов, которые прочно связаны между собой ядерными силами притяжения.



α- частица

2) Сравните массы *покоя альфа*-частицы и протона. Какая частица обладает большей массой покоя? Во сколько раз?

Ответ: масса альфа-частицы примерно в 4 раза больше массы протона.

3) Чем отличается протон от нейтрона?

Ответ: Протон имеет положительный заряд, а нейтрон не имеет заряда.

4) Как Вы думаете, к какой группе излучений относится видимый свет?

Ответ: видимый свет представляет собой электромагнитные волны и относится к электромагнитным (фотонным) видам излучения, при этом он не является ионизирующим излучением.

Урок 3. **Космическое излучение. Радиационный фон окружающей среды.**

Задачи: познакомить учащихся с особенностями космического излучения; дать понятие о радиационном фоне; развить умение работать с текстом, читать диаграммы, составлять схемы во время объяснения учителя.

Оборудование: диаграмма: «Состав частиц первичного космического излучения галактического происхождения», рисунки со схематическим изображением магнитного поля и радиационных поясов Земли.

Ход урока

I. **Организационный момент**

II. **Проверка ранее изученного материала** (15 – 20 минут по двум вариантам).

Вариант *I*

1. Найдите верный ответ и обведите кружком букву, которой он обозначен. К корпускулярным излучениям **не** относится:

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

а) *альфа*-излучение,

б) *бета*-излучение,

в) рентгеновское излучение,

г) протонное излучение.

Ответ: к корпускулярным излучениям не относится рентгеновское излучение.

2. Дайте определение изотопов.

Ответ: изотопы — это атомы одного и того же химического элемента, имеющие одинаковое количество протонов в ядре, но отличающиеся по числу содержащихся в нем нейтронов.

3. Из предложенного ниже списка слов и словосочетаний выберите нужные и вставьте их в текст.

«Разные виды излучения отличаются по своей природе, …, глубине проникновения в вещество и … … на живые организмы.

Выделяют две группы излучений: … и *электромагнитные (фотонные)*. Корпускулярное излучение представляет собой поток … … … . *Альфа*-излучение (a) — это поток … заряженных частиц. … … — это поток свободных быстро движущихся электронов».

Используйте следующие слова и словосочетания энергии, корпускулярные, степени воздействия, положительно, бета-излучение (b), быстродвижущихся частиц.

Ответ: «Разные виды излучения отличаются по своей природе, энергии, глубине проникновения в вещество и степени воздействия на живые организмы.

Выделяют две группы излучений: корпускулярные и электромагнитные (фотонные). Корпускулярное излучение представляет собой поток быстро движущихся частиц. Альфа-излучение (a) — это поток положительно заряженных частиц. Бета-излучение (b) — это поток свободных быстро движущихся электронов».

4. Нарисуйте схематически строение *альфа*-частицы. Объясните, как *альфа*-излучение ионизирует вещество?

Примерный ответ: При попадании в вещество альфа-частицы сталкиваются с атомами или молекулами вещества и отдают им свою энергию. Получившие избыточную энергию атомы теряют один или несколько электронов. Атом (или молекула, в состав которой входил атом, потерявший электрон), превращается в положительно заряженный ион — катион. Освободившийся электрон вскоре присоединяется к другому электронейтральному атому или молекуле, что приводит к образованию отрицательно заряженных ионов — анионов.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

***Вариант** II*

1. Найдите два верных ответа и обведите кружками буквы, которыми они обозначены. К электромагнитным излучениям **не** относятся:

   а) нейтронное,
   б) гамма-излучение,
   в) рентгеновское,
   г) альфа-излучение.

   *Ответ: электромагнитные излучения — это разновидности электромагнитных волн; к ним **не** относятся нейтронное и альфа-излучение.*

2. Дайте определение радиоактивности.

   Ответ: Радиоактивность— это самопроизвольноепревращение неустойчивых атомных ядер в более устойчивые ядра, сопровождающееся выделением энергии в виде излучения.

3. Из предложенного ниже списка слов и словосочетаний выберите нужные и вставьте их в текст.

«*Гамма*-излучение (*g*), как и …, представляет собой … … излучение. *Гамма*-лучи, как и рентгеновские, не несут … … .Рентгеновское излучение можно получить … в рентгеновской трубке. … … всегда сопровождает ядерные превращения.

Используйте следующие слова и словосочетания: рентгеновское, искусственно, коротковолновое электромагнитное, электрического заряда, гамма-излучение.

Ответ:

«Гамма-излучение (g), как и рентгеновское, представляет собой коротковолновое электромагнитное излучение. Гамма-лучи, как и рентгеновские, не несут электрического заряда. Рентгеновское излучение можно получить искусственно в рентгеновской трубке. Гамма-излучение всегда сопровождает ядерные превращения.

4. Опишите процесс образования *бета*-частиц при радиоактивном распаде.

   Ответ: Бета-частицы могут вылетать из ядра при распаде радионуклидовс избыточным содержаниемнейтронов в ядре. При таком типе ядерного распада бета-частицы образуются в ядре атома в результате превращения нейтрона в протон:

$$^{1}n \longrightarrow {}^{1}p + b^{-}$$

   Образовавшийся протон остается в ядре, а электрон (бета-частица) покидает атомное ядро.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

III. **Опорные точки урока**



IV. **Постановка учебной задачи**

Сегодня мы познакомимся с ионизирующим излучением, поступающим на Землю из космоса ; узнаем , из чего состоит излучение , поступающее от ближайшей к нам звезды Солнца и из далекого космического пространства; что происходит с космическим излучением при прохождении через атмосферу Земли; что защищает Землю от опасной для всего живого части космического излучения.

V. **Изучение нового материала** (20 – 25 минут)

▶ **Радиационный фон окружающей среды**

Радиация (излучение) существовала в Космосе задолго до возникновения Солнечной системы и присутствовала на Земле еще до зарождения на ней жизни. Человек живет в мире, неотъемлемой частью которого являются излучения. Окружающий мир наполнен различного рода излуче-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

ниями, как ионизирующими, так и неионизирующими. Ионизирующие излучения существуют в природе и могут быть получены человеком искусственно . Излучения природного происхождения определяют *естественный радиационный фон* окружающей среды, искусственно созданные человеком источники излучения увеличивают его. Определение роли природных и антропогенных (связанных с деятельностью человека) факторов в формировании радиационного фона окружающей среды — важнейшая задача радиоэкологии.

1. **Продолжим знакомство с космическим излученем**

Космическое излучение приходит к нам из далеких галактик и от ближайшей к нам звезды — Солнца. Все, что находится на поверхности Земли, подвергается воздействию космического излучения. В состав излучения, поступающего на Землю из космического пространства, входит и *ионизирующее излучение*. Поэтому космическое излучение является ионизирующим излучением естественного происхождения.

▶ **Запись в тетради**

Космическое излучение — это электромагнитные волны и поток быстро движущихся элементарных частиц и атомных ядер космического происхождения.

В процессе объяснения учитель вычерчивает схему на доске, а дети — в тетради

Различают космическое излучение *галактического* и *солнечного* происхождения. При этом выделяют *первичное* космическое излучение, которое поступает из космического пространства , и *вторичное* космическое излучение , которое образуется при взаимодействии первичного космического излучения с атмосферой Земли.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Схема

Космическое излучение

галактическое

первичное излучение

1) ядра водорода (протоны),
2) ядра гелия (*альфа*-частицы),
3) ядра атомов более тяжелых элементов (преимущественно с зарядом ядра от 3 до 28)

солнечное

первичное излучение

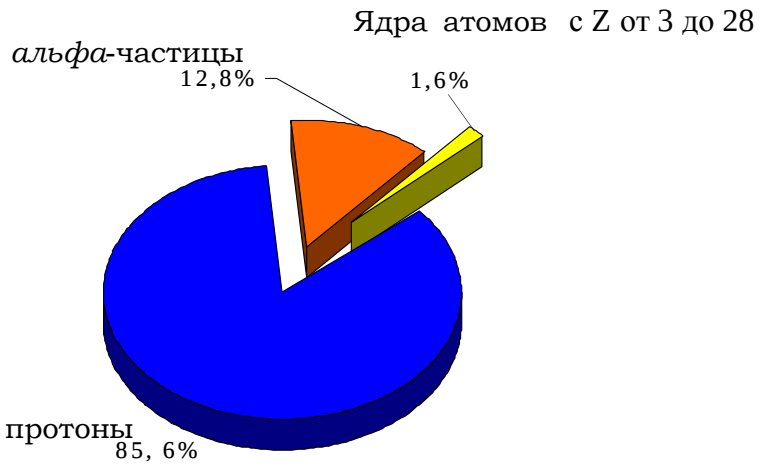
1) электромагнитное излучение (видимый свет, инфракрасное, ультрафиолетовое излучения)
2) поток частиц (протоны, электроны, *альфа*-частицы)

вторичное космическое излучение

1) нейтроны,
2) осколки ядер,
3) электроны и другие элементарные частицы,
4) *гамма*-излучение.

Работа с диаграммой. Рассмотрите диаграмму: «Состав частиц первичного космического излучения галактического происхождения» и определите , каких частиц больше всего содержится в излучении галактического происхождения.

Состав частиц первичного космического излучения галактического происхождения



Z — порядковый номер химического элемента в Периодической системе элементов Д.И. Менделеева.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Как следует из диаграммы и определения космического излучения, галактическое излучение — это, в основном, поток быстро движущихся атомных ядер водорода (протонов) и гелия (*альфа*-частиц). В составе галактического излучения присутствуют в небольшом количестве и ядра атомов более тяжелых элементов (преимущественно с зарядом ядра от 3 до 28), а также незначительное количество других частиц.

Образующиеся в разных местах Галактик космические частицы преодолевают гигантские расстояния. У галактических частиц, поступающих в околоземное пространство, нет какого-либо преобладающего направления движения. Поток галактических частиц со всех сторон равномерно поступает из Космоса на Землю.

Источником солнечной излучения являются процессы ядерных превращений, протекающие на Солнце.

Космическое излучение солнечного происхождения (солнечная радиация) является главным источником энергии для большинства биологических и геохимических процессов, протекающих у поверхности Земли.

▶ Каков состав солнечного излучения?

Солнечная радиация состоит из электромагнитного излучения (фотонная компонента) и потока частиц (корпускулярная компонента).

Электромагнитная часть солнечного излучения, в основном, представлена видимым светом. Вместе с тем, электромагнитная составляющая включает и невидимые компоненты (инфракрасное, ультрафиолетовое и другие виды излучения).

Корпускулярная составляющая солнечного излучения представлена преимущественно

- *протонами*, влетающими в околоземное пространство со скоростью от 300 до 1 500 км/с;
- *электронами*, движущимися со скоростью, близкой к скорости света (~ 300 000 км/с).

Кроме того, в потоке солнечных частиц присутствуют ядра атомов гелия (*альфа*-частицы) и в гораздо меньшем количестве ядра атомов других более тяжелых элементов.

Поток частиц, испускаемых поверхностью Солнца в космическое пространство, называют «*солнечным ветром*».

▶ Что происходит с космическим излучением в атмосфере Земли?

Значительная часть *первичного* космического излучения галактического и солнечного происхождения поглощается в верхних слоях атмосферы Земли. Только часть космического излучения достигает поверхности Земли.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

При попадании в атмосферу частицы *первичного* космического излучения сталкиваются с ядрами атомов, входящих в состав атмосферы. Некоторые из этих столкновений приводят к ядерным превращениям. В результате этих превращений образуются *вторичные* космические частицы — нейтроны, «осколки» ядер (в том числе и атомные ядра радиоактивного изотопа водорода — трития ^{3}T, радиоактивного изотопа углерода ^{14}C и др.), электроны и другие элементарные частицы. Происходящие ядерные превращения сопровождаются также испусканием *гамма*-излучения.

Земной поверхности достигает преимущественно *электромагнитная составляющая* первичного космического излучения. В основном, это *неионизирующие виды* электромагнитного излучения: видимый свет, небольшая часть ультрафиолетового и других видов излучения.

Вместе с тем, земной поверхности достигает и незначительная часть *ионизирующего излучения*, которое представлено как корпускулярной, так и электромагнитной составляющей первичного и вторичного космического излучения. В основном, это составляющие вторичного космического излучения. Отметим, что лишь часть вторичного космического излучения достигает земной поверхности. Эта часть вторичного космического излучения включает излучение радионуклидов, постоянно образующихся в верхних слоях атмосферы и постепенно опускающихся вниз, а также незначительное количества электронов, нейтронов и других элементарных частиц, возникших в результате взаимодействия первичного космического излучения с атомами земной атмосферы и достигших земной поверхности.

Защитная роль магнитного и электрического полей Земли

Наша планета — это огромный магнит. Магнитное поле Земли (геомагнитное поле) простирается на расстояние 70 – 80 тыс. км по направлению к Солнцу и на многие миллионы километров в противоположном направлении. Геомагнитное поле способно захватывать заряженные частицы из потока космических частиц, пролетающих вблизи земной орбиты. В результате, околоземное пространство заполняется заряженными частицами.

Пространство, заполненное заряженными частицам, которые удерживаются геомагнитным полем, называют магнитосферой Земли.

В основном, магнитосферу заполняют протоны и электроны и в незначительном количестве — другие заряженные частицы. В пределах магнитосферы заряженные частицы распределяются неравномерно.

Потоки быстро движущихся заряженных космических частиц (в основном, электронов и протонов), захваченные и удерживаемые геомагнитным полем и заполняющие наиболее близкую к Земле часть магнитосферы, образуют *внутренний* радиационный пояс планеты, а потоки частиц, заполняющих более отдаленную часть магнитосферы — *внешний* радиационный пояс. Частицы, которые заполняют радиационные

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

пояса Земли, захватываются преимущественно из потока частиц, испускаемых Солнцем и называемых *солнечным ветром*. Космические частицы галактического происхождения поступают в околоземное пространство и захватываются геомагнитным полем в значительно меньшем количестве по сравнению с солнечными частицами. Поэтому в радиационных поясах нашей планеты содержится намного меньше галактических частиц, чем солнечных.

Внутренний радиационный пояс состоит преимущественно из протонов. Их максимальная плотность наблюдается над экваториальной областью планеты, на высоте около 3 500 км от земной поверхности.

Внешний радиационный пояс удален от Земли на расстояние от 1 до 8 ее радиусов и состоит из потоков электронов и протонов, с максимальной плотностью частиц на расстоянии 22 000 км от земной поверхности. (Средний радиус Земли составляет 6 367 км).

Движение заряженных космических частиц создает *электрическое поле*. Поэтому Землю окружает не только магнитное, но и электрическое поле, которое простирается на расстояние до 20 000 км от поверхности планеты . Магнитное поле отклоняет к полюсам основную часть заряженных частиц, движущихся в направлении Земли.

Степень защищенности от космической радиации зависит от особенностей геомагнитного поля в данном месте. Наиболее защищены экваториальные области планеты, наименее — районы, прилегающие к Северному и Южному полюсам, где сходятся магнитные силовые линии. Космические частицы, которые прорываются в районе полюсов к Земле, вызывают свечение атмосферы — красивейшее природное явление, которое мы называем «*полярным сиянием*».

Таким образом, наша планета защищена от интенсивной космической радиации магнитным полем и атмосферой. Отсутствие магнитного поля очень быстро привело бы к практически полной ионизации атмосферного воздуха, и жизнь на Земле, скорее всего, стала бы невозможна.

Поскольку атмосфера Земли поглощает космическое излучение, с уменьшением высоты над уровнем моря его интенсивность убывает.

VII. **Задание на дом**

1). Запишите в тетради все известные Вам составляющие Солнечного излучения, достигающие поверхности Земли.

Примерный ответ: земной поверхности достигают видимый свет, ультрафиолетовое , инфракрасное излучения , которые относятся к неионизирующим видам излучений , а также в незначительном количестве гамма-, бета-, рентгеновское , нейтронное, протонное и другие виды ионизирующего излучения, входящие, в основном, в состав вторичного космического излучения.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

2). Ответьте письменно на следующие вопросы:

- Как Вы думаете, если на поверхности Земли место, где нет космического излучения?

  Ответ: такого места на Земле нет.

- Где космическое излучение более интенсивное: на северном или южном полюсе, либо на экваторе?

  Ответ: наиболее интенсивное излучение вблизи полюсов планеты, наименее интенсивное — на экваторе.

- Чем отличается первичное космическое излучение от вторичного космического излучения?

  Ответ: первичное космическое излучение — это излучение, которое непосредственно поступает в околоземное пространство из Космоса, а вторичное космическое излучение образуется в результате взаимодействия *первичного космического излучения с атомами и молекулами земной атмосферы.*

- От чего защищают человека атмосфера и магнитосфера Земли?
  Ответ: атмосфера и магнитосфера Земли защищают все живые организмы планеты от высокоэнергетической части космического излучения и способствуют сохранению жизни на Земле.

- Как Вы думаете , где человек подвергается большему воздействию космического излучения, когда гуляет по берегу реки или летит в самолете?
  Ответ: человек подвергается большему воздействию космического излучения, когда летит в самолете, так как в этом случае его защищает от излучения меньший слой атмосферного воздуха.

Урок 4. Радиационный фон земной коры

Задачи: расширить знания учащихся о космическом излучении; дать понятие о радиационном фоне земной коры; развивать умение работать с текстом, читать диаграммы, составлять схемы во время объяснения учителя.

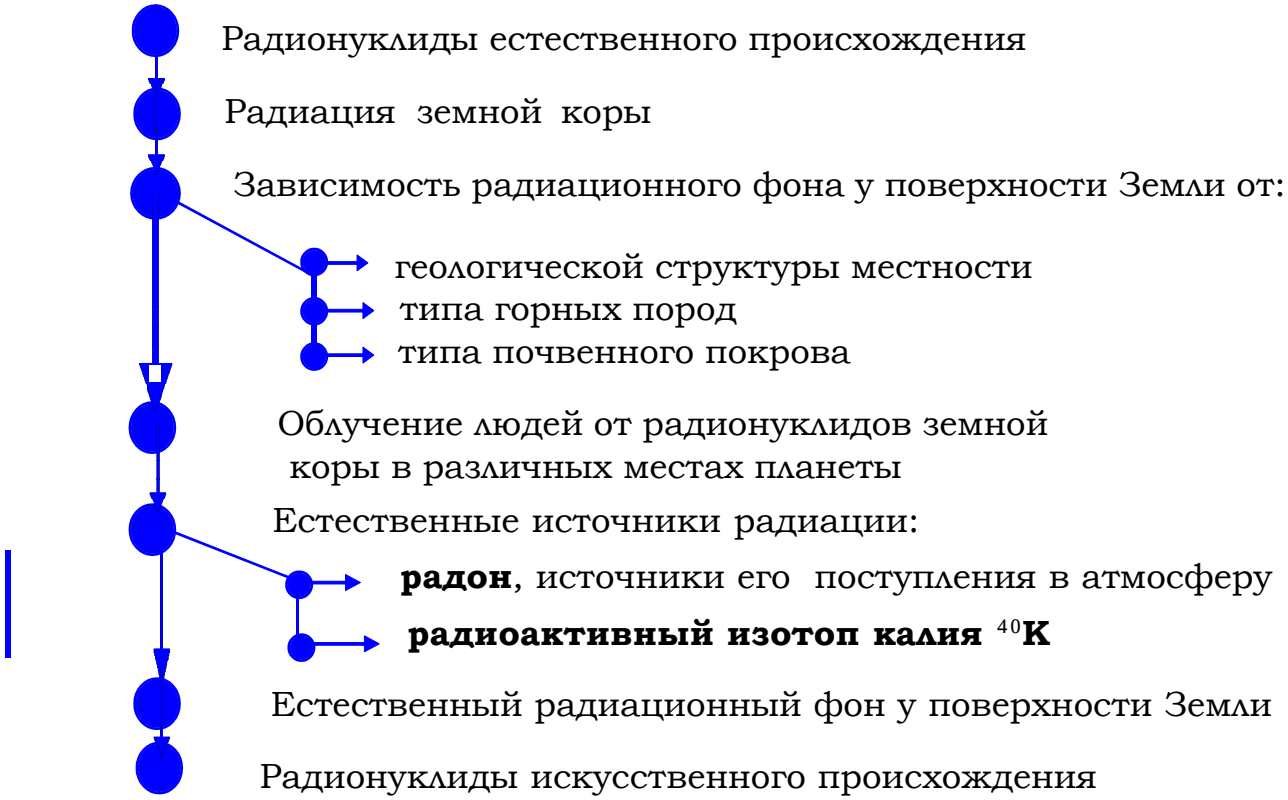
Оборудование: физическая карта мира; коллекция горных пород; коллекция почв; таблица «Характеристики основных радионуклидов Земной коры»; схемы: «Естественный радиационный фон», «Источники поступления радона в атмосферу Земли».

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Ход урока

I. **Организационный момент**

II. **Опорные точки урока**



III. **Актуализация опорных знаний**

Работа по карточкам у доски, фронтальный опрос.

- Нарисуйте Солнце и укажите на его лучах состав первичного и вторичного солнечного излучения.
- Нарисуйте схематически далекие Галактики и укажите на стрелках , условно представляющих космическое излучение галактического происхождения, состав первичного и вторичного галактического излучения.
- Что является источником солнечной энергии?
- Какие излучения входят в электромагнитную (фотонную) составляющую солнечного излучения?
- Чем представлена корпускулярная составляющая солнечного излучения?
- Что представляет собой первичное галактическое излучение?
- Что происходит с первичным космическим излучением при попадании в атмосферу Земли?
- Что входит в состав вторичного космического излучения?
- В чем заключается защитная роль магнитного поля Земли?

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

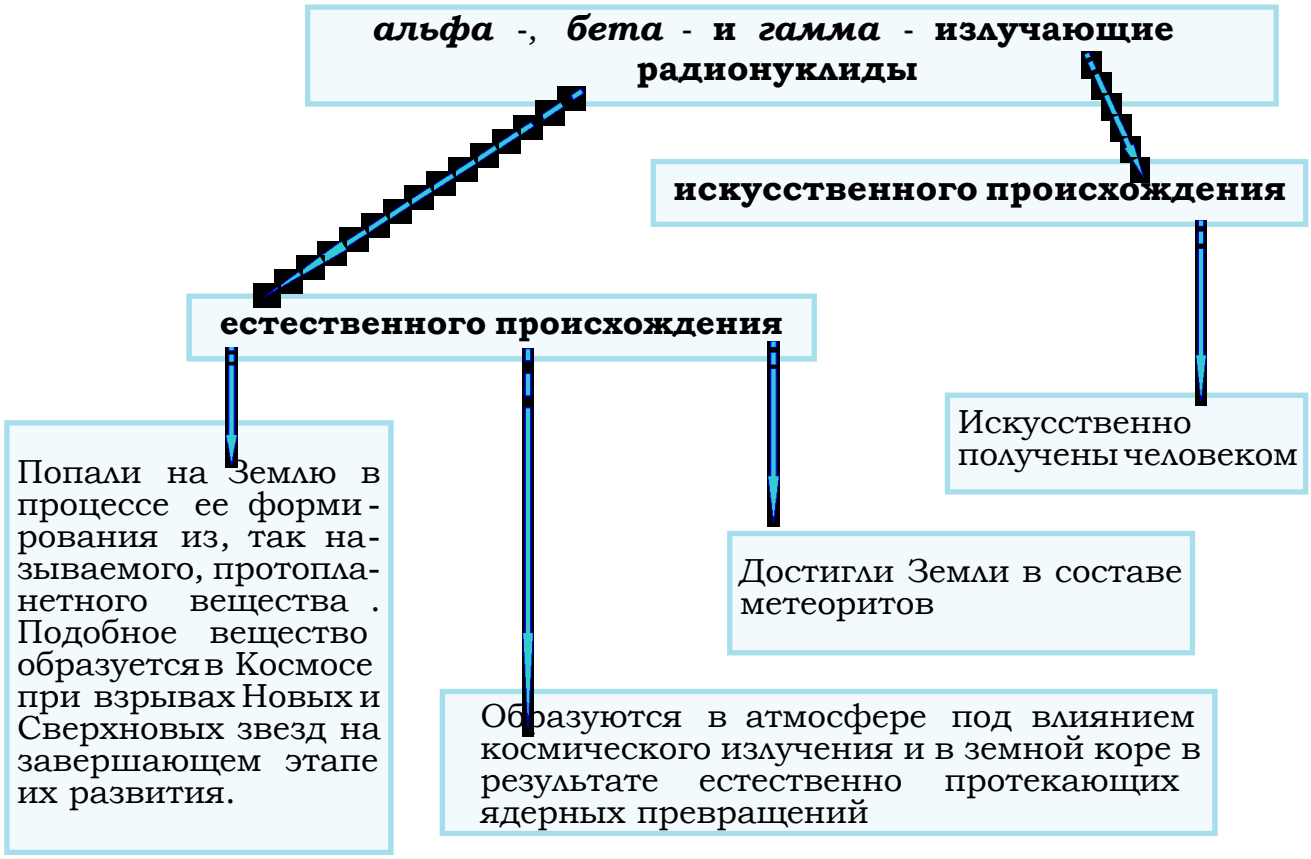
IV. Постановка учебной задачи

На этом уроке мы продолжим изучать ионизирующие излучения и познакомимся с радиационным фоном нашей планеты.

V. Изучение нового материала

▶ Работа со схемой

В настоящее время на Земле присутствуют:



▶ *Радиация земной коры*

При образовании нашей планеты в ее состав вошли уже присутствовавшие в Галактике химические элементы, в том числе и радионуклиды. Со временем часть радионуклидов распалась, и сейчас на планете можно встретить лишь те из них, которые не успели подвергнуться радиоактивному распаду за время существования Земли.

Жизнь на Земле, в основном, сосредоточена у поверхности самой верхней оболочки планеты — земной коры. Поэтому все организмы подвергаются воздействию излучения радионуклидов, которые содержатся в почве, кристаллических породах и других природных образованиях земной коры. Излучение радионуклидов более глубоких слоев планеты поглощается верхними оболочками Земли и не достигает поверхности.

Воды поверхностных водоемов, приземные слои воздуха и сами живые организмы также содержат, хотя и в незначительных количествах, радионуклиды, которые попали в них из земной коры.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Излучение радионуклидов, которые входят в состав всех природных образований земной коры (содержатся в почве, кристаллических породах и других природных образованиях), создают ***естественный радиационный фон земной коры***.

Из радиоактивных нуклидов наиболее часто в земной коре встречаются уран (изотопы ^{238}U и ^{235}U), торий (^{232}Th), калий (^{40}K) и рубидий (^{87}Rb). В среднем, содержание каждого из этих радионуклидов в земной коре превышает 2 г/т.

Характеристики основных радионуклидов земной коры

Радиоизотоп	Период полураспад (миллиардов лет)	Относительное содержание радиоизотопа в природной смеси изотопов данного элемента, %
Уран (^{238}U)	4,47	99,3
Торий (^{232}Th)	14,1	100
Калий (^{40}K)	1,28	0,012
Рубидий (^{87}Rb)	48	27,8
Уран (^{235}U)	0,704	0,72

Радионуклиды ^{238}U, ^{232}Th и менее распространенный изотоп урана ^{235}U являются родоначальниками ***природных*** (***естественных***) ***радиоактивных семейств***. В результате цепочки последовательных радиоактивных распадов атомных ядер образуется множество разнообразных радионуклидов , которые являются членами этих радиоактивных семейств. Все промежуточные члены этих семейств, образующиеся при последовательных радиоактивных распадах неустойчивых атомных ядер, радиоактивны. Конечные же продукты в каждой цепи радиоактивных превращений стабильны — это различные изотопы свинца. Практически весь свинец, который встречается на Земле, образовался в результате распада урана и тория

Таким образом , радионуклиды ^{238}U, ^{232}Th, ^{235}U естественного происхождения и все промежуточные продукты их распада называют природными радиоактивными семействами.

▶ **От чего зависит естественный радиационный фон на поверхности Земли?**

Естественный радиационный фон на поверхности Земли создают:

- космическое излучение, достигшее поверхности планеты,
- излучение естественных радионуклидов земной коры.

Естественный радиационный фон земной коры зависит от геологической структуры местности. Тип горных пород и глубина их залегания существенно влияют на величину радиационного фона у поверхности Земли.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Уран и торий в относительно больших количествах содержатся в гранитах. В тех местах земного шара, где эти породы располагаются ближе к поверхности, уровень радиационного фона местности выше (например, во французских Альпах, Закарпатье, Финляндии, Швеции, Норвегии и других местах).

Различное содержание радионуклидов наблюдается и в почвах, сформированных на разных породах.

Глинистые почвы обычно формируются на породах, более богатых радионуклидами естественного происхождения, чем песчаные почвы. Поэтому глинистые почвы, как правило, содержат больше естественных радионуклидов, чем обычные песчаные почвы. Однако на побережье Индии, Бразилии, США (Айдахо, Флорида) встречается особая разновидность песчаных почв — так называемые, монацитовые пески. Такие пески отличаются повышенным содержанием ***радиоактивного элемента*** — ***тория***, поэтому в тех местах, где встречаются монацитовые пески, наблюдается более высокий радиационный фон местности.

Естественный радиационный фон местности определяет степень облучения людей от естественных источников ионизирующего излучения, в этой местности. В среднем, более чем на 80 % облучение людей от естественного радиационного фона обусловлено радионуклидами , присутствующими в земной коре. Обычно степень облучения людей от любых источников ионизирующего излучения оценивают по величине дозы облучения, получаемой ими в течение года и обычно выражаемой в миллизивертах (*мЗв*). Более подробно с дозами облучения мы познакомимся в восьмом классе.

Основная часть населения Земли живет в местах, где годовая доза облучения от радионуклидов земной коры составляет $0,3 - 0,6$ ***мЗв в год***.

Небольшая часть населения живет в местах, где эта доза облучения составляет 1,0 – 1,5 мЗв в год.

Между тем, на Земле есть такие места (в США, Бразилии, Нигерии, Франции, Индии, Иране и других странах), где повышенное содержание радионуклидов в земной коре обуславливает получение местными жителями в 100 раз больших доз облучения. Как правило, такие места находятся в труднодоступных местах с невысокой плотностью населения.

Есть на Земле и места, где радиационный фон даже ниже, чем в среднем по планете. К таким местам до Чернобыльской катастрофы в Беларуси относилось и Полесье.

Радон

Во всех естественных радиоактивных семействах, присутствующих в настоящее время на Земле, промежуточными продуктами распада являются радиоактивные изотопы ***радона*** (Rn).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

В обычных условиях *радон* — это невидимый газ, который более, чем в 7 раз тяжелее воздуха. Он повсюду постоянно освобождается из земной коры и поступает в атмосферу. Количество выделяющегося радона неодинаково в разных местах планеты, поэтому его содержание в атмосферном воздухе (вне помещений) существенно различается для разных мест земного шара.

Рассмотрим источники поступления радона в атмосферу Земли.

Работа с диаграммой
«Источники поступления радона в атмосферу Земли»



Как видно из диаграммы, основная часть радона поступает в атмосферу Земли из почвы, значительно меньше — из грунтовых вод и растительности и совсем небольшая часть — из вод океанов и морей, природного газа и угля. Радон может поступать в атмосферный воздух и из строительных конструкций, поскольку строительные материалы изготавливают из природных веществ, содержащих микропримеси естественных радионуклидов.

На открытой местности из-за быстрого рассеяния в атмосферном воздухе *радон* не представляет опасности для человека. Однако, проникая внутрь зданий через микротрещины в фундаменте и стенах, он может накапливаться в закрытых непроветриваемых помещениях. Больше всего радона накапливается в подвальных помещениях, из которых этот радиоактивный газ распространяется по всему зданию.

Среди естественных источников ионизирующего излучения радон является основным источником облучения человека.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Примерно 60 % индивидуальной эффективной дозы, получаемой человеком за год от радионуклидов земной коры, приходится на долю *радона и продуктов его распада*. Это примерно половина годовой индивидуальной эффективной дозы, которую получают жители Земли от всех естественных источников ионизирующего излучения.

Источником радона в помещениях могут служить и строительные материалы, содержащие, в основном, микропримеси радионуклидов, которые являются членами естественных радиоактивных семейств. Поэтому содержание радона в помещениях контролируется.

В Республике Беларусь, во вновь строящихся зданиях содержание *радона* в помещениях не должно превышать установленного уровня.

Материалы, используемые для строительства жилых и производственных зданий, контролируют на способность загрязнять воздух внутренних помещений *радоном*.

Чтобы ослабить действие радона на организм человека, необходимо:

- уменьшать поступление *радона* в помещение,
- удалять *радон* из помещения.

Чтобы сократить поступление *радона* в помещения из почвы и грунта в основании здания, рекомендуется заделывать щели и трещины подвальных помещений, окрашивать стены этих помещений водонепроницаемой краской.

Газообразный *радон* и продукты его распада способны удерживаться на поверхности мельчайших капелек влаги и скапливаться во влажных помещениях — в ванной комнате и на кухне. Поэтому очень важно регулярно проветривать эти помещения.

В небольших количествах *радон* может присутствовать и в природном газе и водах артезианских источников. Чтобы освободить питьевую воду от *радона*, достаточно ее отстаивать.

Радиоактивный калий

Кроме радионуклидов, входящих в состав естественных радиоактивных семейств, в земной коре в заметных количествах присутствуют и другие радионуклиды. Одним из них является радиоактивный изотоп ***калия*** $^{40}\boldsymbol{K}$.

Изотоп $^{40}\boldsymbol{K}$ является *одиночным* долгоживущим радионуклидом естественного происхождения.

Одиночными радионуклидами называют такие неустойчивые нуклиды, при распаде которых сразу образуется стабильный нуклид.

Изотоп $^{40}\boldsymbol{K}$ в небольшом количестве всегда присутствует в почве вместе со стабильными изотопами калия $^{39}\boldsymbol{K}$ и $^{41}\boldsymbol{K}$. Вместе с этими изотопами и другими элементами минерального питания он поступает из почвы в рас-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

тения, а затем по пищевым цепочкам проникает в организм человека. В организме любого человека содержится небольшое количество естественных радионуклидов, в том числе, и ^{40}K.

От ^{40}K жители Земли получают, в среднем, дозу облучения 0,3 мЗв/год, что составляет около 13 % годовой эффективной дозы от источников ионизирующих излучений естественного происхождения.

Итак, все источники ионизирующего излучения естественного происхождения формируют так называемый ***естественный радиационный фон***.

Естественный радиационный фон характеризует интенсивность ионизирующего излучения естественного происхождения, которое воздействует на организм человека и окружающую его среду в конкретной местности.

В системе СИ величину радиационного фона обычно выражают в *микрозивертах в час (мкЗв/час)*.

Работа со схемой: «**Естественный радиационный фон**»



Естественный радиационный фон формируется за счет космического излучения и излучения радионуклидов земной коры. Радионуклиды земной коры ответственны, в среднем, за 83 % дозы облучения, получаемой человеком от всех источников ионизирующих излучений естественного происхождения. Остальные 17 % формирует космическое излучение.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Радионуклиды искусственного происхождения

Кроме естественных радионуклидов, которые постоянно присутствуют в окружающей среде, ученые научились получать радионуклиды искусственно.

В 1934 году Ирэн Кюри и Фредерик Жолио-Кюри впервые искусственно получили атомы радиоактивного изотопа азота ^{13}N при облучении атомов бора ^{10}B *альфа*-частицами (ядрами изотопа гелия ^{4}He):

$$^{10}B + {}^{4}He > {}^{13}N + {}^{1}n$$

Это открытие показало, что можно получать радионуклиды в искусственных условиях, бомбардируя атомы химических элементов различными ядерными частицами, т.е. облучая атомы различными видами корпускулярных излучений. При этом положительно заряженные ядерные частицы (протоны, ядра гелия) должны обладать большой энергией, т. е. двигаться со значительной скоростью, чтобы преодолеть электростатическое отталкивание бомбардируемых положительно заряженных атомных ядер. Чем больше заряд частицы и облучаемого ядра, тем с большей скоростью должна двигаться бомбардирующая частица, чтобы проникнуть в ядро и вызвать ядерное превращение. Чтобы получать некоторые радионуклиды с помощью заряженных частиц в искусственных условиях, ученые разработали множество методов их ускорения с использованием сильных электрических и магнитных полей.

Гораздо легче проникают в ядра атомов не имеющие электрического заряда нейтроны, с их помощью легче вызвать ядерные превращения. Поэтому большинство радионуклидов получено при использовании в качестве бомбардирующих частиц нейтронов.

В настоящее время искусственно получено множество радиоактивных изотопов, в том числе и таких, которых нет на Земле. Многие из них нашли применение в медицине, в научных исследованиях и различных отраслях промышленного и сельскохозяйственного производства.

VI. Закрепление нового материала

Вспомните, что представляют собой радиоактивные элементы?

Какие виды ионизирующего излучения Вы знаете?

Из курса «Вселенная» вспомните, из каких элементов, в основном, состоит наша Галактика.

Примерный ответ. Наша галактика примерно на 92 % состоит из водорода и на 8 % — из гелия, на долю атомов всех остальных элементов приходится только 0,15 %.

Что такое естественная радиоактивность?

Примерный ответ. Самопроизвольный распад неустойчивых атомных ядер, без какого-либо внешнего воздействия на них, называется естественной радиоактивностью

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Что такое искусственная радиоактивность?

Примерный ответ. Распад атомных ядер при бомбардировке их различными ядерными частицами (нейтронами, протонами, альфа-частицами, бета-частицами и др.) называется искусственной радиоактивностью.

Каким путем попали на Землю *альфа*-, *бета*- и *гамма*-излучающие радионуклиды естественного происхождения?

Ответ: альфа-, бета- и гамма-излучающие радионуклиды естественного происхождения попали на Землю в процессе ее формирования из протопланетного вещества, которое образуется в Космосе при взрывах Новых и Сверхновых звезд.

Каким путем попали на Землю *альфа*-, *бета*- и *гамма*-излучающие радионуклиды искусственного происхождения?

Ответ: альфа-, бета- и гамма-излучающие радионуклиды искусственного происхождения получены человеком искусственно.

Приведите примеры радионуклидов, излучение которых, формирует естественный радиационный фон земной коры.

Ответ: естественный радиационный фон земной коры формируют радионуклиды, входящие в состав естественных радиоактивных семейств (в том числе ^{238}U, ^{235}U, ^{232}Th, изотопы радона), а также одиночные радионуклиды (например, ^{40}K).

Какой из естественных источников радиации является основным источником облучения человека?

Ответ: из естественных источников радиации основным источником облучения человека является радон; примерно половина дозы облучения, жителей Земли от всех естественных источников радиации, связана с радоном.

Назовите источники поступления радона в атмосферу Земли.

Ответ: радон поступает в атмосферу Земли из почвы, грунтовых вод и растительности, из вод океанов и морей, из угля и природного газа, из строительных конструкций.

Как формируется естественный радиационный фон у поверхности Земли?

Ответ: естественный радиационный фон формируют космическое излучение, достигшее поверхности планеты, и излучение естественных радионуклидов земной коры.

VII. **Задание на дом**

Изучить § 5, выполнить задания в тетради на печатной основе.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Урок 5. Промежуточный контроль

Задачи : проверить усвоение теоретических знаний по ранее изученным темам, умение составлять схемы, отвечать на вопросы кратко, выбирая самое главное, развивать творческое мышление.

***Вариант** 1*

1. Найдитеверныеответы, обведитебуквы, которымиони обозначены

   К корпускулярным излучениям относятся:

   а) *альфа*-излучение,

   б) *бета*-излучение,

   в) рентгеновское излучение,

   г) протонное излучение.

   Ответ: к корпускулярным излучениям относятся альфа-излучение, бета-излучение и протонное излучение.

2. Дайте определение термину «космическое излучение».

   Ответ: Космическое излучение — это электромагнитныеволны и поток быстро движущихся элементарных частиц и атомных ядер космического происхождения.

3. Что характеризует естественный радиационный фон?

   Ответ: естественный радиационный фон характеризует интенсивность ионизирующего излучения естественного происхождения, которое воздействует на организм человека и окружающую его среду в конкретной местности.

4. Заполните таблицу: «Изотопы водорода»

Название изотопа	Состав ядра атома водорода		Число электронов (e)
	Число протонов (p)	Число нейтронов (n)	
Протий (^1H)			
Дейтерий (^2D)			
Тритий (^3T)			

Укажите радиоактивный изотоп водорода и объясните , какое излучение сопровождает его радиоактивный распад.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Ответ: *Таблица — **Изотопы водорода***

Название изотопа	Состав ядра атома водорода		Число электронов (e)
	Число протонов (p)	Число нейтронов (n)	
Протий (^1H)	*1*	*0*	*1*
Дейтерий (^2D)	*1*	*1*	*1*
Тритий (^3T)	*1*	*2*	*1*

Среди всех изотопов водорода только тритий является радиоактивным. Его распад сопровождается излучением бета-частиц.

5. Что представляет собой космическое излучение галактического происхождения.

Ответ: космическое излучение галактического происхождения поступает из далеких галактик и представляет собой, в основном, поток ядер водорода (протонов) и гелия (альфа-частиц) с небольшой примесью более тяжелых ядер.

6. Опишите, что произойдет, если исчезнет магнитное поле Земли.

Ответ: Отсутствие магнитного поля очень быстро привело бы к практическиполной ионизации атмосферноговоздуха, и жизнь на Земле, скорее всего, стала бы невозможна.

***Вариант** II*

1. Найдите верные ответы, обведите буквы, которыми они обозначены.

К электромагнитным (фотонным) излучениям относятся:

а) нейтронное излучение,

б) *гамма*-излучение,

в) рентгеновское излучение,

г) *альфа*-излучение.

Ответ: к фотонным излучениям относятся рентгеновское излучение и гамма-излучение.

2. Дайте определения следующим терминам и понятиям:

Гамма-излучение (g) — это.....

Бета-излучение (b) — это.....

*Ответ: гамма-излучение (g) — это электромагнитное (фотонное) излучение с большой энергий фотонов; бета-*излучение (b) — это *поток свободных быстро движущихся электронов.*

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

3. Заполните следующую таблицу:

Таблица — **Характеристики радиоактивных излучений**

Характеристики	Излучение		
	альфа-частицы (a)	*бета*-частицы (b)	*гамма*-кванты (g)
Природа излучения			
Заряд			
Относительная проникающая способность			

***Ответ*:**

Таблица — **Характеристики радиоактивных излучений**

Характеристики	Излучение		
	альфа-частицы (a)	*бета*-частицы (b)	*гамма*-кванты (g)
Природа излучения	корпускулярное	корпускулярное	электромагнитное (фотонное)
Заряд	+2	-1	0
Относительная проникающая способность	меньше, чем у *бета*-частици *гамма*-квантов	меньше, чем у *гамма*-кватов, но больше, чем у *альфа*-частиц	больше, чем у *альфа*- и *бета*-частиц

4. Опишите процесс ионизации вещества под действием *альфа*-излучения .

Примерный ответ: При попадании в вещество альфа-частицы сталкиваются с атомами или молекулами этого вещества и отдают им свою энергию. Получив избыточную энергию, атом (или молекула, в состав которой входил атом) теряет один или несколько электронов и превращается в катион (положительно заряженный ион). Освободившиеся электроны вскоре присоединяются к другим атомам или молекулам вещества, что приводит к образованию анионов (отрицательно заряженных ионов).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

5. Что представляет собой космическое излучение солнечного происхождения?

   Ответ: Солнечная радиация состоит из электромагнитного излучения (видимого света, инфракрасного, ультрафиолетового и др.) и потока частиц (в основном, протонов и электронов, а также небольшой доли альфа-частиц и незначительной доли более тяжелых атомных ядер).

6. Опишите, что произойдет, если исчезнет электрическое поле Земли.

   Примерный ответ: электрическое поле Земли может исчезнуть только вместе с магнитным полем. Это бы быстро привело к практически полной ионизации атмосферного воздуха, и жизнь на Земле, скорее всего, стала бы невозможна.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Урок 6. Эволюция радиационного фона под влиянием природных факторов

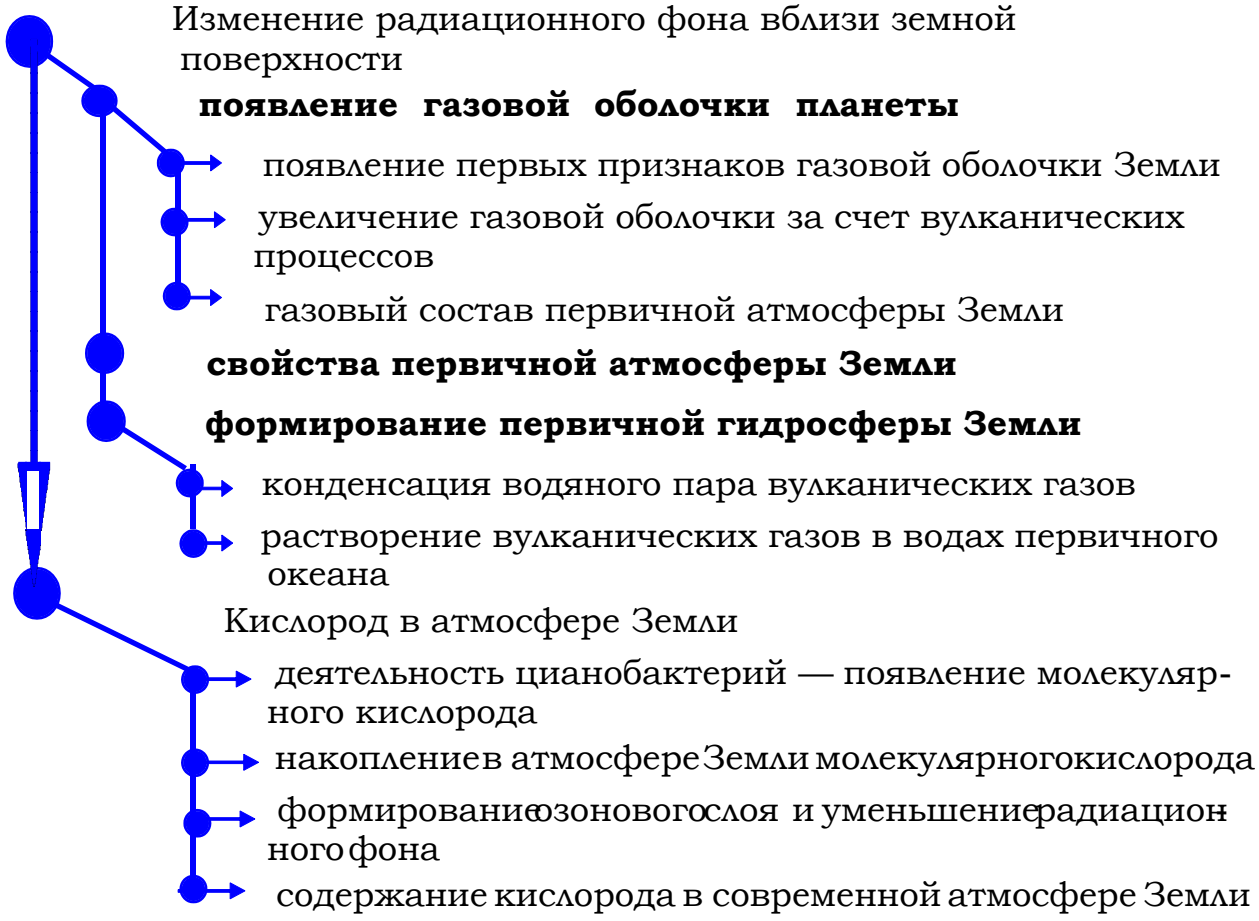
Задачи: показать учащимся изменение радиационного фона *под влиянием природных факторов*: зарождения и развития атмосферы и гидросферы Земли; совершенствовать умение работать с таблицами и схемами.

Оборудование: физическая карта мира; коллекция горных пород; коллекция почв.

Ход урока

I. **Организационный момент**

II. **Опорные точки урока**



III. **Изучение нового материала**

Возраст Земли, по мнению ученых, составляет примерно 4,5 млрд. лет. Согласно представлениям А.П. Виноградова, в период формирования Земли все элементы (кислород и водород, азот и углерод), из которых впоследствии сформировались атмосфера и гидросфера Земли, находились в связанном виде и входили в состав твердых веществ.

В этот период радиационный фон вблизи поверхности Земли был обусловлен мощным космическим излучением и излучением радионуклидов, входивших в состав земного вещества. Радиационный фон вблизи земной поверхности менялся в течение всей геологической истории

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

планеты. Происходившие изменения, в основном, были связаны с изменениями состава верхней *твердой* и *газовой* оболочек Земли.

Появление газовой оболочки планеты

Появление первых признаков газовой оболочки Земли связано с бомбардировкой планеты прилетающими из Космоса метеоритами, болидами и другими космическими телами. Их столкновение с земной поверхностью приводило к образованию летучих веществ. Однако большая часть выделяющихся при этом паров воды и других газов поглощалась земными породами. Зарождающаяся газовая оболочка планеты была крайне разреженной. Ученые полагают, что, скорее всего, она состояла из незначительного количества газов (азота, аммиака и инертных газов), которые слабо поглощались земными породами.

Как Вы думаете, с какими процессами на Земле было связано дальнейшее увеличение газовой оболочки нашей планеты?

По мнению ученых, в дальнейшем увеличение газовой оболочки происходило за счет вулканических процессов, протекавших на Земле в течение первого миллиарда лет ее существования.

Гравитационное сжатие и распад радионуклидов, вошедших в состав планетного вещества, способствовали разогреву земных недр и развитию активной вулканической деятельности.

Активная вулканическая деятельность сопровождалась выделением из недр планеты газообразных веществ, из которых и формировалась первичная атмосфера Земли. В состав выделяющихся газообразных продуктов входили:

- водяной пар,
- оксид и диоксид углерода,
- метан,
- аммиак,
- кислотные пары (сероводород, диоксид серы, галогеноводороды),
- инертные газы,
- другие газы.

Вначале атмосфера Земли была относительно тонкой. Однако по мере развития вулканической деятельности масса газовой оболочки планеты постепенно увеличивалась.

3,5 – 4,0 млрд. лет назад формирующаяся тонкая атмосфера Земли практически все составляющие космического излучения пропускала до поверхности суши и океана.

В этот же период в процессе активной вулканической деятельности из земных недр на поверхность выбрасывались вещества, обогащенные тяжелыми радиоактивными элементами.

В результате, у поверхности Земли сохранялся высокий уровень радиационного фона, значительно превосходивший современный уровень.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Формирование гидросферы Земли

По мере остывания земной поверхности водяной пар вулканических газов конденсировался и превращался в жидкую воду, из которой образовалась водная оболочка — гидросфера Земли. В водах возникшего первичного океана растворялись вулканические газы. Легкие газы (гелий и частично водород) поднимались вверх и, слабо удерживаемые гравитационным полем Земли, рассеивались в космическом пространстве.

Кислород в атмосфере Земли

В древней атмосфере практически отсутствовал *молекулярный кислород*. В небольшом количестве он мог получаться при разложении молекул воды, входивших в состав водяного пара, под действием космического излучения. Однако весь образующийся кислород быстро расходовался на окисление метана, оксида углерода (II), аммиака и сероводорода.

В заметном количестве *молекулярный кислород* появился в атмосфере лишь около 3,4 млрд. лет назад в результате деятельности особых микроорганизмов, способных к фотосинтезу — цианобактерий. Первые количества кислорода , полученные при фотосинтезе , окисляли атмосферные газы и породы земной коры.

С появлением и повсеместным распространением *зеленых фотосинтезирующих бактерий* содержание свободного кислорода постепенно увеличивалось, что способствовало увеличению численности животных, которые использовали его для дыхания.

Примерно 600 млн. лет назад количество свободного кислорода в земной атмосфере достигло 1 % современного уровня.

Кислород стал важным компонентом атмосферного воздуха. С ним связаны основные биологические и многие геохимические процессы, происходившие на Земле.

Примерно 400 млн. лет назад содержание кислорода в атмосфере достигло 10 % современного уровня и стало возможно образование *озонового слоя*, в состав которого помимо обычных двухатомных молекул кислорода (O_2) входили и молекулы озона, состоящие из трех атомов кислорода (O_3). Молекулы озона образуются на высоте от 30 до 90 км от земной поверхности из молекул обычного кислорода под действием ультрафиолетового излучения Солнца.

Появление озонового слоя значительно уменьшило радиационный фон у поверхности Земли за счет частичного поглощения космического излучения

Увеличение содержания молекулярного кислорода (O_2) в атмосфере Земли до современного уровня происходило за счет *протекания процесса фотосинтеза* в гигантских лесах, существовавших, по мнению ученых,

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

примерно 350 млн. лет назад.

На протяжении последних 500 тыс. лет состав атмосферы существенно не менялся.

▶ **Современный состав сухого воздуха вблизи уровня моря**:

N_2 — 78 %

O_2 — 21 % от объема всех газов в атмосфере.

На долю остальных газов (аргона, углекислого газа, водорода, аммиака и др.), приходится примерно 1 % от объема всех газов в атмосфере.

IV. Закрепление изученного материала

В каком состоянии находились в период формирования Земли кислород и водород, азот и углерод?

Ответ: Согласно представлениям А.П. Виноградова, в период формирования Земли кислород и водород, азот и углерод находились в связанном виде и входили в состав твердых веществ.

С какими оболочками планеты связано изменение радиационного фона вблизи земной поверхности?

Ответ: изменение радиационного фона вблизи земной поверхности, в основном, было связано с изменениями состава верхней твердой и газовой оболочек планеты.

С чем связано появление первых признаков газовой оболочки Земли?

Ответ: появление первых признаков газовой оболочки Земли связано с бомбардировкой планеты прилетающими из Космоса метеоритами, болидами и другими космическими телами. Их столкновение с земной поверхностью приводило к образованию летучих веществ.

С какими процессами на Земле было связано дальнейшее увеличение газовой оболочки нашей планеты?

Ответ: дальнейшее увеличение газовой оболочки нашей планеты связано с вулканическими процессами.

Чем можно объяснить, что у поверхности древней Земли сохранялся высокий уровень радиационного фона, значительно превосходивший современный уровень.

Ответ: высокий уровень радиационного фона у поверхности древней Земли связан с активной вулканической деятельностью и выбросом радионуклидов из земных недр на поверхность, а также с отсутствием плотной атмосферы, хорошо поглощающей ионизирующее излучение.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Что способствовало формированию гидросферы Земли?

Ответ: формированию водной оболочки (гидросферы) Земли способствовало снижение температуры земной поверхности, в результате чего водяной пар вулканических газов конденсировался и превращался в жидкую воду, из которой и формировались древние моря и океаны.

Когда в атмосфере Земли в заметном количестве появился молекулярный кислород?

Ответ: В заметном количестве молекулярный кислород появился в атмосфере Земли лишь около 3,4 млрд. лет назад в результате деятельности особых микроорганизмов, способных к фотосинтезу — цианобактерий.

За счет чего происходило увеличение содержания молекулярного кислорода (O_2) в атмосфере Земли?

Ответ: С появлением и повсеместным распространением зеленых фотосинтезирующих бактерий содержание свободного кислорода постепенно увеличивалось. Увеличение содержания молекулярного кислорода (O_2) в атмосфере Земли до современного уровня происходило за счет протекания процесса фотосинтеза в гигантских лесах, существовавших, по мнению ученых, примерно 350 млн. лет назад

Как изменился радиационный фон Земли с появлением озонового слоя?

Ответ: Появление озонового слоя значительно уменьшило радиационный фон у поверхности Земли за счет частичного поглощения космического излучения

V. **Задание на дом**

Изучить § 5, выполнить задания в тетради на печатной основе.

Урок 7. Эволюция радиационного фона под влиянием антропогенных факторов

Задачи : показать как хозяйственная деятельность человека , появление искусственных источников ионизирующего излучения способствовали увеличению радиационного загрязнения окружающей среды.

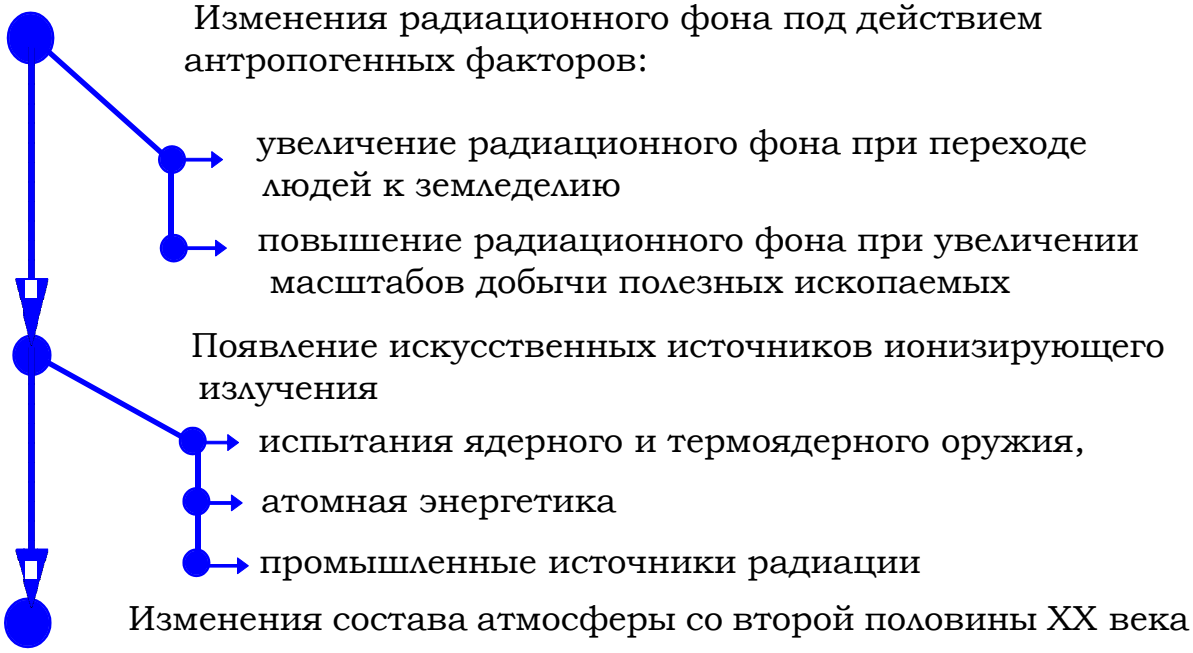
Оборудование: настенные таблицы, фотографии с изображением хозяйственной деятельности людей, атомных электростанций, взрывов ядерного оружия.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Ход урока

I. **Организационный момент**

II. **Опорные точки урока**



III. **Изучение нового материала**

Наряду с изменениями радиационного фона под влиянием природных факторов, происходившими независимо от человека, на определенном этапе развития человеческой цивилизации начались изменения радиационного фона, связанные с деятельностью людей.

Любые изменения в природной среде, связанные деятельностью человека, называют антропогенными. («*Antropos*» в переводе с латинского означает «человек»).

Используя знания по истории, ответьте, могла ли деятельность человека способствовать заметному увеличению радиационного фона?

Первое заметное увеличение радиационного фона в результате антропогенной деятельности было связано с переходом людей от охоты, рыболовства и сбора природных плодов для пропитания к *земледелию*. Этот процесс сопровождался вырубкой лесов и обработкой почвы на больших территориях. Поскольку содержание радионуклидов в более глубоких слоях земной коры выше, чем у поверхности, выкорчевывание деревьев, распахивание земель и т. п. привело к увеличению содержания радионуклидов у поверхности Земли и повышению радиационного фона.

С какой деятельностью человека могло быть связано последующее заметное повышение радиационного фона на Земле?

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Второе заметное повышение радиационного фона было связано с бурным развитием промышленности, сопровождавшимся значительным *увеличением масштабов добычи полезных ископаемых*. Процесс добычи полезных ископаемых и строительство промышленных и коммуникационных сооружений сопровождались выносом значительных количеств пород на поверхность, что также способствовало повышению радиационного фона у поверхности Земли.

Развитие теплоэлектроэнергетики также повлияло на величину радиационного фона. Органическое топливо природного происхождения (каменный уголь, торф, газ) в небольшом количестве содержит естественные радионуклиды (уран, торий, радий, полоний и др.). При сгорании топлива радионуклиды, в основном, концентрируются в золе. Частицы золы вместе с газообразными продуктами сгорания через дымовую трубу выбрасываются в окружающую среду. Оседая на земную поверхность, они постепенно загрязняют территорию в окрестности теплоэлектростанции радионуклидами.

Появление искусственных источников ионизирующего излучения на основе радионуклидов, выделенных из природного сырья или полученных в искусственных условиях, в свою очередь, также повлияло на величину радиационного фона.

Испытания ядерного и термоядерного оружия

В XX столетии наиболее существенные изменения радиационного фона произошли в результате испытаний ядерного и термоядерного оружия. Подобное оружие испытывали под землей, под водой и в воздухе на разной высоте над земной поверхностью. Наибольшее загрязнение происходило при воздушных ядерных взрывах большой мощности, проводившихся высоко над поверхностью Земли.

Во время воздушных испытаний ядерного оружия в атмосферу попадают радиоактивные продукты, образующиеся при взрыве. Они постепенно выпадают на земную поверхность, поэтому результатом взрыва любого вида ядерного оружия является радиоактивное загрязнение местности, причем не только вблизи места проведения испытаний, но и на значительном расстоянии от него.

Наибольшее число испытаний ядерного оружия приходится на периоды с 1954 по 1958 год и с 1961 по 1962 год.

До сих пор в окружающей среде присутствуют радионуклиды, оставшиеся от проводимых ранее испытаний ядерного оружия.

После подписания в 1963 году ***Договора об ограничении испытаний ядерного оружия***, обязывающего участников соглашения не испытывать его в атмосфере, под водой и в космическом пространстве, поступление радионуклидов в окружающую среду значительно сократилось.

Атомная энергетика

Известно, что атомные электростанции (АЭС) значительно меньше загрязняют окружающую среду по сравнению с тепловыми электростанциями. Можно ли считать АЭС абсолютно безопасными? Если нет, то с чем может быть связана опасность АЭС?

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Нормально работающие атомные электростанции значительно меньше загрязняют окружающую среду по сравнению с тепловыми электростанциями.

Опасность представляют аварии на атомных станциях. При ядерных авариях в окружающую среду может быть выброшено большое количество радиоактивных веществ, что может привести к загрязнению окружающей среды и дополнительному облучению людей.

Другие источники ионизирующего излучения искусственного происхождения

К другим источникам ионизирующего излучения, влияющим на величину радиационного фона, относятся *промышленные* источники. Промышленные источники радиации, предназначенные для мирных целей, лишь в незначительной степени способствуют повышению радиационного фона.

В целом, по оценкам Международного Агенства по Атомной Энергии (МАГАТЭ), максимальные дозы облучения людей (включая тех, кто работает с источниками ионизирующего излучения мирного назначения) от попадания радионуклидов искусственного происхождения в окружающую среду не превышают 0,14 мЗв в год, что составляет менее 6 % дозы облучения от всех природных источников, (доза облучения от природных источников, в среднем, составляет 2,4 мЗв в год).

Какие изменения в составе атмосферы стали намечаться в течение последнего столетия?

Во второй половине прошлого века наметились изменения в составе воздушной оболочки планеты, которые обусловлены деятельностью человека и могут повлиять на способность атмосферы защищать поверхность Земли от действия космического излучения. В последние годы отмечается тенденция к снижению содержания *озона* в верхних слоях атмосферы, что ослабляет поглощение атмосферой ультрафиолетового излучения и может привести к неблагоприятным последствиям.

По оценкам специалистов, уменьшение содержания *озона* всего на 1 % может вызвать увеличение интенсивности ультрафиолетового излучения у поверхности Земли на 15 %. По официальным данным Организации Объединенных Наций (ООН), это может привести к дополнительным заболеваниям жителей Земли катарактой и раком кожи.

IV. Закрепление изученного материала

- Как формировался естественный радиационный фон древней Земли?
- Что такое космическое излучение и какова его роль в формировании радиационного фона Земли?
- Какие изменения радиационного фона связаны с деятельностью человека?

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com


Приведите примеры искусственных источников ионизирующего излучения.


Какой вклад в дозу облучения населения Земли вносят искусственные источники ионизирующего излучения, используемые в мирных целях?

V. **Задание на дом**

Изучить § 5, выполнить задание в тетради на печатной основе.

Урок 8. **Итоговая контрольная работа»**

Задачи: проверить усвоение учащимися основных терминов и понятий, теоретических основ курса радиоэкологии; умение выделять существенные признаки и свойства явлений, составлять схемы, применять знания на практике.

Вариант I

1. **Найдите одно неверное утверждение и обведите букву, которой оно обозначено**:

а) *бета*-излучение (*b*) – это поток движущихся электронов;

б) в отличие от *альфа*- и *бета*-частиц, *гамма*-кванты не ионизируют вещество;

в) *альфа*-излучение (*a*) – это поток положительно заряженных частиц;

г) из-за высокой проникающей способности защититься от *гамма*-излучения можно лишь толстым слоем свинца или бетона.

Ответ: выражение «в отличие от альфа- и бета-частиц, гамма-кванты не ионизируют вещество» неверное; правильно было бы сказать «гамма-кванты ионизируют вещество».

2. **Дайте определения следующим терминам и понятиям**:

а) радиоактивность — это .....

б) изотопы — это .....

Ответ:

а) радиоактивность — это *самопроизвольное превращение неустойчивых атомных ядер в более устойчивые ядра, сопровождающееся выделением энергии в виде излучения;*

б) изотопы — это атомы одного и того же химического элемента, имеющие одинаковое количество протонов в ядре, но отличающиеся по числу содержащихся в нем нейтронов.

3. **Кратко опишите космическое излучение галактического происхождения**.

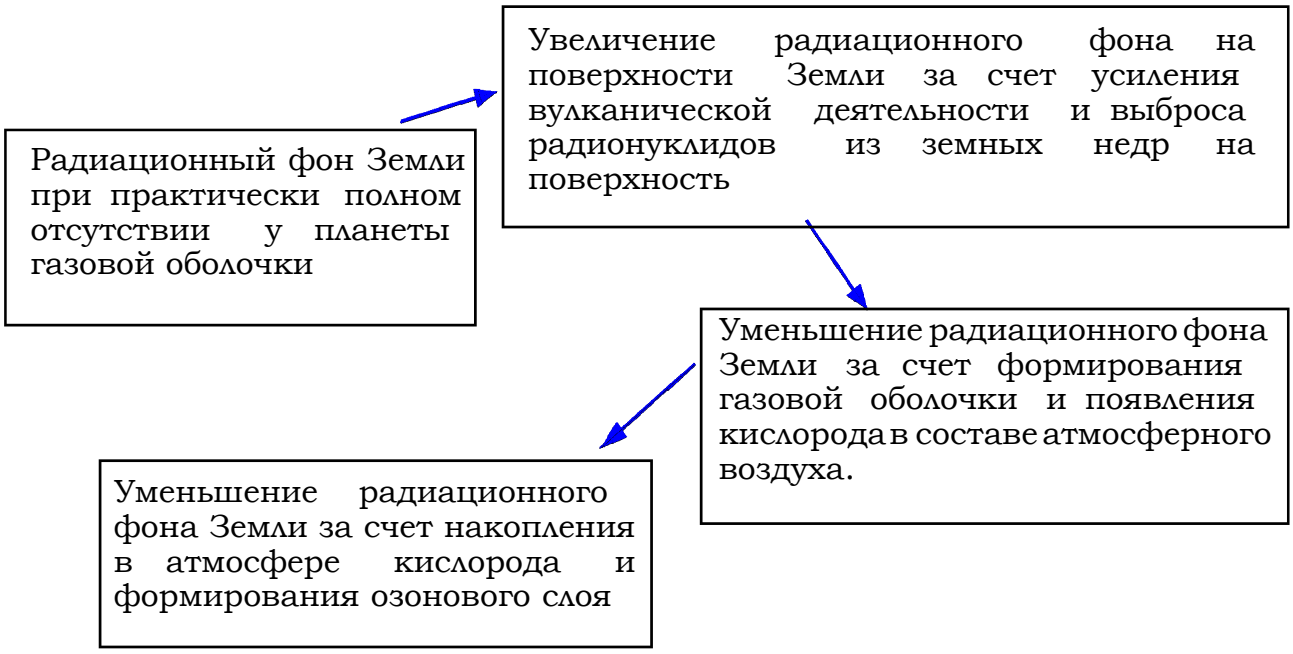
Примерный ответ: космическое излучение галактического происхождения это поток частиц (в основном ядер водорода и

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

гелия, а также незначительной доли более тяжелых атомных ядер — преимущественно с зарядом ядра от 3 до 28), которые образуются при взрывах Новых и Сверхновых звезд и поступают в околоземное пространство из далеких галактик.

4. **Составьте схему**: «**Эволюция радиационного фона под влиянием природных факторов**»

Примерная схема:



5. Предложите меры, с помощью которых можно уменьшить содержание радона в жилых помещениях.

Ответ: содержание радона в жилых помещениях можно уменьшить, ограничив его доступ через фундамент здания. Для этого следует заделать трещины и покрыть стены подвальных помещений водонепроницаемой краской. Рекомендуется также чаще проветривать помещения, особенно те, где могут скапливаться капельки влаги, на поверхности которых удерживаются радон и продукты его радиоактивного распада (ванные комнаты и кухни).

Вариант II

1. Найдите одно неверное утверждение и обведите букву, которой оно обозначено:

а) неустойчивые атомные ядра обладают избыточной энергией и стремятся перейти в более устойчивое состояние с меньшей энергией;

б) *альфа*-излучение способно образовывать ионы в веществе;

в) *бета*-излучение менее глубоко проникает в вещество, чем *альфа*-излучение;

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

г) любые самопроизвольные процессы ядерных превращений сопровождаются выделением энергии в виде излучений.

Ответ: утверждение «бета-излучение менее глубоко проникает в вещество, чем альфа-излучение» неверно, в действительности бета-излучение более глубоко проникает в вещество, чем альфа-излучение.

2. Дайте определения следующим терминам и понятиям:

а) радионуклиды — это .....

б) нуклон — это .....

Ответ:

а) радионуклиды — это неустойчивые нуклиды, ядра которых самопроизвольно превращаются в атомные ядра других химических элементов или других изотопов одного и того же элемента с выделением в окружающую среду энергии в виде излучения;

б) нуклон — это протон или нейтрон, входящий в состав атомного ядра.

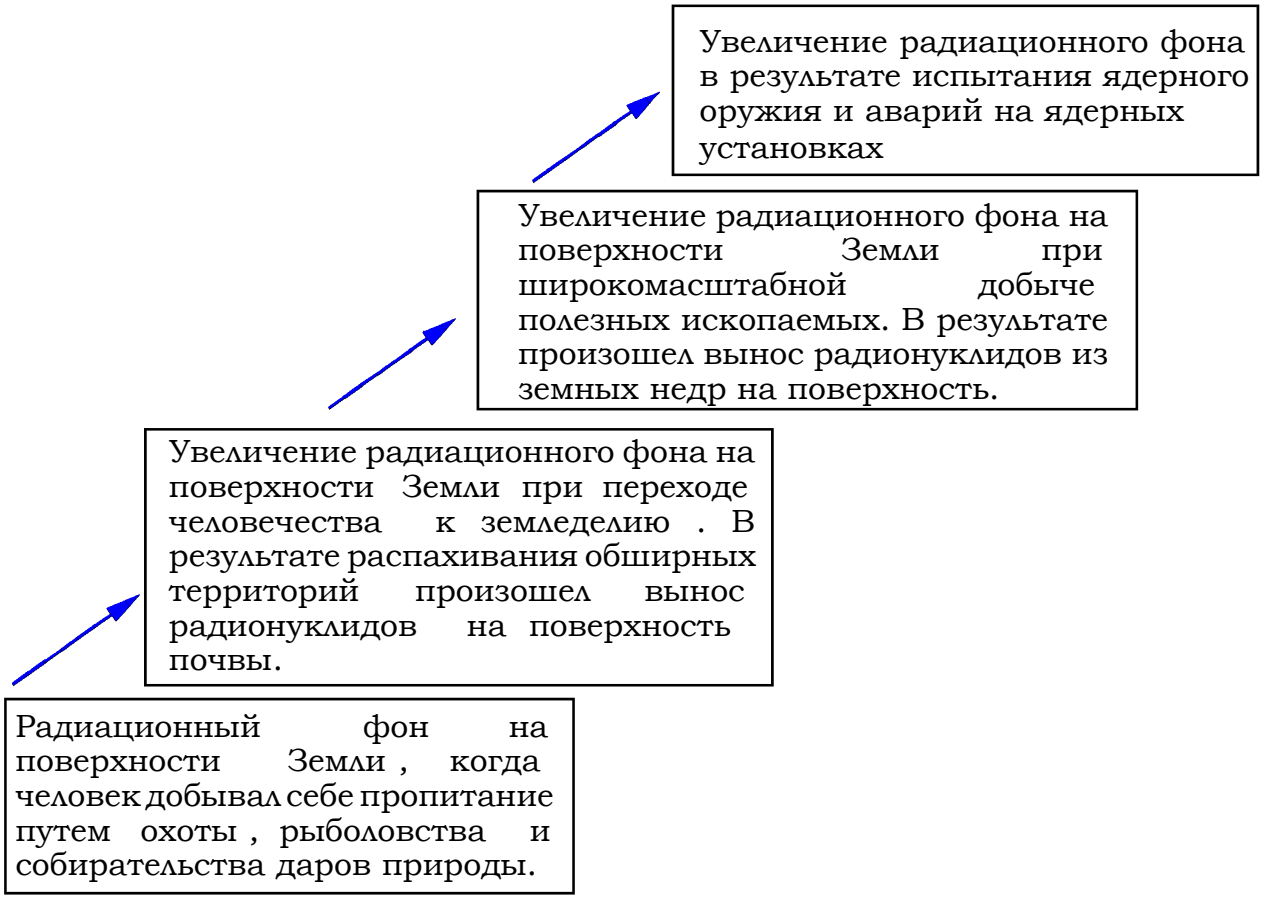
3. Кратко опишите космическое излучение солнечного происхождения.

Примерный ответ: космическое излучение солнечного происхождения включает электромагнитную (фотонную) и корпускулярную компоненты. Электромагнитная часть солнечного излучения — это видимый свет и невидимые инфракрасное, ультрафиолетовое, рентгеновское излучения. Корпускулярная составляющая солнечного излучения — это преимущественно поток быстро движущихся свободных протонов и электронов. Кроме того, в потоке солнечных частиц присутствуют ядра гелия (альфа-частицы) и, в гораздо меньшем количестве, ядра других более тяжелых элементов (преимущественно с зарядом ядра от 3 до 28).

4. Составьте схему: «Эволюция радиационного фона Земли под действием антропогенных факторов».

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Примерная схема



4. Как Вы думаете, почему тепловые электростанции, работающие на природном органическом топливе , являются источниками радиоактивного загрязнения окружающей среды?
   Примерный ответ: природное органическое топливо содержит естественные радионуклиды , которые при сгорании топлива концентрируются в золе. Часть радионуклидов уносится вместе с газообразными продуктами горения и оседает на земную поверхность в окрестности электростанций , загрязняя радионуклидами окружающую среду.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

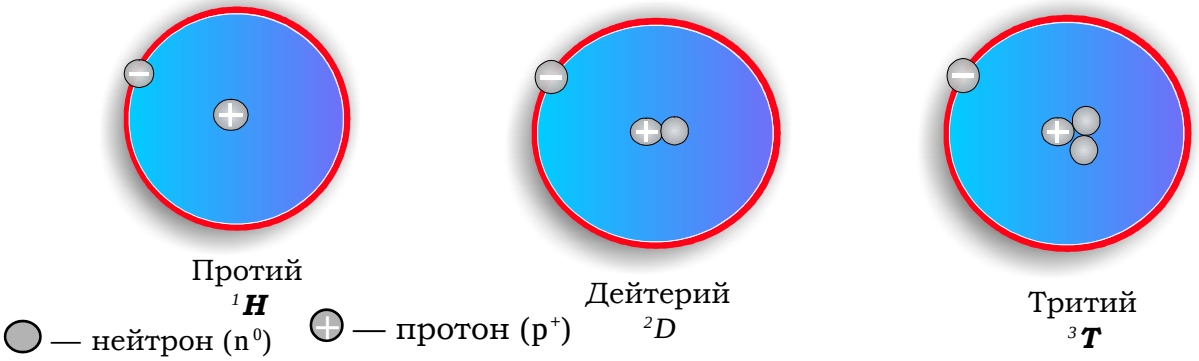
Приложение III
Иллюстрации к разделу 13.2

ШЕСТОЙ КЛАСС

Урок 1

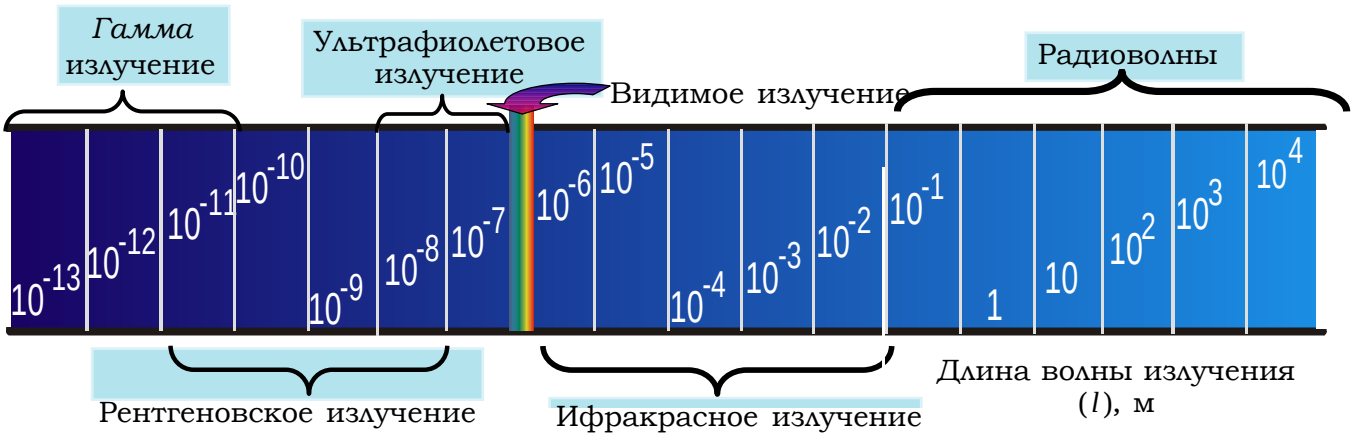
1) **Схемы строения атомов протия, дейтерия и трития**

В отличие от изотопов других элементов, каждый изотоп водорода имеет свое название и обозначение.

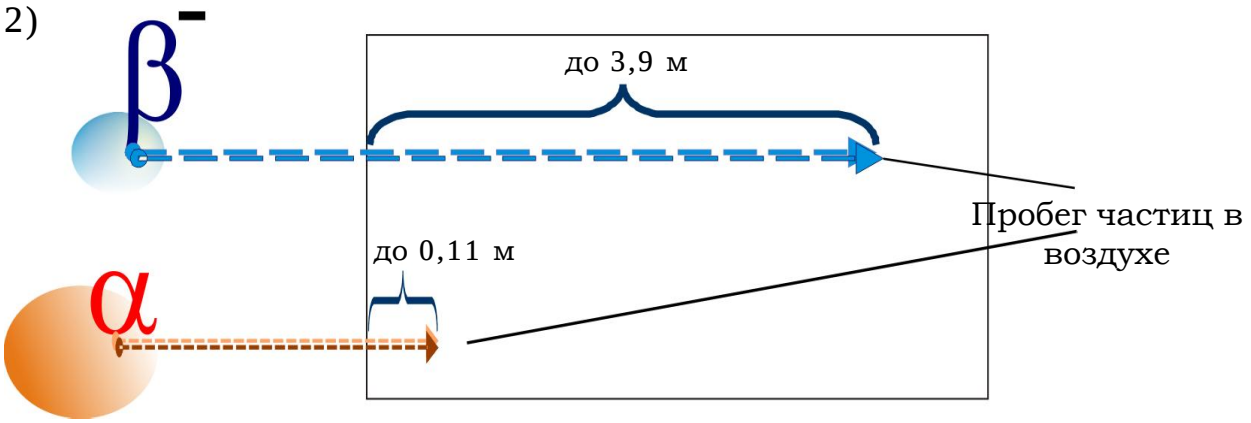


Урок 2

1) **Положение рентгеновских и *гамма*-лучей в спектре электромагнитного излучения**

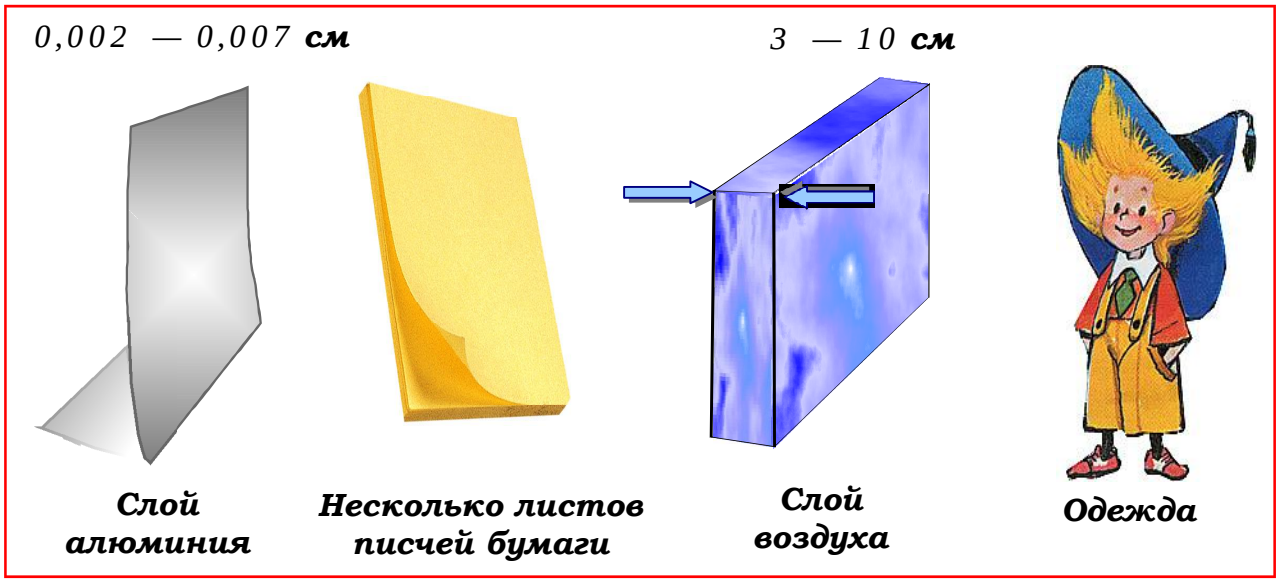


2)

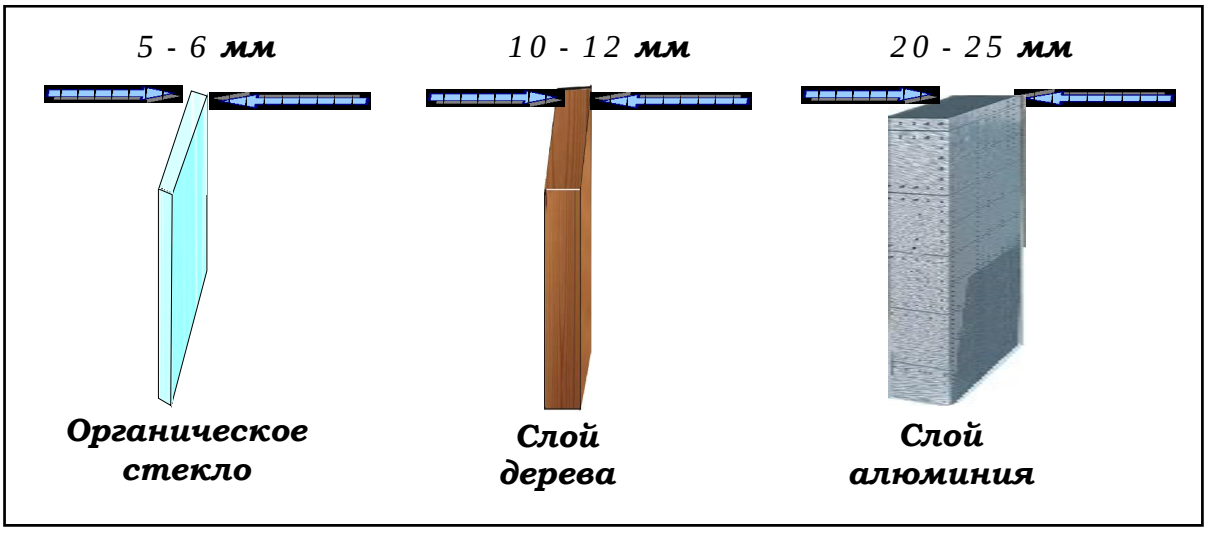


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

3) **Альфа-излучение задерживают**:



4) **Бета-излучение задерживают**:



5) **Интенсивность *гамма*-излучения снижают в 2 раза слои**:

- свинца — толщиной *1* **см**,
- бетона — толщиной *5* **см**,
- воды — толщиной *10* **см**.

Слой бетона толщиной 1 м полностью задерживает любое *гамма*-излучение.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

6) **Изотопы водорода и изотопы урана**

Химический элемент	Составядер	
	стабильные	радиоактивные
Водород (1 протонв ядре)	^{1}H ^{1}p ^{2}D $^{1}p + ^{1}n$	^{3}T $^{1}p + 2\,^{1}n$
Уран (92 протонав ядре)	отсутствуют	^{233}U $92\,^{1}p + 141\,^{1}n$ ^{235}U $92\,^{1}p + 143\,^{1}n$ ^{238}U $92\,^{1}p + 145\,^{1}n$ **и др.**

7) **Характеристики основных видов ионизирующего излучения**

Характеристики	Излучение		
	альфа-частицы (a)	*бета*-частицы (b)	*гамма*-кванты (g)
Природа излучения	ядра атомов гелия	электроны	электромагнитное излучение
Заряд, отн. ед.	+2	-1	0
Масса покоя, г	$6{,}64 \cdot 10^{-24}$	$9{,}11 \cdot 10^{-28}$	0
Относительная проникающая способность	1	100	1 000

Урок 3

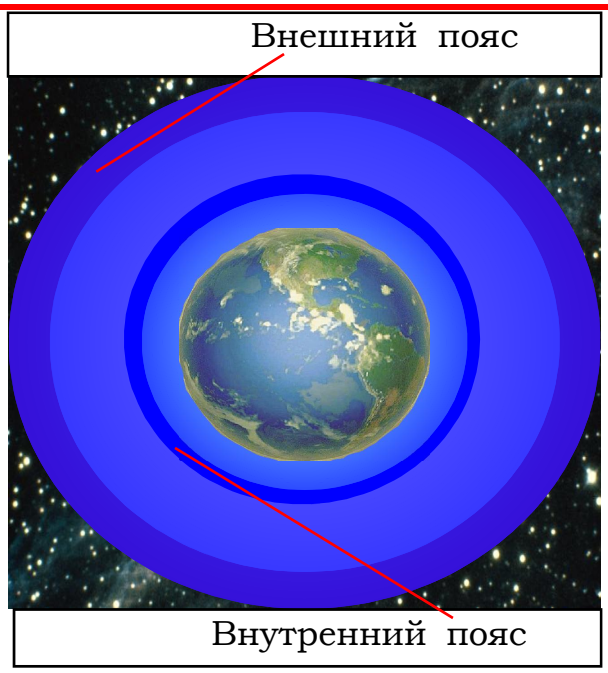
1)

Магнитное поле Земли



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

2)

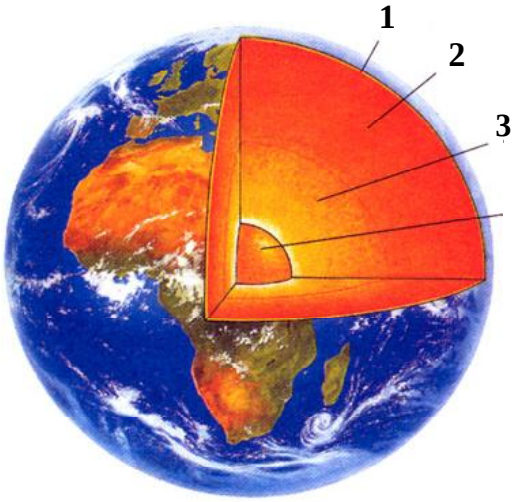


Радиационные пояса Земли

Урок 4

1)

Схема внутреннего строения Земли

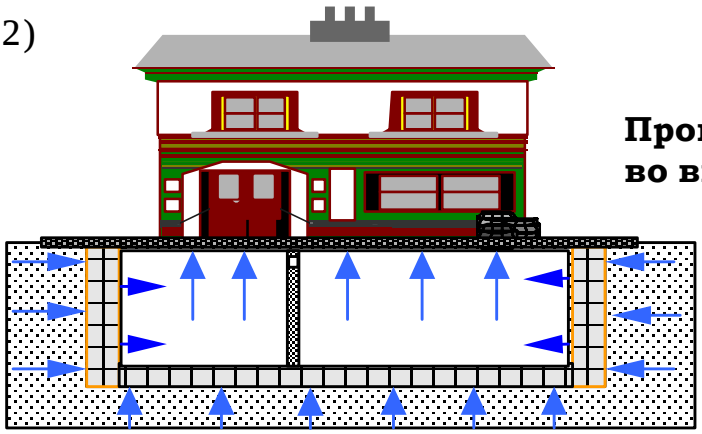


1 - кора, 2 - мантия, 3 - наружное жидкое ядро, 4 - внутреннее ядро

Периоды полураспада основных радионуклидов земной коры

Радио - нуклид	Период полураспада
^{238}U	$4{,}47 \cdot 10^{9}$ лет
^{232}Th	$1{,}41 \cdot 10^{10}$ лет
^{40}K	$1{,}28 \cdot 10^{9}$ лет
^{87}Rb	$4{,}8 \cdot 10^{10}$ лет
^{234}U	$2{,}45 \cdot 10^{5}$ лет
^{235}U	$7{,}04 \cdot 10^{8}$ лет

2)

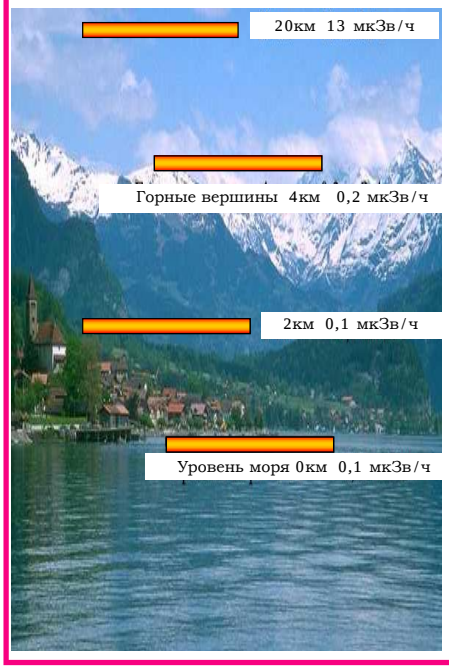


Проникновение радона из грунта во внутренние помещения дома

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

3)

Мощность дозы от космического излучения на разной высоте над уровнем моря



Средние эффективные дозы внешнего облучения от земных источников радиации

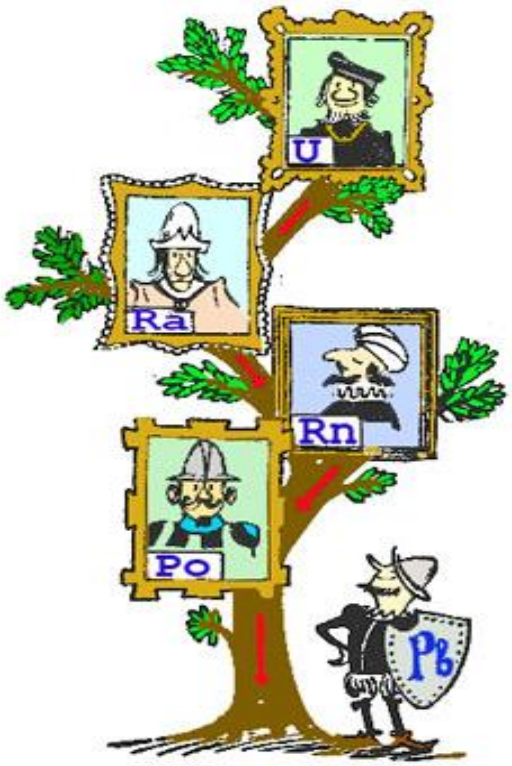


Средняя эффективная доза внешнего облучения жителей Республики Беларусь , Украины , средней полосы европейской части Российской Федерации от земных источников радиации составляет 0,35 мЗв в год. Однако есть места на земном шаре , где уровни радиации значительно выше, например, на побережье юго-западной Индии, в Бразилии (неподалеку от города Посус-ди-Калдас), Иране (вблизи города Рамсер).

4)

Радиоактивное семейство ^{238}U

Ядерные превращения начинаются с распада изотопа ^{238}U *(родоначальник радиоактивного семейства)*…



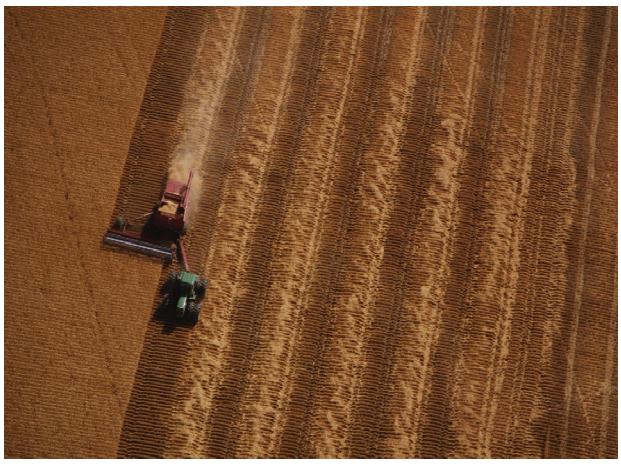
…и заканчиваются образованием стабильного нуклида

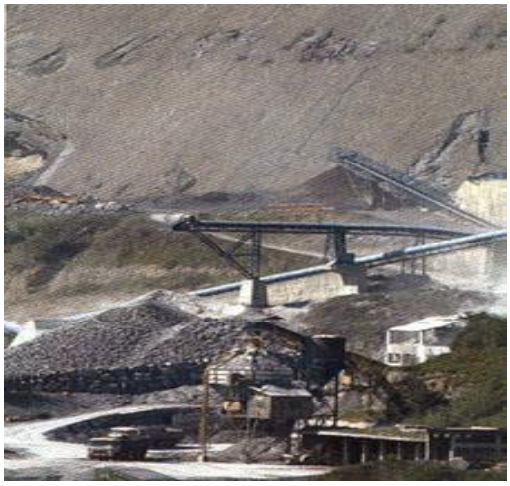
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Урок 7

Земледелие и добыча полезных ископаемых привели к увеличению радиационного фона у поверхности Земли

1)





2) ***Фотографии ядерных взрывов***



подводный



наземный



воздушный



подземный

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

13.3 Седьмой класс

Урок 1. Роль радиации в зарождении и поддержании жизни на Земле

Задачи: продолжить знакомство учащихся с ролью космического излучения в истории развития нашей планеты; сформировать понятие о решающей роли космического излучения в зарождении и поддержании жизни на Земле, познакомив с гипотезой академика А.И. Опарина; отрабатывать умение работать с учебником.

Оборудование: портрет академика А.И. Опарина; плакат «Основные виды ионизирующих излучений».

Ход урока

I. **Организационный момент**

II. **Опорные точки урока**

- Гипотеза А. И. Опарина о происхождении жизни на Земле
  - экспериментальное подтверждение гипотезы А.И. Опарин (опыты М. Кальвина)
- Источники энергии для осуществления синтеза биологических молекул:
  - космическое излучение
  - излучение радионуклидов земной коры
  - электрические разряды в первичной атмосфере
- Источники ионизирующих излучений в земной коре
- Причины зарождения жизни в водной среде:
  - водная среда не разрушает биологические молекулы
  - вода защищает организмы от космического излучения высоких энергий
  - особая роль воды для живых организмов
- Условия для выхода живых организмов на сушу:
  - появление и накопление в атмосфере молекулярного кислорода
  - формирование озонового слоя и снижение радиационного фона

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

III. Активизация познавательной деятельности

Около четырех миллиардов лет тому назад на Земле появилась качественно новая форма организации материи под названием «жизнь», которая обладает рядом удивительных свойств. До сих пор феномен происхождения жизни до конца не разгадан. Однако существует множество гипотез возникновения жизни на нашей планете. Постепенно по мере накопления знаний об окружающем мире и развития научного мировоззрения менялись взгляды на происхождение жизни, выдвигались новые научные гипотезы.

Среди гипотез происхождения жизни особое внимание привлекает биохимическая гипотеза, выдвинутая академиком А.И. Опариным в 1924 году. Ученый полагал, что определяющую роль в возникновении живой материи сыграли белковые молекулы. А.И. Опарину принадлежит и идея о возникновении биологически важных соединений (белков, нуклеиновых кислот, углеводов, жиров) абиогенным путем, т. е. в результате химических процессов, некогда протекавших в неживой природе. Химическая эволюция — переход от простых веществ к более сложным веществам, образованным на основе более простых, по мнению А.И. Опарина, предшествовала биологической эволюции. Без химической эволюции вряд ли стало бы возможным появление жизни на Земле.

IV. Постановка учебной задачи

Сегодня мы в самых общих чертах познакомимся с биохимической гипотезой А.И. Опарина и ролью излучений в зарождении и поддержании жизни на Земле.

Чтобы началось любое химическое превращение, требуется энергия. Откуда же бралась энергия для химических процессов, протекавших на древней Земле?

Энергия излучения, поступающего на Землю из Космоса (в первую очередь, от ближайшей к нам звезды — Солнца) и является тем фактором, без которого жизнь на нашей планете, даже если бы она была занесена на Землю из других миров, никогда не смогла бы существовать.

Задачей урока является выяснение роли излучений в возникновении и развитии жизни на нашей планете.

V. Изучение нового материала

Любая гипотеза требует экспериментального подтверждения. Его и искали ученые разных стран. В своих исследованиях они пытались воспроизвести те процессы, которые могли происходить на нашей планете миллиарды лет назад, и тем самым доказать возможность синтеза биологических молекул в условиях древней Земли. В своих исследованиях ученые опирались на накопленные знания о составе формировавшихся в этот период земных геосфер — земной коры, древней атмосферы и гидросферы.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Вспомните, какие процессы происходили на нашей планете при зарождении первичной атмосферы и гидросферы.

Примерный ответ. Радиоактивный распад атомов в недрах планеты сопровождался выделением большой энергии и разогревом земных недр. Эти процессы сопровождались разломами земной коры и извержениями вулканов. В результате, происходил вынос огромного количества различных веществ (в том числе и радиоактивных) на поверхность планеты.

▶ Наша планета подвергалась постоянной «бомбардировке» различными космическими телами. В прилетавших на Землю из космоса метеоритах, болидах и других космических телах, наряду со стабильными атомами, присутствовали и нестабильные атомы (радионуклиды), которые самопроизвольно распадались. Многие естественные радионуклиды, которые распадаются очень медленно (изотопы урана ^{238}U и ^{235}U, изотоп тория ^{232}Th, радиоактивный изотоп калия ^{40}K и др.) и ныне присутствуют на Земле. Радионуклиды, которые распадались гораздо быстрее, сейчас на Земле не обнаруживают.

Вспомните, какие газы присутствовали в первичной атмосфере Земли.

Примерный ответ. В первичной атмосфере Земли практически отсутствовал кислород, однако содержались аммиак, метан, окись углерода, водород, водяные пары.

▶ Мощное космическое излучение (солнечное и галактическое) падало на поверхность Земли, незащищенную плотным слоем атмосферы с озоновым слоем. Очевидно, что на поверхности древней Земли не было места, свободного от излучений.

Как же могли образоваться биологические молекулы в условиях первобытной Земли?

Полагают, что в процессе образования биологических молекул важную роль сыграли излучения.

▶ **Работа с учебником**. Найдите в учебнике информацию об источниках энергии для осуществления химических реакцией.

«Основными источниками энергии для осуществления химических реакций при образовании биологических молекул могли быть:

- космическое излучение (в основном, солнечное);
- излучения, сопровождающие распад радионуклидов, присутствовавших в земных породах;
- электрические разряды в первичной атмосфере Земли».

На основании этой информации составьте схему: «Источники энергии для осуществления биосинтеза»

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Возможная схема:



Интересны опыты М. Кальвина, показавшего, какую роль могут играть излучения в синтезе биологических молекул. Он облучал смесь аммиака, метана и водорода потоком *бета-частиц*. Нечто подобное, по его мнению, могло происходить и в древние времена.

Какой химический элемент мог быть источником *бета*-частиц в земной коре?

Источником *бета*-частиц в земной коре мог быть радиоактивный изотоп калия ^{40}K, который распадается очень медленно ($T_{1/2} = 1{,}3 \cdot 10^9$ лет) и относится к числу наиболее распространенных естественных *бета*-излучателей (b^-) в земной коре.

Радиоактивный распад ^{40}K, в основном, протекает по уравнению:

$$^{40}K \longrightarrow {}^{40}Ca + b^-$$

Содержание радиоактивного калия на Земле миллиарды лет назад было значительно выше, чем сейчас.

В опытах М. Кальвина и его сотрудников было получено множество соединений, среди которых были и аминокислоты. Именно из аминокислот построены молекулы белков. Эти эксперименты показали, что еще в добиологический период в ходе химической эволюции аминокислоты относительно легко могли получаться в результате химических процессов, вполне реальных для условий первобытной Земли.

Подобные опыты с использованием энергии искрового электрического разряда, ультрафиолетового излучения и иных источников энергии проводили С. Фокс, С. Миллер, А.Г. Пасынский и другие исследователи.

Появившиеся в условиях древней Земли биологические молекулы явились «исходным материалом» при образовании первичных форм живых организмов.

По мнению ученых, жизнь на Земле зародилась на дне мелких теплых морей.

Работа с учебником. Найдите в учебнике информацию о причинах зарождения жизни именно в водной среде.

Первичные организмы могли появиться только в воде, поскольку:

- водная среда не разрушала попадавшие в нее биологические молекулы;

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- в отсутствии озонового слоя только в водной среде первичные организмы были защищены от губительного для всего живого космического излучения высоких энергий;

Особая роль воды для живых организмов заключается и в том, что

- все ткани и клетки живых организмов включают воду;
- большинство биохимических и биофизических процессов обмена веществ может протекать в живых организмах лишь при наличии воды, растворяющей минеральные и органические вещества, в том числе и газообразные.

Первичные организмы дали начало более сложным организмам, а те, в свою очередь, — еще более сложным.

Эволюция жизни на Земле происходила в условиях постоянного влияния разнообразных факторов окружающей среды (температура, влажность, газовый режим и др.). Однако среди множества физических и химических факторов внешней среды особое место занимали *излучения*.

Для возникновения и поддержания жизни на Земле необходимо не только наличие определенных химических веществ и физических условий (температура, давление и др.), но и существование *источника энергии* на протяжении безграничного, по человеческим меркам, промежутка времени. *Солнечное излучение* и *излучение, сопровождающее распад радионуклидов* земных пород, в основном, и обеспечивали поступление необходимого количества энергии.

Излучения играли важную роль на всех стадиях биологической эволюции.

Важным этапом биологической эволюции явилось *появление организмов, способных к фотосинтезу*.

Первичные организмы, появившиеся на Земле, питались готовыми органическими веществами, либо другими организмами. С течением времени некоторые организмы приобрели способность синтезировать питательные вещества из неорганических соединений под действием ультрафиолетового излучения Солнца (фотосинтез). В результате, уменьшилась конкуренция живых организмов за природные источники питательных веществ, увеличилось число и многообразие организмов.

Как Вы думаете, что могло способствовать выходу живых организмов на сушу?

Примерный ответ. С появлением и повсеместным распространением фотосинтезирующих бактерий в атмосфере Земли постепенно увеличивалось содержание свободного молекулярного кислорода (O_2). С накоплением двухатомных молекул кислорода из них под действием ультрафиолетового излучения Солнца в верхних слоях атмосферы стало возможно образование трехатомных молекул озона (O_3) и формирование озонового слоя, защищающего живые организмы от губительной части ультрафиолетового излучения. В целом, выходу живых организмов на сушу способствовало появление плотной земной атмосферы и образование в верхней ее части озонового слоя.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Объяснение учителя

Защищая наземные организмы от губительного действия космического излучения, озоновый слой способствовал формированию наземной флоры и фауны.

Природные условия на нашей планете постоянно менялись. Появлялись и исчезали горы, возникали новые моря и океаны, менялись температура и состав атмосферного воздуха. Однако постоянно существовали природные источники излучения.

В течение многих миллионов лет в ходе эволюции в клетках живых организмов выработались механизмы защиты от естественного ионизирующего излучения, позволяющие клеткам нормально функционировать в условиях постоянного воздействия такого излучения. Эта способность закреплялась на генетическом уровне. В результате, живые организмы адаптировались (приспособились) к естественному ионизирующему излучению.

Подведение учителем итогов и основные выводы

Таким образом, Солнечное излучение и излучение, сопровождающее распад естественных радионуклидов, оказали существенное влияние на формирование и эволюцию биосферы Земли. Благодаря энергии этих излучений на нашей планете поддерживаются условия, обеспечивающие сохранение и устойчивость биосферы.

В условиях первобытной Земли космическое излучение, а также излучение радионуклидов земной коры могли способствовать синтезу биополимеров. Эти сложные органические вещества стали «строительным материалом» для примитивных видов живых организмов.

Последующий этап биологической эволюции привел к возникновению у некоторых организмов фотосинтетического аппарата и способности синтезировать углеводы и получать кислород из углекислого газа и воды с помощью энергии солнечного излучения.

Образование в процессе фотосинтеза свободного кислорода способствовало изменению состава атмосферы и появлению на Земле новых видов живых организмов.

Благодаря солнечной радиации из свободного кислорода в верхних слоях земной атмосферы был рожден и озон, из которого сформировался озоновый слой. До сих пор этот слой служит защитным экраном для всего живого от губительного космического излучения высоких энергий.

Непрерывное поступление на Землю солнечной радиации поддерживает существование организмов и биосферы в целом.

Вместе с тем, не следует забывать и ту огромную роль, которую играют процессы радиоактивного распада естественных радионуклидов, содержащихся в земном веществе, в поддержании теплового равновесия планеты. В процессе движения наша планета постоянно излучает энергию, которая в виде тепла рассеивается в космическом пространстве.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Ядерная энергия, освобождающаяся в процессе распада земных радионуклидов, преобразуется в тепловую энергию, которая наряду с солнечной энергией восполняет потери энергии Земли.

VI. **Закрепление изученного материала** (выполнение заданий по усмотрению учителя).

VII. **Задание на дом: изучить § 1.**

Урок 2. Источники ионизирующего излучения, созданные человеком

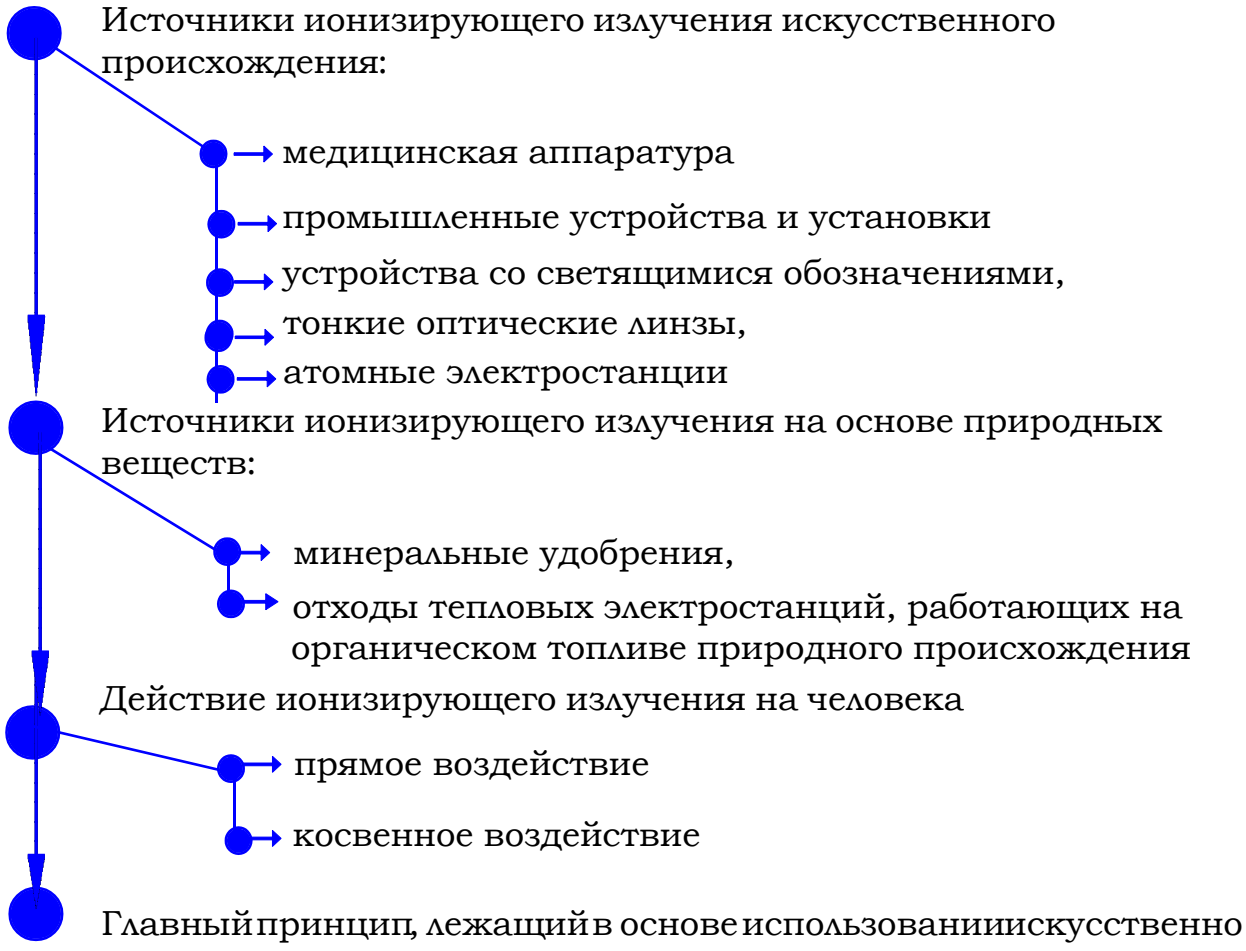
Задачи: познакомить учащихся с источниками ионизирующих излучений, созданными человеком; формировать умение работать в группах, выбирать главное в текстах, проводить анализ и синтез материала.

Оборудование: иллюстрации и фотографии с изображениями различных источников ионизирующих излучений, созданных человеком; плакат: «Схема работы атомной электростанции».

Ход урока

I. **Организационный момент**

II. **Опорные точки урока**



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

III. **Проверка знаний в форме фронтального опроса** (10 минут)

- С какими источниками излучения естественного происхождения Вы уже знакомы?
- Какую роль сыграли источники излучения естественного происхождения в зарождении жизни на Земле?
- Почему именно водная среда оказалась наиболее благоприятной для зарождения жизни на нашей планете?
- Какую роль играют источники излучения естественного происхождения в поддержании жизни на Земле?

IV. **Постановка учебной задачи**

После открытия радиоактивности, изучения свойств ионизирующих излучений и выявления способов получения радионуклидов человечество создало множество искусственных источников ионизирующего излучения, которые нашли широкое применение в различных областях человеческой деятельности.

На этом уроке мы познакомимся с источниками ионизирующего излучения, созданными человеком; с пользой, которую они приносят людям; узнаем, каким может быть воздействие ионизирующего излучения на организм человека; познакомимся с главным принципом, который лежит в основе практического использования источников ионизирующего излучения.

V. **Актуализация опорных знаний** (5 минут)

- Прежде чем говорить об источниках ионизирующего излучения искусственного происхождения, давайте вспомним, что такое корпускулярное излучение?

  Примерный ответ. Корпускулярное излучение представляет собой поток быстродвижущихся частиц : электронов , протонов , нейтронов, альфа-частиц (ядер гелия), других атомных ядер.

- **Что представляет собой *альфа*-излучение**?

  Примерный ответ. ***Альфа*-излучение** ***(a)*** — это поток положительно заряженных частиц — ядер гелия.

- **Что такое *бета*-излучение**?

  Примерный ответ. ***Бета*-излучение** (b^-) — это поток свободных быстро движущихся электронов.

- **Какие виды электромагнитного (фотонного) излучения вы знаете? Какова их природа**?

  Примерный ответ. **Рентгеновское и *гамма*-излучение** *(g)* представляют собой электромагнитные волны.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

VI. **Изучение нового материала**

Вводное слово учителя

К числу основных источников ионизирующего излучения искусственного происхождения относятся:

- ***медицинская аппаратура***,
- ***промышленные устройства и установки, содержащие радиоактивные вещества или генерирующие излучение***,
- ***атомные электростанции и другие предприятия ядерного топливного цикла***.

Источниками ионизирующего излучения, созданными человеком, являются также и некоторые вещества природного происхождения:

- *скопления некоторых видов удобрений (калийных, фосфорных), содержащих природные радионуклиды;*
- *отходы тепловых электростанций, работающих на органическом топливе природного происхождения, в состав которого в небольшом количестве входят радионуклиды.*

Работа организуется в группах по 4 – 5 **человек**. Каждой группе выдаются карточки с заданиями на 8 – 10 минут. Используя дополнительный материал, ученики должны подготовить сообщения по одной из следующих тем:

- использование излучения в медицине;
- использование ионизирующих излучений в промышленности;
- использование радиоактивных изотопов при изготовлении светящихся приборов, оптических линз;
- минеральные удобрения и отходы тепловых электростанций, работающих на органическом топливе естественного происхождения — источники ионизирующего излучения;
- атомные электростанции и другие предприятия ядерного топливного цикла.

Далее работа организуется в форме конференции, где каждая группа выступает 2 – 3 **минуты**. Оценивается глубина раскрытия темы, использование схем, иллюстраций, таблиц; умение работать вместе, сообща.

Обязательный материал

Искусственные источники ионизирующего излучения
Медицина

В настоящее время для диагностики заболеваний человека широко используется рентгеновское излучение. Каждый человек в Беларуси за свою жизнь неоднократно проходит рентгенологическое обследование. Такое обследование проходят в специально оборудованных рентгенологических (флюорографических) кабинетах, оборудованных аппаратурой, которая генерирует рентгеновское излучение.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

При лечении онкологических и других заболеваний часто применяют и другие источники ионизирующего излучения (например, источники *гамма*-излучения). Как правило, такие устройства содержат радионуклиды, распад которых сопровождается испусканием в окружающую среду *гамма*-излучения.

Источники ионизирующего излучения используются также для холодной стерилизации перевязочного материала, медицинских инструментов и сложной медицинской аппаратуры (аппаратов, поддерживающих кровообращение, дыхание и др.).

В европейских странах годовая доза облучения человека при медицинских обследованиях, меняется от 0,4 до 1,6 мЗв и составляет, в среднем, 1,1 мЗв. Дозы облучения при лечении заболеваний могут быть в десятки раз больше.

Промышленность и сфера обслуживания населения

Источники ионизирующего излучения применяют в горнодобывающей промышленности, машиностроении, металлургии, химическом, целлюлозно-бумажном, стекольном и других видах производства, а также в сфере обслуживания населения. Это установки для контроля качества и структуры сплавов, смазочных материалов, установки для стерилизации продуктов питания, облучения автомобильных шин с целью увеличения их пробега, приборы для проверки пассажиров и их багажа, пожарные дымовые детекторы и другие технические устройства.

Приборы со светящимися указателями и обозначениями, оптические линзы

Светящиеся указатели входа-выхода, компасы и другие устройства до сих пор нередко изготавливают с применением радиоактивных веществ. Например, при изготовлении часов со светящимся циферблатом в XX веке использовали соединения радия (Ra), позднее их стали заменять соединениями изотопа водорода трития (^{3}T), прометия (^{147}Pm) и других радионуклидов. Это позволило уменьшить дозы облучения людей. В 1967 году были введены международные нормы на облучение людей от подобных изделий, тем не менее, выпущенные ранее часы все еще находятся в употреблении.

При изготовлении особо тонких оптических линз внесение соединений радиоактивного тория (^{232}Th) в стекло в процессе его варки позволяет очень точно контролировать толщину линз. Это значительно улучшает оптические свойства линз, хотя и приводит к дополнительному облучению хрусталика глаза.

Источники ионизирующего излучения на основе природных веществ

Минеральные удобрения и отходы тепловых электростанций, работающих на органическом топливе природного происхождения

Минеральные удобрения (калийные, фосфорные и др.) применяются в сельском хозяйстве для повышения урожайности растительных культур.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Добытые в земных недрах и подвергнутые переработке с целью повышения содержания необходимых растениям питательных элементов, *минеральные удобрения* (калийные, фосфорные) могут стать дополнительным источником облучения человека. В процессе переработки и обогащения минерального сырья тем или иным химическим элементом происходит концентрирование всех изотопов этого элемента, в том числе и радиоактивных. Скопление значительных количеств удобрений в местах их хранения превращает их в дополнительный источник облучения людей.

Увеличение количеств вносимых в бедные питательными веществами почвы минеральных удобрений выше установленных норм может привести к дополнительному поступлению радиоактивных изотопов в растительную продукцию вместе с элементами минерального питания растений. Именно поэтому следует строго соблюдать рекомендации по количеству и срокам внесения удобрений, разработанные специалистами.

Органическое топливо (каменный и бурый уголь, природный газ, торф, мазут и т.п.), используемое для получения тепловой и электрической энергии, также содержит радионуклиды естественного происхождения (изотопы урана ^{235}U и ^{238}U, тория ^{232}Th, радия ^{226}Ra, радиоактивный изотоп калия $^{40}\boldsymbol{K}$ и др.).

При сжигании торфа, каменного угля или другого органического топлива происходит концентрирование природных радионуклидов. Основная их часть остается в шлаке или золе. Вместе с летучими продуктами горения и зольной пылью эти радионуклиды через трубу электростанций могут попадать в атмосферу, а затем оседать на земную поверхность, превращаясь в дополнительные источники облучения жителей близлежащих населенных пунктов.

Атомные электростанции и другие предприятия ядерного топливного цикла

В целом, их вклад в суммарное облучение населения незначителен. Атомные станции позволяют получать электрическую энергию и тепло в тех местах, где нет других источников энергии. Они являются частью ядерного топливного цикла, который включает множество стадий, начинается с добычи урановой руды и заканчивая переработкой и захоронением радиоактивных отходов. На каждой стадии ядерного топливного цикла радиоактивные вещества могут попадать в биосферу. Тем не менее, облучение населения в результате деятельности предприятий ядерного топливного цикла при условии безаварийной работы ядерных реакторов и всех предприятий цикла незначительное. По оценкам специалистов, даже при самых пессимистических прогнозах, в 2100 году средние дозы облучения населения от предприятий ядерного топливного цикла при условии их безаварийной работы составят не более 1 % от средней дозы облучения жителей Земли в результате воздействия естественного радиационного фона.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Однако в случае аварий на предприятиях ядерного топливного цикла количество радиоактивных продуктов, поступающих в окружающую среду, и дозы облучения населения могут оказаться значительно больше.

Дополнительный материал к уроку приведен в Приложении IV.

Заключительное слово учителя

Таким образом, жизнь в современном мире трудно представить без искусственных источников ионизирующего излучения. Они являются достижением научно-технического прогресса, создают комфорт и во многом облегчают жизнь людей. Вместе с тем, используя эти источники, люди подвергаются дополнительному облучению. Это может быть:

- *прямое воздействие*, как, например, при использовании источников ионизирующего излучения в медицине для диагностики и лечения заболеваний;
- *косвенное воздействие* в результате попадания радиоактивных веществ в окружающую среду.

При использовании источников ионизирующего излучения, созданных человеком, устанавливают пределы на облучение людей и контролируют степень облучения людей, работающих с такими источниками или подвергающихся их воздействию, например, в медицинских целях.

Главным принципом при использовании искусственно созданных источников ионизирующего излучения является получение пользы от их применения с наименьшими отрицательными последствиями для человека и окружающей среды.

VI. **Задание на дом**: изучить § 2, выполнить задания в тетради на печатной основе

Урок 3. Атомные электростанции и аварии на них на примере событий на Чернобыльской АЭС

Задачи: познакомить учащихся с достоинствами и недостатками получения тепловой и электрической энергии на атомных электростанциях; в самых общих чертах осветить аварийные ситуации, возникавшие на них в прошлом; на примере событий, произошедших на Чернобыльской атомной электростанции (ЧАЭС) в апреле 1986 года, показать, к каким последствиям могут приводить нарушения работниками станции элементарных правил техники безопасности; продолжить формирование умений работать с источниками информации, с дополнительной научно-популярной литературой.

Оборудование : иллюстрации и фотографии с изображениями атомных электростанций; плакат: «Схема работы атомной электростанции»; карта радиоактивного загрязнения Беларуси в 1986 году.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Ход урока

I. **Организационный момент**

II. **Опорные точки урока**

- Получение энергии на АЭС, достоинства и недостатки этого способа получения тепловой и электрической энергии
- Обеспечение безопасности людей при работе АЭС
- Происшествия, которые случались на атомных электростанциях
- Что произошло на Чернобыльской АЭС в апреле 1986 года
- Как развивались события на ЧАЭС в ночь катастрофы
- Почему произошла катастрофа
- К чему привело нарушение герметичности ядерного реактора

III. **Постановка учебной задачи**

На этом уроке мы узнаем о преимуществах и негативных сторонах способа получения тепловой и электрической энергии на АЭС; познакомимся в самых общих чертах с авариями, которые случались на АЭС в прошлом; вспомним события, произошедшие на Чернобыльской АЭС в апреле 1986 года; познакомимся с мнением специалистов о произошедших событиях и с позиции сегодняшнего дня постараемся понять, почему произошли эти события.

IV. **Изучение нового материала**

▶ **Рассказ учителя**:

Атомные электростанции

Работа АЭС во многом аналогична работе тепловой электростанции, только здесь тепловую и электрическую энергии получают не в результате сжигания органического топлива, а за счет осуществления определенных ядерных реакций. Энергия, выделяющаяся в процессе использования ядерного «горючего», преобразуется в реакторе в тепловую энергию, которая идет на нагревание воды и ее превращение в пар. Водяной пар вращает турбину, связанную с генератором, вырабатывающим электрическую энергию.

В таких странах, как Бельгия, Франция и Литва, значительная часть электричесой энергии (60 – 82 % от ее общего производства) вырабатывается на атомных электростанциях

На территории Республики Беларусь нет атомных электростанций. Однако вблизи ее границ располагается четыре АЭС: Игналинская в Литве, которую предполагается вывести из эксплуатации в ближайшее время, Чернобыльская (выведена из эксплуатации в 2000 году) и Ровенская в Украине, Смоленская в России.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Современные АЭС проектируются таким образом, чтобы

- не допускать опасных и вредных выбросов в окружающую среду,
- обеспечивать радиационную безопасность работников станции и населения, живущего вокруг нее,
- как можно меньше подвергать людей облучению искусственно созданными источниками излучения.

При нормальной работе АЭС значительно меньше загрязняют окружающую среду по сравнению с тепловыми электростанциями.

Выбросы вредных веществ в окружающую среду при нормальной работе атомной электростанции примерно в 100 раз меньше, чем при работе обычной тепловой электростанции

Так, современная тепловая электростанция мощностью 1 ГВт (1 Гигаватт (ГВт) = $1 \cdot 10^9$ Вт = 1 миллиард Вт) в течение года потребляет около 3 млн. тонн угля и большое количество атмосферного кислорода для его сжигания. При этом такая станция выбрасывает в атмосферу около 165 тыс. тонн различных отходов. В каменном угле содержатся естественные радиоактивные вещества (уран, торий, полоний, радий и др.), которые концентрируются в золе и шлаках.

По сравнению с тепловыми электростанциями, использующими разное органическое топливо (уголь, мазут, природный газ), при работе АЭС не потребляется атмосферный кислород (O_2), не образуются оксиды углерода, азота и серы (***CO***, CO_2, N_2O_x, SO_2), не остается зола.

Достоинством АЭС является также сравнительно небольшой объем необходимого ядерного «горючего». Так, АЭС мощностью 1 ГВт потребляет за год *100 тонн ядерного топлива*, а тепловая электростанция такой же мощности — *~ 3 млн. тонн угля*.

Однако, наряду с достоинствами, ядерной энергетике свойственны и недостатки. При использовании ядерной энергии и превращении ее в тепловую и электрическую энергию возникают проблемы, связанные с:

- тепловым загрязнением окружающей среды,
- необходимостью перерабатывать радиоактивные отходы,
- необходимостью хранить длительное время радиоактивные отходы или помещать их в недоступное место (захоранивать).

Далеко не вся энергия, освобождающаяся в ядерных реакциях, используется для получения электрической энергии на АЭС. До 70 % тепловой энергии, выделяющейся в реакторе, где протекают ядерные превращения, поступает в окружающую среду. Чтобы уменьшить эти потери тепла, в настоящее время большое внимание уделяется разработке способов эффективного его использования. Одним из таких способов является создание при атомных станциях агробиологических и рыбоводческих комплексов, где тепло АЭС, ранее поступавшее в окружающую среду, используется для производства сельскохозяйственной и рыбной продукции.

Большое внимание уделяется и усовершенствованию методов переработки радиоактивных отходов и их изоляции в течение длительного времени.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Учитель

Найдите в пособии информацию о том, что необходимо для обеспечения безопасной работы атомных электростанций?

«Атомная электростанция является сложным техническим объектом и, чтобы обеспечить безопасную работу станции, требуется не только высокая квалификация обслуживающего персонала, но и строгое соблюдение ими правил техники безопасности. Ошибки и просчеты в работе персонала АЭС, нарушения ими правил безопасной работы недопустимы, так как такие нарушения могут привести к выбросу радиоактивных веществ в окружающую среду и дополнительному облучению людей».

При объяснении учителя организуется работа с плакатом «Схема работы атомной электростанции»; географическими картами и кратко записывается информация.

Аварийные ситуации на АЭС и других предприятиях ядерной энергетики, связанных с переработкой и хранением радиоактивных отходов, случались и раньше. Они были разными по степени опасности для людей и окружающей среды. В ряде случаев происшествия на предприятиях ядерной энергетики не приводили к выбросу радиоактивных веществ в окружающую среду и загрязнению территорий, расположенных за пределами предприятий и поэтому не сопровождались значительным риском для населения. Однако в некоторых случаях происходили и крупные аварии со значительным выбросом радиоактивных веществ за пределы АЭС или других предприятий ядерной энергетики.

Именно такое событие произошло 26 апреля 1986 года на Чернобыльской АЭС.

Чернобыльская АЭС расположена в восточной части Белорусско-Украинского Полесья в 110 км на север от Киева и в 12 км на северо-запад от Чернобыля, на расстоянии 12 км от границы с Беларусью и 140 км от границы с Россией. (Учитель показывает местоположение Чернобыльской АЭС на карте).

Рассмотрим, что же случилось на атомной станции.

Авария произошла в то время, когда ядерный реактор в соответствии с планом работ на АЭС был остановлен для проведения испытаний турбогенератора, вырабатывающего электрическую энергию.

Ядерный реактор — это важнейшая часть атомной станции. В реакторе в контролируемых условиях осуществляется ядерная реакция, которая протекает с постоянной скоростью и сопровождается освобождением ядерной энергии в виде энергии ионизирующих излучений. Энергия, излучений здесь же в реакторе преобразуется в тепловую энергию. Выделяющаяся тепловая энергия расходуется на нагревание и испарение воды. Образующийся водяной пар поступает к турбине и заставляет ее вращаться. Во время вращения турбины генератор, связанный с турбиной, вырабатывает электрическую энергию, которая и поступает в наши дома, на заводы, фабрики, фермы и другие предприятия по электрическим проводам.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

При проведении испытаний персонал грубо нарушил правила эксплуатации реактора, отключив средства защиты, обеспечивающие протекание ядерной реакции с контролируемой скоростью и предотвращающие выделение избыточного количества тепла. Скорость ядерной реакции значительно возросла, что привело к выделению чрезмерно большого количества тепла и сильному разогреву воды. Образовалось такое большое количества водяного пара, что система водяного охлаждения не выдержала, и произошло два мощных тепловых взрыва. В результате, тысячетонная крышка реактора была сдвинута. Нарушение герметичности реактора и приток в него воздуха вызвали пожары и выброс огромного количества радиоактивных веществ в окружающую среду.

Каковы же, по мнению специалистов, причины аварии на Чернобыльской АЭС?

Работа с учебником

Найдите ответ на этот вопрос в пособии и кратко запишите.

«По мнению специалистов, причины аварии — в техническом несовершенстве конструкции реактора и ошибочных действиях персонала, вплоть до нарушения правил техники безопасности.

К основным недостаткам конструкции реактора относятся:

- отсутствие в системе защиты реактора средств, которые бы позволяли предотвращать аварии даже при умышленных отключениях автоматического управления реактором и даже при нарушениях правил его эксплуатации;
- отсутствие в конструкции реактора обязательных для всех атомных электростанций внешних стальных и бетонных защитных оболочек, которые предотвращали бы распространение радиоактивных веществ в аварийных ситуациях.

Действия персонала, проводившего испытания, не соответствовали требованиям техники безопасности при управлении атомным реактором. К числу нарушений, допущенных работниками станции, можно отнести отключение системы охлаждения и аварийной защиты ядерного реактора».

Объяснение учителя

В период с 1986 по 1990 год специалистами в области ядерной энергетики была проведена большая работа по уточнению причин аварии. Сейчас с точностью до минуты известно о действиях всего персонала, дежурившего на станции в ночь катастрофы. Были выявлены все неправильные действия работников станции, которые привели к трагедии. Расходясь в деталях, специалисты единодушны в одном: причины катастрофы — в техническом несовершенстве конструкций реактора и ошибочных действиях персонала, в том числе и нарушения ими правил техники безопасности.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Образовавшееся в результате тепловых взрывов радиоактивное облако перемещалось воздушными потоками и радиоактивные вещества распространялись по территории стран Европы и других континентов. Больше всего оказалась загрязненной территория Беларуси, Украины и России. По масштабам произошедшая катастрофа превзошла все известные до этого ядерные аварии.

Наибольший урон был нанесен Республике Беларусь. Примерно 23 % территории Беларуси подверглось радиоактивному загрязнению ^{137}Cs плотностью выше 37 кБк/м^2 (1 Ки/км^2) и около 2,5 млн. белорусов подверглись радиоактивному облучению в результате разрушения ядерного реактора на Чернобыльской АЭС и выброса радиоактивных веществ в окружающую среду.

После произошедшей катастрофы жизнь многих людей в Беларуси, России и Украине изменилась. Население этих стран до сих пор ощущает последствия Чернобыльской катастрофы.

Работа с географическими картами.

Как же чернобыльские радионуклиды попали в окружающую среду?

Выброс радиоактивных продуктов из разрушенного реактора Чернобыльской АЭС продолжался примерно 20 суток, причем наиболее интенсивно — в течение первых 10 суток. Образовавшееся радиоактивное облако перемещалось с воздушными потоками и его движение определялось направлением ветра. Погодные условия в этот период оказали существенное влияние на распространение радиоактивных веществ в окружающей среде. Поскольку выброс был длительным, а метеорологические условия неоднократно менялись, радиоактивные вещества распространялись в различных направлениях и неравномерно оседали на земную поверхность в пределах обширных территорий.

26 – 27 апреля радиоактивные продукты выпали на территории Украины, Беларуси и России.

К вечеру *27 апреля* радиоактивное облако достигло Скандинавии. В последующие два дня оно оказалось уже в странах Центральной Европы, а после очередной смены направления ветра — на Балканах. Его влияние проявилось даже в таких далеких от нас странах, как Великобритания, Турция, Израиль.

29 апреля ветер повернул на юг, и радиоактивное облако стало перемещаться в направлении Киева.

После *2 мая* ветер сменился вначале на юго-западный, затем на северо-западный и северный. Это вновь привело к радиоактивному загрязнению территории Беларуси. В начале мая повышенный уровень радиации был зарегистрирован даже в Японии, что свидетельствовало о распространении радиоактивных веществ на многие сотни и даже тысячи километров от Чернобыльской АЭС. В таком случае говорят о глобальном характере произошедшей катастрофы.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

В результатекатастрофывокружающуюсредубыливыброшенысамые разнообразные радиоактивные вещества с периодами полураспада от нескольких суток до нескольких десятков тысяч лет. Особенно опасно в первые часы катастрофы было мощное *гамма*-излучение образовавшегося радиоактивногооблака.

По оценкам специалистов, примерно 3,5 – 5,0 % общего количества радиоактивных продуктов, находившихся в реакторе непосредственно перед катастрофой, было выброшено в окружающую среду.

Уменьшить выброс радиоактивных веществ в окружающую среду позволило строительство над разрушенным реактором в ноябре 1986 года укрытия — саркофага. Однако сложные условия строительстване позволили добиться герметичности конструкции. Через щели и вентиляционные отверстия радиоактивные вещества в небольших количествах продолжали поступать в окружающую среду.

Вывод

Событие, случившееся в апреле 1986 года на Чернобыльской АЭС, показало, каким опасным может стать мирный атом при неумелом обращении с ним. Тем не менее, это не заставило человечество отказаться от использования атомной энергии, и в ряде стран доля электроэнергии, вырабатываемой на АЭС, по-прежнему остается высокой.

Чтобы не допустить в будущем подобных происшествий, человечество должно извлечь уроки из случившегося в Чернобыле.

V. **Закрепление изученного материала**

- Где расположена Чернобыльская атомная станция?
- Что явилось причиной аварии на ЧАЭС?
- Почему последствия аварии на ЧАЭС оказались глобальными?
- Какие уроки должен извлечь человек из катастрофы на ЧАЭС?

VI. **Задание на дом**: изучить § 3, выполнить задания в тетради на печатной основе.

Урок 4. Загрязнение территории Республики Беларусь радионуклидами чернобыльского выброса

Задачи: познакомить учащихся с радиоактивным загрязнением территории Республики Беларусь после аварии на Чернобыльской АЭС; отметить источники внешнего и внутреннего облучения организма человека, продолжить формирование умений работать с источниками информации, с дополнительной, научно-популярной литературой.

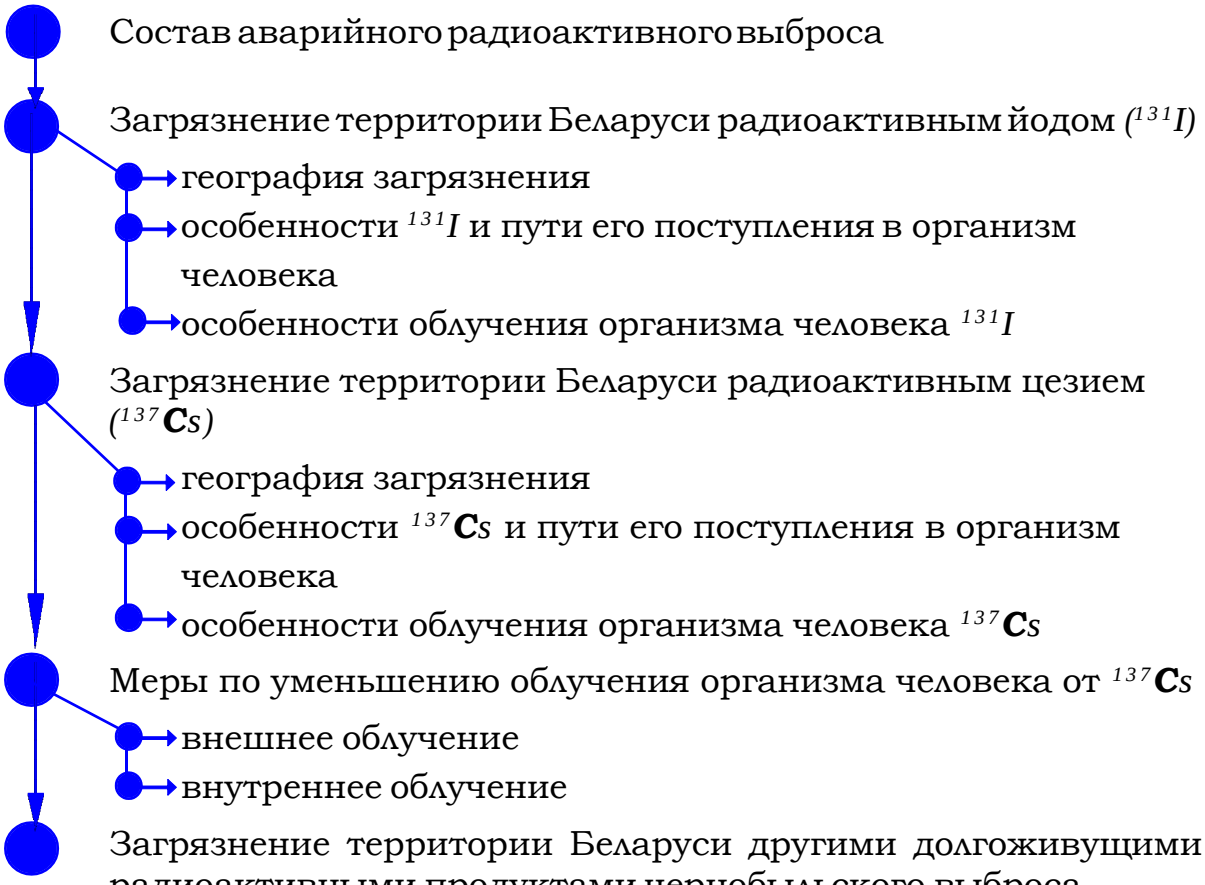
Оборудование: физическая и политическая карты Беларуси, карты радиоактивногозагрязнениятерриторииБеларуси, Периодическаясистема химических элементов Д.И. Менделеева, таблица с указанием состава первоначального радиоактивного выброса из разрушенного реактора.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Ход урока

I. **Организационный момент**

II. **Опорные точки урока**



III. **Изучение нового материала**

Изучение нового материала проводится в форме игры: «**Пресс-конференция с учеными-специалистами в области радиоэкологии и радиационной безопасности**».

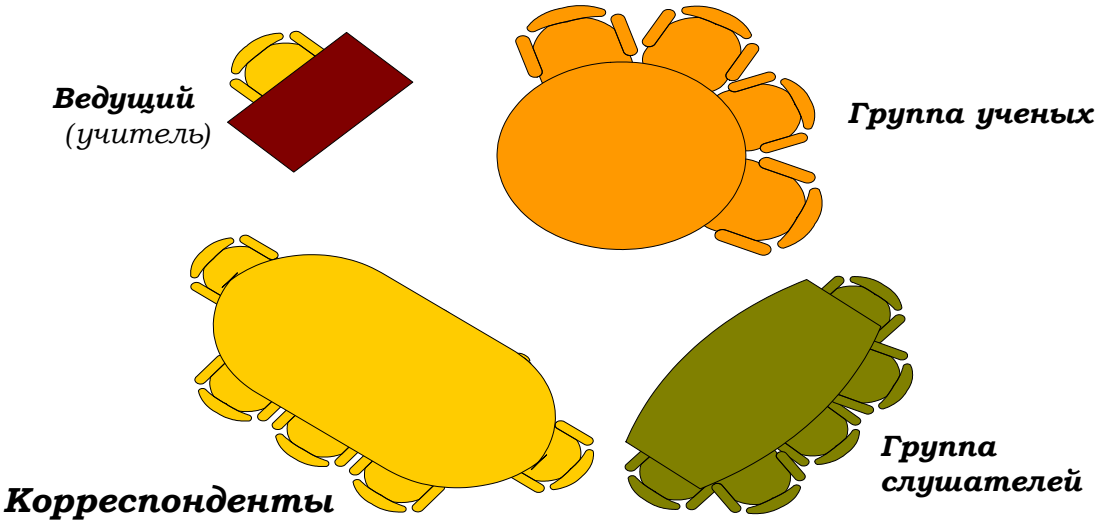
Тема конференции: «**Радиоактивное загрязнение территории Республики Беларусь**».

Класс разбивается на 3 группы: ученых-специалистов из разных областей знаний, корреспондентов различных печатных изданий, радио и телевидения и группу слушателей.

Ход урока

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Примерное размещение участников пресс-конференции



Ход игры

Ведущий *(учитель)*

Катастрофа на Чернобыльской атомной электростанции (ЧАЭС) была самой крупной ядерной катастрофой за весь период развития атомной энергетики. Она затронула практически все уголки планеты, отразилась на жизни многих людей.

На нашей Пресс-конференции присутствуют ученые-специалисты в области радиоэкологии и радиационной безопасности, корреспонденты различных печатных изданий, радио и телевидения и слушатели.

Порядок проведения: корреспонденты представляются (называют организацию, которую они представляют, свою фамилию и имя), затем обращаются с вопросом к определенному специалисту.

Первый корреспондент

Газета «Советская Белоруссия», Павлов Дмитрий. Насколько мне известно, по оценкам специалистов, 2/3 радиоактивных веществ аварийного выброса выпало на территорию нашей республики. Какие радиоактивные продукты были выброшены из реактора после взрыва и распространялись в окружающей среде?

Первый ученый

(Представляется и отвечает на вопрос)

При разгерметизации реактора в атмосферу, в первую очередь, устремились наиболее летучие продукты. В их состав входили радиоактивные инертные газы (криптон, ксенон), тритий, радиоактивные углерод, йод, цезий, теллур и соединения других элементов с самыми разными периодами полураспада.

Второй корреспондент

(Представляется так же, как и первый).

Какая опасность подстерегала людей в первые часы после катастрофы?

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Второй ученый

В первые часы после катастрофы наибольшую опасность для людей, попавших в зону катастрофы , представляло мощное излучение радиоактивного облака, состоявшего из наиболее летучих радиоактивных веществ , выброшенных из реактора . Эти радиоактивные вещества облучали людей извне, а при попадании в организм человека с воздухом при дыхании облучали его и изнутри. В этот период люди, находившиеся в зоне катастрофы, подверглись значительному внешнему и внутреннему облучению.

Третий корреспондент

Какие радиоактивные вещества представляли наибольшую опасность для населения в первые дни и недели после катастрофы?

Третий ученый

Уже в первые дни после катастрофы большую опасность представляли короткоживущие радионуклиды, среди которых был и радиоактивный йод (в основном ^{131}I). Радиоактивным йодом были загрязнены обширные территории, включая страны Прибалтики, Венгрию, Грузию.

Йод является биологически важным элементом . Он необходим щитовидной железе для синтеза гормонов.

Четвертый корреспондент

Какие территории нашей республики были наиболее загрязнены радиоактивным йодом?

Четвертый ученый

Использует карту «Загрязнения территории Беларуси радиоактивным йодом, ^{131}I (1986 год)».

В апреле-мае 1986 года наибольшие уровни загрязнения радиоактивным йодом *(^{131}I)* отмечались в ближней зоне ЧАЭС: в Брагинском, Хойникском и Наровлянском районах Гомельской области. Значительное загрязнение радиоактивным йодом отмечалось также в юго-западных и северных районах Гомельской области, а также в отдельных районах Могилевской и Брестской областей.

Пятый корреспондент

Как поступал радиоактивный йод в организм человека?

Ученый-биолог

Радиоактивный йод находился в воздухе в аэрозольном состоянии. Оседая на землю, он загрязнял почву, растительность , водоемы . Он поступал в организм человека вместе с вдыхаемым воздухом по «цепи атмосферный воздух — человек», а также с загрязненными продуктами питания, в основном по цепи «растительный корм — молочный скот — молоко — человек» и накапливался преимущественно в щитовидной железе.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Шестой корреспондент

У меня вопрос к биологам. Какую роль играет йод в организме человека?

Ученый-биолог

Йод является биологически важным элементом. Он необходим щитовидной железе для выработки гормонов, участвующих в обмене веществ. Поэтому попадание радиоактивного йода в организм человека и его накопление преимущественно в щитовидной железе может приводить к ее заметному облучению. В последствии это может привести к увеличению частоты заболеваний этого органа. Особую опасность для человека представлял радиоактивный йод в первые месяцы после катастрофы, когда на пострадавших территориях отмечалось наиболее высокое содержание радиоактивного йода в атмосферном воздухе.

Седьмой корреспондент

Какова же дальнейшая судьба радиоактивного йода?

Седьмой ученый

В составе чернобыльского выброса преимущественно присутствовал радиоактивный изотоп йода ^{131}I, распад которого сопровождается *гамма*- и *бета*-излучениями. Период полураспада ^{131}I составляет 8,0 суток. Это значит, что половина выброшенного из реактора радиоактивного йода распалась примерно за 8,0 суток, половина оставшегося йода распалась за следующие 8,0 суток и т. д. Поэтому примерно через 2 месяца после катастрофы выброшенный из реактора радиоактивный йод практически полностью распался и превратился в нерадиоактивный ксенон.

Первый корреспондент

Какие радиоактивные продукты чернобыльского выброса загрязняют в настоящее время территорию нашей страны и все еще продолжают представлять опасность?

Первый ученый

После распада короткоживущих радиоактивных продуктов основную опасность стали представлять долгоживущие радионуклиды, и в первую очередь, радиоактивный изотоп цезия ^{137}Cs с периодом полураспада 30 лет. Этот изотоп распадается с образованием стабильного изотопа бария ^{137}***Ba***, и распад сопровождается преимущественно *гамма*-излучением. Соединения цезия, как правило, легкоплавки и легколетучи, поэтому загрязнение радиоактивным цезием затронуло не только Республику Беларусь, но и многие страны Европы. Полностью распадется ^{137}Cs лишь через 300 лет.

Второй ученый *(дополняет первого)*

В настоящее время, наряду с ^{137}Cs, на территории Беларуси присутствуют и другие долгоживущие радиоактивные продукты. В основном, это радиоактивный стронций (^{90}Sr) и трансурановые элементы, которые расположены в Периодической таблице химических элементов за ураном. В их число входит плутоний, америций и другие тяжелые элементы.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Радиоактивный изотоп ^{90}Sr является *бета*-излучателем с периодом полураспада 28,6 лет. Среди выпавших трансурановых элементов присутствуют как *бета*-, так и *альфа*-излучатели с периодами полураспада от 14,4 лет до десятков тысяч лет. Основную опасность ^{90}Sr и трансурановые элементы представляют при попадании внутрь организма.

Основное количество радиоактивного стронция и трансурановых элементов сосредоточено в зоне отселения, преимущественно на территории Полесского радиационно-экологического заповедника, границы которого расположены примерно в 30 км от разрушенного ядерного реактора. Трансурановые элементы, которые загрязняют территорию заповедника, имеют большие периоды полураспада (до десятков тысяч лет) и будут оставаться на этой территории в значительных количествах в течение продолжительного времени. Радиационная обстановка на территории заповедника еще долго будет оставаться опасной. Поэтому территория заповедника охраняется, а все виды деятельности на этой территории запрещены. Весьма неразумно было бы самостоятельно посещать эти места, а тем более, нарушая закон, использовать эти территории для охоты, рыбной ловли, выпаса животных, заготовки сена и других видов деятельности.

Второй корреспондент

А в чем заключается опасность ^{137}Cs для человека? Каковы пути его поступления в организм человека?

Третий ученый

Поскольку распад радиоактивного цезия сопровождается преимущественно *гамма*-излучением, при нахождении в окружающей среде, он является источником внешнего облучения населения. Вместе с тем, ^{137}Cs может поступать и внутрь организма человека. По своим химическим свойствам цезий похож на калий. При попадании в организм вместе с пищей и водой радиоактивный цезий ведет себя подобно калию и включается в те же процессы обмена веществ, в которых участвует калий. Это приводит к распределению радиоактивного цезия в организме человека и внутреннему облучению его органов и тканей.

Третий корреспондент

Какие территории нашей республики наиболее загрязнены этим радиоактивным цезием?

Четвертый ученый

Использует карту «Загрязнения территории Беларуси ^{137}Cs (1986 год)».

Около 35 % ^{137}Cs, выпавшего в Европе в результате Чернобыльской катастрофы, осело на территории Беларуси.

В пределах нашей страны, в основном, выделяют четыре пятна, где радиоактивное загрязнение представлено преимущественно ^{137}Cs:

- *центральное (западнее и северо-западнее Минска),*
- *юго-западное (южная часть Припятского Полесья),*
- *восточное (север Гомельской и юг Могилевской области),*
- *юго-восточное (южные и юго-восточные районы Гомельской области).*

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Загрязнению радиоактивным цезием подверглись преимущественно Гомельская и Могилевская области. Кроме того, пострадали 10 районов Минской области, 6 районов Брестской, 6 районов Гродненской и 1 район Витебской области. Напомню, что к радиоактивнозагрязненнымотносятся территории с уровнем загрязнения ^{137}Cs более 37 кБк/м^2 (1 Ки/км^2). В 1986 году площади с таким уровнем загрязнения ^{137}Cs составляли 23 % территории Беларуси.

Четвертый корреспондент

Прошло уже много лет после катастрофы. Произошли ли какие-либо изменения в загрязнении территории нашей страны радиоактивным цезием?

Пятый ученый

С течением времени в результате распада радиоактивного цезия и превращения его в нерадиоактивный барий уровень загрязнения территории республики ^{137}Cs снизился.

Показывает карту «Загрязнение территории Беларуси ^{137}Cs (2001 год)»

В январе 2001 года площади, загрязненные ^{137}Cs с уровнем, превышающим 37 кБк/м^2 (1 Ки/км^2), сократились и уже составляли 21 % от общей территории Беларуси.

Четвертый корреспондент

Каким образом можно уменьшить внешнее облучение организма человека при проживании в населенном пункте, расположенном на загрязненной территории или вблизи такой территории?

Шестой ученый

В настоящее время хорошо известно об уровнях радиоактивного загрязнения всех населенных пунктов, расположенных в пострадавших районах. О радиационной обстановке в ваших населенных пунктах и в окрестностях всегда можно узнать в сельсоветах. С информацией по уровню загрязнения лесных угодий можно ознакомиться в конторах лесхозов и лесничеств. Узнав о том, какие места на территории, где вы живете, наиболее загрязнены, старайтесь, по возможности, не посещать их, а если этого нельзя избежать, старайтесь находиться в этих местах как можно меньше.

Пятый корреспондент

А как уменьшить внутреннее облучение организма от продуктов чернобыльского выброса?

Первый ученый

Поскольку в настоящее время основным источником внутреннего облучения организма человека являются радиоактивные вещества, попадающие в организм человека с пищей, особое внимание следует уделять контролю употребляемых в пищу продуктов. Сделать это можно в ближайшем пункте радиационного контроля. Потребляя только продукты

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

питания, соответствующие по содержанию радиоактивных веществ установленным нормам, вы значительно уменьшите опасность внутреннего облучения своего организма.

При производстве сельскохозяйственной продукции на загрязненной территории применяются методы, способствующие снижению поступления радионуклидов в производимую продукцию. Эти методы полезно знать и населению, проживающему на этих территориях и применять их на своих приусадебных участках.

Ведущий (учитель)

У кого из корреспондентов еще есть вопросы? Подведем итоги нашей пресс-конференции.

Мы видим, что последствия катастрофы на ЧАЭС для нашей республики оказались настолько серьезными, что Верховный Совет Беларуси в июле 1990 года объявил территорию Республики Беларусь *зоной экологического бедствия*. Государство до сих пор принимает меры по преодолению последствий Чернобыльской катастрофы. В основном, эти меры направлены на ограничение облучения населения, а также на уменьшение экологических и экономических последствий катастрофы.

Кроме того, каждый человек, проживающий на загрязненной территории, также многое может сделать, чтобы уменьшить как внешнее, так и внутреннее облучение своего организма. Прежде всего, каждому нужно знать о радиационной обстановке в своем населенном пункте и на прилегающей территории и ограничить свое пребывание в местах с большими уровнями загрязнения. Так можно уменьшить внешнее облучение своего организма.

Чтобы уменьшить внутреннее облучение организма за счет поступления радионуклидов с пищей, следует обязательно контролировать используемые дары природы и продукцию, получаемую в подсобном хозяйстве. Необходимо также предпринимать все возможные меры, чтобы уменьшать поступление радионуклидов в растительную продукцию, выращиваемую на приусадебном участке, а также в мясо, молоко и другие продукты с личного подсобного хозяйства. Местные агрономы и зоотехники могут проконсультировать, как это сделать.

Чтобы лучше понять, с какими трудностями пришлось столкнуться населению нашей страны, на следующих уроках мы рассмотрим, каковы масштабы загрязнения природной среды в результате Чернобыльской катастрофы.

IV. **Задание на дом**: Изучить § 4. (Можно не давать домашнее задание, так как многие ученики принимали участие в подготовке и проведении урока).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Урок 5. *Радионуклиды чернобыльского выброса в атмосферном воздухе*

Задачи: изучение последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на примере загрязнения воздушной среды радиоактивными веществами; развивать умение мыслить, строить развернутый рассказ, используя диаграммы, таблицы; воспитывать культуру общения.

Оборудование : карты радиоактивного загрязнения Беларуси ; диаграмма «Среднегодовое содержание ^{137}Cs в приземном воздухе городов Хойники и Минск после Чернобыльской катастрофы»,

Ход урока

I. **Организационный момент**

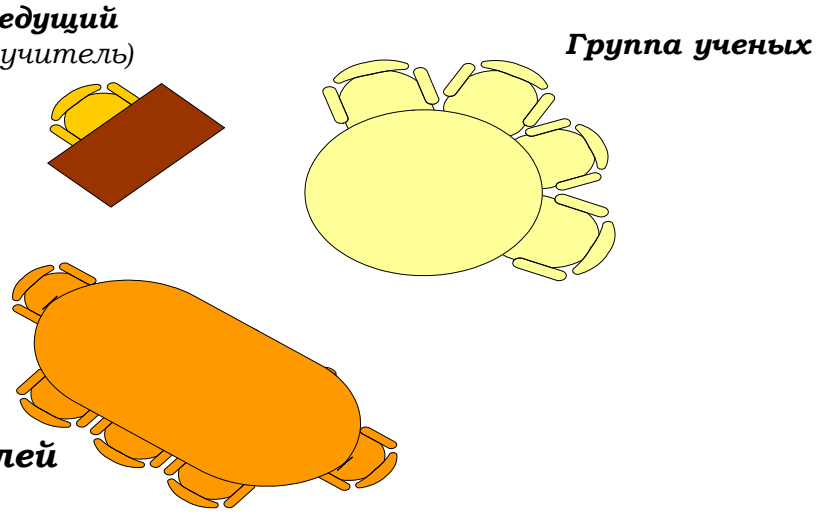
II. **Опорные точки урока**

- Радиоактивные продукты, выброшенные в окружающую среду в результате катастрофы на ЧЭАС
- Распространение радиоактивных продуктов чернобыльского выброса
- Радиоактивное загрязнение атмосферного воздуха на территории Беларуси
  - загрязнение воздуха ^{131}I
  - загрязнение воздуха ^{137}Cs и другими радионуклидами
- Факторы, определяющие уровень радиоактивного загрязнения атмосферного воздуха
- Изменение уровня радиоактивного загрязнения воздуха с течением времени

III. **Изучение нового материала**

Проводится в форме урока-спектакля «Ученые за круглым столом», ведущий — учитель.

Примерная схема размещения участников урока-спектакля



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Ход урока

Слово ведущего *(учителя)*:

На прошлом уроке мы познакомились с общим характером радиоактивного загрязнения территории нашей страны после катастрофы на Чернобыльской атомной электростанции, случившейся 26 апреля 1986 года. Следующим шагом будет более подробное знакомство с последствиями этих трагических событий. Сегодня мы рассмотрим радиоактивное загрязнение воздушной среды в первые недели после катастрофы и спустя многие годы.

Эту проблему обсудит группа ученых.

Уважаемый Иван Федорович, будьте добры, объясните, что способствовало радиоактивному загрязнению значительной территории нашей страны.

Первый ученый

Свой рассказ сопровождает показом на карте.

Радиоактивное загрязнение территории Беларуси началось сразу же после разгерметизации ядерного реактора.

27 – 28 апреля 1986 года территория нашей страны находилась в области пониженного атмосферного давления, и 28 апреля во всех областях республики прошли ливневые дожди. Атмосферные осадки вымывали из атмосферного воздуха выброшенные из реактора радиоактивные вещества, принесенные воздушными потоками с места катастрофы. Это способствовало попаданию радиоактивных продуктов на поверхность почвы, растительности, водоемов.

29 апреля переместившиеся в северном направлении воздушные потоки направились из Прибалтики в сторону Беларуси. Такой перенос воздушных масс сохранялся до 6 мая.

8 мая направление ветра вновь изменилось, и воздушные массы опять от Чернобыля направились в сторону Беларуси.

В целом, метеорологические условия, сложившиеся в период с 26 апреля по 10 мая, когда происходили наиболее интенсивные выбросы радиоактивных веществ из разрушенного реактора, способствовали распространению воздушных масс, загрязненных радионуклидами, над территорией Беларуси. В результате около 2/3 радиоактивных веществ, выброшенных из реактора, осело на территории нашей страны.

Ведущий

Какими радиоактивными продуктами был загрязнен воздух?

Первый ученый *(Иван Федорович Красовский)*

В первые дни и недели в пробах воздуха, отобранных на прилегающей к АЭС территории, было обнаружено очень много разнообразных радиоактивных веществ. В этот период в воздухе было много летучих радиоактивных продуктов. Среди них были ксенон (^{133}Xe), йод (^{131}I), цезий (^{134}Cs, ^{137}Cs), теллур (^{132}Te). Как видите, в их число входят ^{131}I и ^{137}Cs.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Второй ученый *(Петр Николаевич Иванов)*

Обращается к первому.

Уважаемый Иван Федорович, какое предельно допустимое содержание радиоактивных веществ в воздухе, которым дышит население, установлено в нашей стране? Как менялось со временем содержание радиоактивных продуктов в атмосферном воздухе Беларуси после катастрофы на Чернобыльской АЭС? Что можно сказать об уровне радиоактивного загрязнения атмосферного воздуха радионуклидами чернобыльского выброса в настоящее время?

Первый ученый

Уважаемые коллеги! Посмотрите на следующую таблицу.

Допустимые и наблюдавшиеся после катастрофы на ЧАЭС уровни содержания радионуклидов в атмосферном воздухе

	^{131}I	^{137}Cs	$^{239,240}Pu$
Допустимые для населения среднегодовые уровни радиоактивного загрязнения вдыхаемого воздуха	7,3 Бк/м³	27 Бк/м³	0,0025 Бк/м³
Максимальные уровни радиоактивного загрязнения атмосферного воздуха, наблюдавшиеся в *Березинском заповеднике* 27 –28 апреля 1986 года	150 – 200Бк/м³	9,9 Бк/м³,	0,0007Бк/м³

Вы видите, что 27 – 28 апреля 1986 года даже в *Березинском заповеднике*, который расположен на расстоянии 400 км севернее от места катастрофы, содержание радиоактивного йода в атмосферном воздухе почти в 30 раз превышало предельно допустимую концентрацию (ПДК)! В результате катастрофы содержание радиоактивных веществ в воздухе в районах, прилегающих к АЭС, многократно возросло по сравнению с 1985 годом.

Третий ученый *(Григорий Петрович Соболев)*

Уважаемые коллеги! Следует учесть одно важное обстоятельство, а именно: атмосфера способна самоочищаться. Уже к концу 1986 года, а затем и в последующие годы картина существенно изменилась.

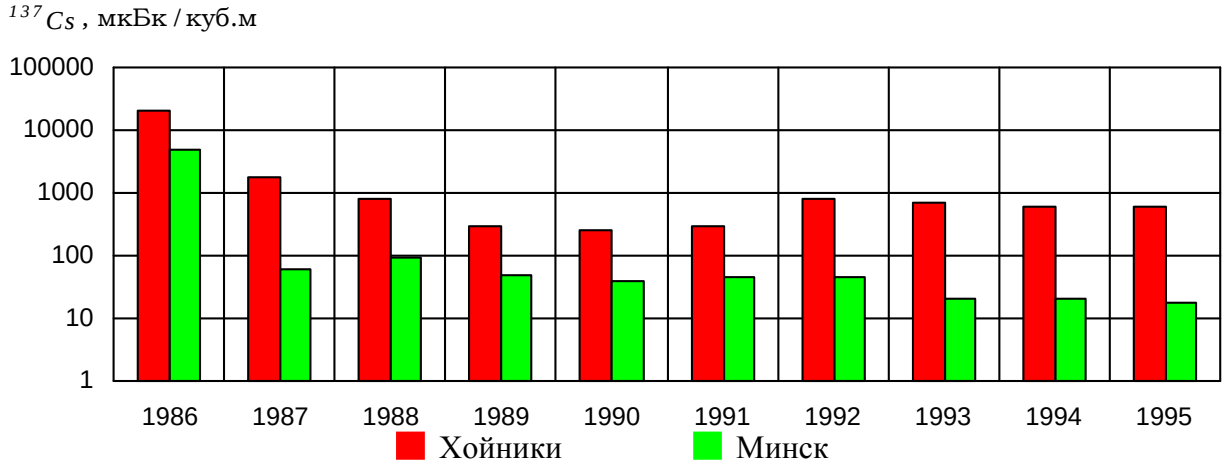
Четвертый ученый *(Александр Викентьевич Буров)*

Да, Григорий Петрович, Вы правы. Уважаемые коллеги! Обратите внимание на следующую диаграмму.

Показывает диаграмму.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Среднегодовое содержание ^{137}Cs в приземном воздухе городов Хойники и Минск после Чернобыльской катастрофы



Следует отметить, что период полуочищения атмосферы от радиоактивных продуктов, т. е. время, за которое их содержание в атмосферном воздухе уменьшается вдвое, может отличаться в зависимости от природы химического элемента и населенного пункта. Например, период полуочищения атмосферы от ^{137}Cs менялся в зависимости от места от 25 до 40 месяцев.

Шестой ученый *(Геннадий Александрович Федоров)*

Вступает в дискуссию вслед за пятым

Содержание радиоактивных веществ в воздухе, в основном, уменьшалось за счет распада, так называемых, короткоживущих продуктов радиоактивного выброса (в том числе и ^{131}I), которые быстро распадаются и поэтому находятся в окружающей среде в течение непродолжительного периода времени, а также в результате оседания выброшенных в атмосферу твердых радиоактивных частиц на земную поверхность.

В настоящее время радиоактивное загрязнение воздуха в большинстве населенных пунктов Беларуси практически такое же, как до катастрофы. Более высокие уровни загрязнения воздуха отмечаются лишь в зоне отчуждения и на прилегающих к ней территориях.

Ведущий

Уважаемые ученые! Мне кажется, аудиторию интересует, какие факторы определяют уровень радиоактивного загрязнения атмосферного воздуха в настоящее время.

Седьмой ученый *(Игорь Фомич Петров)*

Я могу ответить на данный вопрос.

Открывает запись на доске.

Уровень радиоактивного загрязнения атмосферного воздуха зависит от множества факторов. Важнейшими из них являются следующие факторы:

- уровень радиоактивного загрязнения почвы и содержание в ней мелких частиц, поднимаемых ветром;

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- вид и густота растительного покрова;
- хозяйственная деятельность человека, связанная с образованием пыли;
- природные явления (засуха, пылевые бури, пожары).

Председатель

Игорь Фомич, Вы не могли бы подробнее осветить этот вопрос.

Седьмой ученый

Увеличение запыленности приземного слоя воздуха обычно связано с подъемом ветром легких пылевидных частиц почвы, а вместе с ними и радиоактивных веществ, содержащихся в почве. Поэтому по мере увеличения запыленности воздуха содержание в нем радиоактивных веществ возрастает. В свою очередь, запыленность воздуха повышается с увеличением в почве содержания мелких пылевидных частиц, поднимаемых воздушным потоком. Пылеобразование, как правило, значительно возрастает во время проведения сельскохозяйственных и других работ, связанных с переносом грунта (например, при разработке карьеров).

Шестой ученый

Продолжает мысль своего коллеги.

Стихийные явления, в первую очередь, лесные и торфяные пожары, существенно влияют на радиоактивное загрязнение воздуха. При этом радиоактивные вещества могут переноситься на большие расстояния. Вы помните, коллеги, в 1992 году в зоне отселения были зарегистрированы многочисленные пожары. В этот период были отмечены и заметные повышения уровня радиоактивного загрязнения воздуха на расстоянии до 40 км от очага пожара.

На радиоактивное загрязнение воздуха заметно влияют и такие стихийные природные явления, как пылевые бури.

Пятый ученый

Следует отметить, коллеги, что уровень радиоактивного загрязнения воздуха может увеличиваться и при сжигании в печах топлива, загрязненного выше допустимого уровня.

Ухудшение радиационной обстановки в доме и на приусадебном участке может быть связано с самовольной заготовкой дров. Использование дров с содержанием радиоактивного цезия, превышающим допустимый уровень, вызовет загрязнение печей, а зола, если ее используют в качестве удобрения на приусадебном участке, — дополнительное загрязнение почвы. Естественно, это приведет к повышению содержания радиоактивного цезия в выращиваемых сельскохозяйственных культурах. Поэтому *заготовку дров, в том числе и валежника, следует проводить только по разрешению лесничеств.*

Заготовка дров в лесничествах производится на отведенных для этих целей участках. В зонах радиоактивного загрязнения участки для заготовки дров отводятся только после проведения радиационного контроля древесины и при условии ее соответствия допустимому уровню.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Что же необходимо знать при заготовке дров?

Необходимо знать, что

- содержание радионуклидов в древесине зависит не только от плотности загрязнения почвы, но и от породы, возраста деревьев, плодородия и влажности почвы и других факторов. На бедных (неплодородных) и влажных почвах содержание радиоактивных веществ в древесине больше, чем на более плодородных и менее увлажненных;
- самое большое количество радиоактивных веществ сосредоточено в коре и наружных слоях древесины, поэтому дрова из отходов лесопиления содержат значительно больше радиоактивных веществ, чем дрова из целого ствола;
- снятие коры уменьшает содержание радиоактивного цезия в дровах до двух раз.

Запомните предельно допустимое содержание ^{137}Cs в топливной древесине, установленное в нашей стране (2001 год), — 740 **Бк/кг** ($2 \cdot 10^{-8}$ **Ки/кг**). Но даже при таком содержании радиоактивного цезия полученная после сжигания дров зола подлежит сбору и захоронению на глубину не менее 0,5 м. Для захоронения золы рекомендуется выбирать сухое и возвышенное место вне населенного пункта.

Ведущий

А что способствует снижению уровня радиоактивного загрязнения воздуха? Чему следует уделять внимание?

Третий ученый

Необходимо заботиться о сохранении и увеличении количества зеленых насаждений. При зарастании территории растительностью запыленность воздуха значительно снижается, причем тем в большей степени, чем обильнее и плотнее растительный покров.

Ведущий

Подведем итоги.

В первые недели после катастрофы на ЧАЭС содержание радиоактивных продуктов в атмосферном воздухе Беларуси многократно возросло по сравнению с 1985 годом. Однако постепенно атмосферный воздух очищался за счет радиоактивного распада выброшенных радиоактивных продуктов и оседания их на земную поверхность. Период полуочищения атмосферного воздуха от ^{137}Cs (уменьшения содержания в нем радиоактивного цезия в два раза) над пострадавшими населенными пунктами Беларуси составлял 25 – 40 месяцев. Наиболее быстро содержание радиоактивных веществ в воздухе уменьшалось в 1986 году, когда распадались наиболее короткоживущие радиоактивные продукты. В последующем очищение атмосферы происходило более медленными темпами.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

В настоящее время практически во всех населенных пунктах Беларуси уровень загрязнения приземного слоя атмосферного воздуха, как правило, не превышает предельно допустимых уровней по всем радиоактивным продуктам чернобыльского выброса.

Значительное влияние на содержание радиоактивных веществ в воздухе оказывает плотность радиоактивного загрязнения почвы и степень запыленности атмосферы. Сельскохозяйственные и другие виды работ, а также пожары и такие стихийные природные явления, как пылевые бури, могут приводить к значительному увеличению содержания радиоактивных продуктов чернобыльского выброса в атмосферном воздухе на загрязненных территориях и в сопредельных районах. На попадание в воздух радиоактивных веществ с пылевидными частицами, поднимаемыми с поверхности почвы в ветреную погоду, существенно влияет растительный покров. Увеличивая плотность растительного покрова, особенного травяного , можно значительно снизить поступление радиоактивных продуктов из почвы в атмосферный воздух, которым мы дышим.

IV. Закрепление изученного материала

- Какие радиоактивные продукты , в основном , загрязняли воздушное пространство Беларуси в первые недели после катастрофы на ЧАЭС?
- Какие процессы вызвали снижение содержания радиоактивных веществ в атмосферном воздухе после катастрофы?
- Когда процессы самоочищения атмосферы происходили наиболее быстрыми темпами? Почему?
- Какие факторы влияют на уровень радиоактивного загрязнения воздуха в настоящее время?

Задание на дом: Изучить § 5. Выполнить задание в тетради на печатной основе (дается по усмотрению учителя).

Урок 6. Загрязнение радионуклидами почвы, лесных и других растительных сообществ

Задачи : продолжить знакомство учащихся с последствиями катастрофы на Чернобыльской АЭС, уделяя особое внимание загрязнению радионуклидами почв и растительных сообществ; развивать умение мыслить, делать краткий графический конспект, делать выводы и обобщения, работать с карточками.

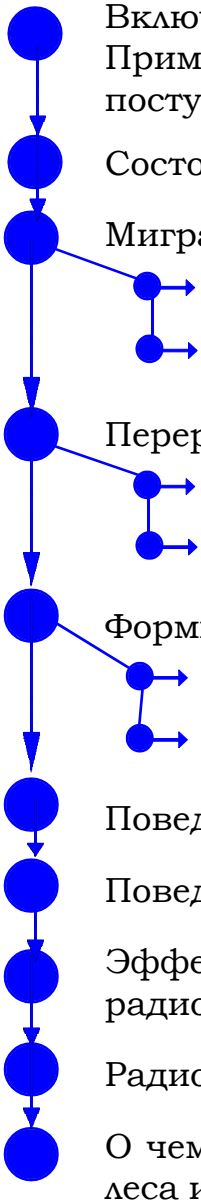
Оборудование: карты радиоактивного загрязнения почв Беларуси; плакаты « Классификация грибов по степени накопления ^{137}Cs», «Классификация лесных ягод по степени накопления ^{137}Cs» (см. Приложение I); таблица «Допустимые уровни содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в кормах» (см. Приложение IV).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Ход урока

I. **Организационный момент**

II. **Опорные точки урока**



Включение радионуклидов в круговорот химических элементов. Примеры пищевых цепочек, по которым радионуклиды поступают в организм человека.

Состояние радионуклидов в почве

Миграция радиоактивных веществ:

- вертикальная
- горизонтальная

Перераспределение радиоактивных веществ в почве:

- воздушными потоками
- водными потоками

Формы нахождения радиоактивных веществ в почве:

- подвижная
- малоподвижная

Поведение в почве радиоактивного цезия

Поведение в почве радиоактивного стронция

Эффективный период полуочищения почвенного слоя от радионуклидов

Радиоактивное загрязнение растительных сообществ

О чем нужно помнить при потреблении пищевой продукции леса и пользовании лесными пастбищами и сенокосами

Постановка учебной задачи

На прошлом уроке мы познакомились с радиоактивным загрязнением воздушной среды нашей республики после катастрофы на Чернобыльской АЭС 26 апреля 1986 года. Сегодня мы познакомимся с радиоактивным загрязнением почв и растительных сообществ.

IV. **Изучение нового материала**

Введение в тему урока.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Вещества, содержащие радионуклиды, из воздуха постепенно оседают на почву. Спрогнозируйте, что с ними может произойти в дальнейшем? (Ответ может быть в виде схематического рисунка, опорного плана-ответа).

Примерные схемы ответов

Радионуклиды могут перераспределяться в почве, поступать из почвы в растения и по пищевым цепям проникать в организм человека.

Примеры пищевых цепочек, по которым радионуклиды могут поступать в организм человека:

- *почва → растение → животное → человек;*
- *почва → почвенные воды → вода озера → водные растения → рыба → человек;*
- *почва → талые или дождевые воды → вода реки (озера) → водные растения → водные животные → водоплавающие птицы → → хищные птицы → хищные млекопитающие → человек*
- *почва → атмосферный воздух → человек.*

Приведите собственные примеры пищевых цепочек, по которым радионуклиды могут поступать в организм человека.

Работа с карточками

Учитель раздает учащимся карточки с информацией. Ученики, изучив сведения, записанные на карточках, подбирают карточки с информацией, необходимой для ответа на вопрос, поставленный учителем.

Учитель

Найдите карточку с ответом на следующий вопрос: «Как может изменяться состояние радиоактивных веществ при их перераспределении в окружающей среде?»

Учащиеся находят нужную карточку и зачитывают текст.

«При перераспределении радиоактивных веществ в окружающей среде может изменяться как их химическое, так и физическое состояние. Например, из состава веществ, находящихся в твердом состоянии, радиоактивные вещества могут переходить в водные растворы и вместе с ними перемещаться в почве или усваиваться растениями. И, наоборот, из растворов радиоактивные вещества могут переходить в состав нерастворимых соединений, т. е. включаться в состав твердой фазы почвы».

Учитель показывает схематичную запись

твердое (нерастворимое) состояние радиоактивных веществ

↑ ↓

жидкое (растворимое) состояние радиоактивных веществ

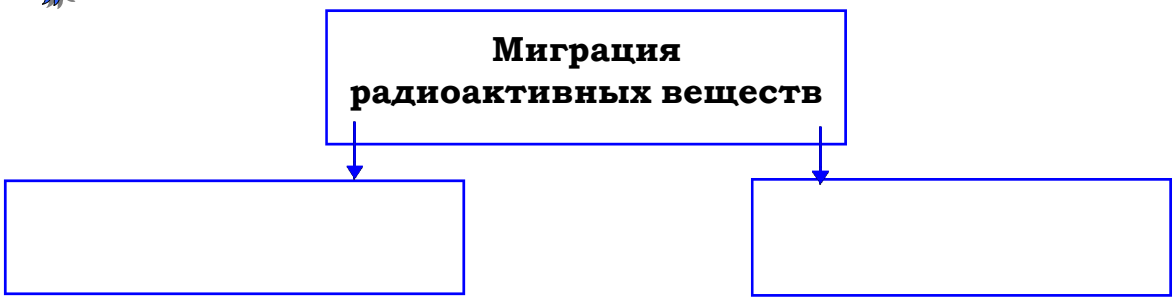
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Работа с карточками

Найдите на карточке определение миграции радионуклидов, запишите его в тетрадь.

«Процессы перемещения содержащихся в почве радионуклидов в вертикальном или горизонтальном направлении называют *миграцией радионуклидов* Перемещение радионуклидов в вертикальном направлении называют *вертикальной миграцией*, а в горизонтальном направлении — *горизонтальной миграцией*».

Дополните схему:



Как вы думаете, какие природные процессы могут приводить к вертикальному перераспределению радионуклидов в почве?

Работа с карточками. Дополните свои ответы сведениями из текста на одной из карточек.

«К *вертикальному* перераспределению радионуклидов в почве могут приводить самые разнообразные процессы:

- перенос радиоактивных веществ с поверхности вглубь почвы вместе с атмосферными осадками в растворенном состоянии и в виде мельчайших почвенных частиц;
- перемещение радиоактивных веществ в составе почвенных растворов по мелким порам (капиллярам) почвы;
- перенос радиоактивных веществ с растительными соками по корневым системам растений;
- деятельность почвенных животных;
- хозяйственная деятельность человека (перепахивание, рыхление почвы)».

Как вы думаете, какие природные процессы могут приводить к горизонтальному перераспределению радионуклидов в почве?

Работа с карточками. Дополните свои ответы сведениями, записанными на одной из карточек.

«*Горизонтальная миграция* может происходить при переносе радиоактивных частиц с воздушными и водными потоками. Перемещаясь с воздушным и водным потоками, частицы радиоактивного вещества в другом месте вновь оседают на земную поверхность».

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Объяснение учителя

Мелкие частицы почвы начинают подниматься в воздух, когда скорость ветра достигает критического значения: 5 – 6 м/с — для минеральных почв, 8 - 9 м/с — для осушенных торфяников.

Под действием силы ветра происходит разрушение почвы. Этот процесс называют *ветровой эрозией*. В результате ветровой эрозии происходит выдувание из почвы отдельных частиц (как правило, наиболее мелких), которые переносятся воздушным потоком и оседают в другом месте.

В среднем, на радиоактивно загрязненных территориях Беларуси до 21 % дней в году дуют ветры со скоростью, превышающей 5 м/с. Почвы, подверженные ветровой эрозии занимают в республике свыше 20 % пахотных угодий. Наибольший ветровой перенос радиоактивных частиц почвы отмечается в весенне-летний период.

Максимальное накопление радиоактивных продуктов при переносе воздушными потоками наблюдается в местах, где резко меняется скорость ветра — на дне долин, подветренных склонах, в ложбинах и т. п.

Подобное перераспределение радионуклидов осуществляется и с водными потоками. Однако в этом случае часть радионуклидов перемещается в виде твердых частиц, а часть — в растворенном состоянии.

Работа с карточками

Найдите карточку, на которой описано, ***что происходит в результате горизонтальной миграции радионуклидов***.

В результате горизонтальной миграции постепенно очищаются от радионуклидов одни участки почвы и загрязняются другие.

Запишите в тетрадь факторы, от которых зависит скорость горизонтальной миграции радионуклидов в почве.

«Скорость горизонтальной миграции радионуклидов в почве зависит от:

- рельефа местности;
- структуры почвы (плотности, пористости, соотношения частиц разных размеров, способности почвы удерживать влагу);
- климатических условий (количества атмосферных осадков, температуры, скорости ветра)».

Объяснение учителя

Радионуклиды в почве могут входить в состав соединений, которые хорошо растворимы в воде и относительно легко перераспределяются в почвенной среде. В этом случае говорят, что радионуклиды находятся в *подвижной* форме. Как правило, именно в такой форме радионуклиды могут усваиваться растениями.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Радионуклиды могут входить и в состав труднорастворимых соединений. В таком случае говорят, что радионуклиды находятся в *малоподвижной* (связанной, или фиксированной) форме. Радионуклиды в связанной форме также могут перемещаться в почве (например, в виде мелких частиц, переносимых с почвенной влагой). Однако в таком состоянии они перемещаются значительно медленнее, чем радионуклиды, находящиеся в подвижной (растворимой) форме, и недоступны растениям.

Относительное количество в почве атомов радиоизотопа в подвижной и малоподвижной форме зависит от химической природы радионуклидов и ти-па почвы. Поэтому подвижность в почве и биологическая доступность растениям радионуклидов разной химической природы может существенно отличаться.

Так, большая часть соединений *цезия* хорошо растворима в воде, однако в большинстве почв радиоактивный цезий находится преимущественно в малоподвижном состоянии. Это связано с тем, что в почве в том или ином количестве присутствуют , так называемые , *глинистые минералы* определенной структуры, которые прочно связывают цезий и тем самым переводят его в малоподвижное состояние.

В результате связывания ^{137}Cs глинистыми минералами за время, прошедшее после Чернобыльской катастрофы , подвижность радио-активного цезия в почве снизилась более чем в 10 раз.

В настоящее время основная часть радиоактивного цезия в почвах находится в фиксированном состоянии. Его относительное количество в подвижной форме обычно составляет 5 – 20 % от общего содержания радиоизотопа в почве. При этом в почвах с высоким содержанием глинистых минералов количество ^{137}Cs в подвижной форме не превышает 5 %.

В отличие от радиоактивного цезия в большинстве почв основная часть *стронция* находится в подвижной форме. В настоящее время в почвах Беларуси количество ^{90}Sr в подвижной форме достигает 50 – 70 % от его содержания в почве. При этом в минеральных почвах содержание подвижной формы радиоактивного стронция, как правило, выше, чем в органических почвах.

Из-за более высокого содержания в подвижной форме стронций по способности перераспределяться в почвах и усваиваться растениями, как правило, превосходит другие долгоживущие радионуклиды чернобыльского выброса.

Относительное количество в почвах *плутония* и *америция* в подвижной форме невелико — не превышает нескольких процентов. *Плутоний и америций* находятся в почвах преимущественно в составе малорастворимых соединений. Они медленно мигрируют в почве и плохо усваиваются растениями.

Основная часть плутония и америция содержится в (0 – 5)-см слое почвы, ^{137}Cs — в (0 – 10)-см, а ^{90}Sr — в (0 – 20)-см слое.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Работа с карточками

Найдите карточку с информацией о том, ***как постепенно изменяется содержание радиоактивных веществ в верхнем слое почвы, где располагается корневая система большинства сельскохозяйственных растений. Запишите эту информацию в тетрадь.***

«Содержание радиоактивных продуктов чернобыльского выброса в верхнем слое почвы, где располагается корневая система большинства сельскохозяйственных растений, постепенно сокращается. В основном это происходит за счет:

- вертикальной миграции радионуклидов в нижние слои почвы,
- естественного распада радионуклидов».

> **Найдите на карточке и запишите в тетрадь определение *эффективного периода полуочищения почвы* и пояснение, для чего используют этот показатель.**

Чтобы оценить, как долго радиоактивные продукты останутся в определенном слое почвы, используют такой показатель, как *эффективный период полуочищения* почвы.

***Эффективный период полуочищения* почвенного слоя — это промежуток времени, за который содержание радионуклидов в этом слое сокращается вдвое.**

Эффективный период полуочищения может отличаться для разных радиоизотопов в одной и той же почве, а в случае одного и того же радиоизотопа он может быть неодинаковым в почвах разного типа. Для (0 – 20)-см слоя белорусских почв величина эффективного периода полуочищения от радиоактивного цезия и стронция чернобыльского выброса меняется в пределах от 5 до 28 лет. Это означает, что значительная доля чернобыльских радионуклидов еще длительное время будет оставаться в корнеобитаемом слое почв.

Учитель

Таким образом, в зависимости от химической природы и формы нахождения в почве радионуклиды могут по-разному вести себя в окружающей среде. Из продуктов чернобыльского выброса, присутствующих в настоящее время на загрязненных территориях, наиболее подвижен *радиоактивный стронций. Радиоактивный цезий, плутоний и америций*, как правило, значительно уступают по подвижности радиоактивному стронцию.

Как вы думаете, каким образом происходило загрязнение растительных сообществ радионуклидами в первые дни после катастрофы на ЧАЭС?

Примерный ответ. В первые дни после катастрофы на ЧАЭС происходило поверхностное загрязнение растений. Радиоактивные вещества из загрязненного воздуха оседали на кроны деревьев, на поверхность надземной части кустарников и травянистых растений.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Учитель

Совершенно верно. Однако с течением времени все большая доля радионуклидов поступала из почвы в надземную часть растений через их корневую систему.

В настоящее время в надземной части древесной растительности, произрастающей на загрязненных территориях, содержится 5 – 7 % от запаса радионуклидов в почве, на которой они произрастают. Исследования специалистов лесного хозяйства свидетельствуют, что загрязнение лесных деревьев будет нарастать, и, в основном, за счет корневого поступления радионуклидов. При этом тип древесной растительности, возраст деревьев и условия произрастания (тип почвы, условия увлажнения) существенно влияют на накопление радионуклидов.

Что касается травянистых растений, они также по-разному накапливают радионуклиды в зависимости от почвенно-ландшафтных условий и степени увлажнения почв. При этом на лугах и болотах наибольшей способностью аккумулировать радионуклиды обладают семейства осоковых, щавелевых, бобовых, злаковых. Учитывая эти особенности, на лугах, которые часто используют для выпаса скота и заготовки кормов, проводятся мероприятия по окультуриванию пастбищ и сенокосов:

- перепахивание и известкование почв,
- осушение заболоченных почв и регулирование их водного режима (поддержание грунтовых вод на определенной глубине).

Эти мероприятия способствуют снижению накопления радионуклидов в травяной луговой растительности. Поскольку подобные мероприятия в лесах не проводились, то выпас скота и заготовка сена в лесах без согласования с органами лесного хозяйства запрещены. Запомните, что

- ***выпас рабочего скота и заготовка для него сена допускается на естественных лесных пастбищах и сенокосах с плотностью загрязнения почв радиоактивным цезием до*** *185* ***кБк/м***^{2} *(5* ***Ки/км***^{2}*)*;
- ***выпас откормочного скота и заготовка для него сена допускается на естественных лесных пастбищах и сенокосах с плотностью загрязнения почв радиоактивным цезием до*** *185* ***кБк/м***^{2} *(5* ***Ки/км***^{2}*)*, ***но только за*** *1,5 – 2* ***месяца до предполагаемого убоя откормочный скот должен переводится на чистые корма***;
- ***выпас молочного скота и заготовка для него сена допускается на естественных лесных пастбищах и сенокосах с плотностью загрязнения почв радиоактивным цезием до*** *74* ***кБк/м***^{2} *(2* ***Ки/км***^{2}*)*.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Выпас скота и заготовку сена в лесах рекомендуется начинать при отрастании травы высотой не менее 10 см.

Допустимые уровни содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в кормах приведены в следующей таблице (см. Приложение IV).

Из пищевой продукции леса наиболее загрязнены грибы и ягоды (черника, клюква, голубика). Содержание ^{137}Cs в них может превышать допустимые нормативы (ягоды — 185 Бк/кг, грибы свежие — 370 Бк/кг, грибы сушеные — 2 500 бк/кг) даже на территориях с небольшим уровнем загрязнения почвы — 37 – 100 кБк/м^2 (1 – 2,7 Ки/км^2). Поэтому ***на территории с уровнем загрязнения по ^{137}Cs более 74 кБк/м^2 (2 Ки/км^2) запрещено собирать любые виды грибов и ягод***.

Примеры грибов и ягод, отличающихся по степени накопления радиоактивного цезия, приведены на плакатах «Классификация грибов по степени накопления ^{137}Cs» и «Классификация лесных ягод по степени накопления ^{137}Cs» (см. Приложение I). Запомните те виды грибов и ягод, которые отличаются повышенным накоплением радионуклидов . Запомните также, что

на территориис уровнемзагрязненияпо ^{137}Cs от 37 до 74 кБк/м^2 *(1 – 2* ***Ки/км^2) разрешена заготовка любых лесных ягод и плодов, а сбор грибов — только слабо- и средненакапливающих радио-активный цезий***.

Следует строго соблюдать эти правила и обязательно контролировать содержание радионуклидов в грибах и ягодах, собранных на территории даже с низкой плотностью радиоактивного загрязнения *(от 37 до 74 кБк/м^2 или 1 – 2 Ки/км^2).*

На территориях с плотностью загрязнения 150 кБк/м^2 (4,1 Ки/км^2) и выше в последующие 30 – 40 лет значительная часть лесной продукции будет оставаться загрязненной, что будет ограничивать ее использование.

V. **Задание на дом:** Изучить § 6, 7.Выполнить задания в тетради на печатной основе. Кроме основного задания, двум учащимся дается опережающее задание — подготовить сообщения по темам: «Загрязнение радиоактивными продуктами чернобыльского выброса поверхностных водоемов» и «Радиоактивноезагрязнениерыбы, обитающей в естественных водоемах».

Урок 7. Загрязнение радионуклидами водной среды

Задачи : продолжить знакомство учащихся с последствиями катастрофы на Чернобыльской АЭС, показав загрязнение радиоактивными продуктами поверхностных водоемов; развивать умение мыслить, делать краткий графический конспект, делать выводы и обобщения, работать с карточками.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Оборудование: физическая карта Беларуси, карта-схема «Речные системы, бассейны и водоразделы рек Беларуси»; карточки с информацией.

Ход урока

I. **Организационный момент**

II. **Опорные точки урока**

- Радиоактивное загрязнение водной среды
- Реки Беларуси до и после катастрофы на ЧЭАС
- Распределение радионуклидов в водоемах
- Изменение со временем содержания радиоактивных веществ в реках Беларуси после катастрофы на ЧАЭС
- Особенности накопления радионуклидов в поверхностных водоемах
  - проточных
  - замкнутых и слабопроточных
    - *глубоких*
    - *неглубоких*
- Факторы, определяющие загрязнение водоемов и рыбной продукции

III. **Актуализация опорных знаний**

- Перечислите факторы, от которых зависит скорость миграции радионуклидов в почве.
- Какие природные процессы могут приводить к вертикальному перераспределению радионуклидов в почве?
- Какие природные процессы могут приводить к горизонтальному перераспределению радионуклидов в почве?
- Что такое эффективный период полуочищения слоя почвы и от чего он зависит?
- Каким образом может происходить радиоактивное загрязнение растительных сообществ?
- Какие общие меры предосторожности следует предпринимать, чтобы уменьшить внешнее и внутреннее облучение своего организма?
- Какие правила поведения в лесу вы знаете?

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

IV. Постановка учебной задачи

На прошлом уроке мы узнали, как перераспределяются радионуклиды при попадании в почву; в каком состоянии они могут в ней находиться, а также с особенностями радиоактивного загрязнения природной растительности. Продолжим знакомство с радиоактивным загрязнением природных комплексов в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС на примере загрязнения поверхностных водоемов нашей страны.

V. Изучение нового материала

Вводное слово учителя

Начальное загрязнение поверхностных водоемов после Чернобыльской катастрофы произошло в результате выпадения на водную поверхность радиоактивных продуктов, выброшенных в атмосферу из разрушенного реактора. В дальнейшем радиоактивные продукты смывались в водоемы с водосборных территорий, питающих реки, озера, водохранилища.

Воды поверхностных водоемов участвуют в переносе радиоактивных веществ, выпавших на земную поверхность. Особенно важную роль в переносе радиоактивных веществ поверхностными водами играют *реки*.

Работа с физической картой Беларуси и картой-схемой «Речные системы, бассейны и водоразделы рек Беларуси»

Закрасьте на контурной карте красным цветом бассейны рек Днепр, Сож и Припять, которые подверглись наибольшему радиоактивному загрязнению в результате Чернобыльской катастрофы, а синим цветом — бассейны рек Неман и Западная Двина, которые подверглись радиоактивному загрязнению в значительно меньшей степени.

Работа с карточками

Каковы в нашей стране допустимые уровни содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в питьевой воде?

Найдите на карточках соответствующую информацию и заполните таблицу.

Изотоп	Республиканские допустимые уровни содержания изотопа в воде (РДУ-99)
^{90}Sr	0,37 кБк/м^3
^{137}Cs	10 кБк/м^3

Работа с карточками

Найдите на карточке информацию об отличительных особенностях *замкнутых* и *проточных* водоемов. Запишите эти отличия в тетради.

Открытые (проточные) водоемы — это реки, озера и другие поверхностные водоемы, в которых смену воды обеспечивает преимущественно перенос воды течением. В случае озер такую смену воды обеспечивают впадающие и вытекающие ручейки или реки.

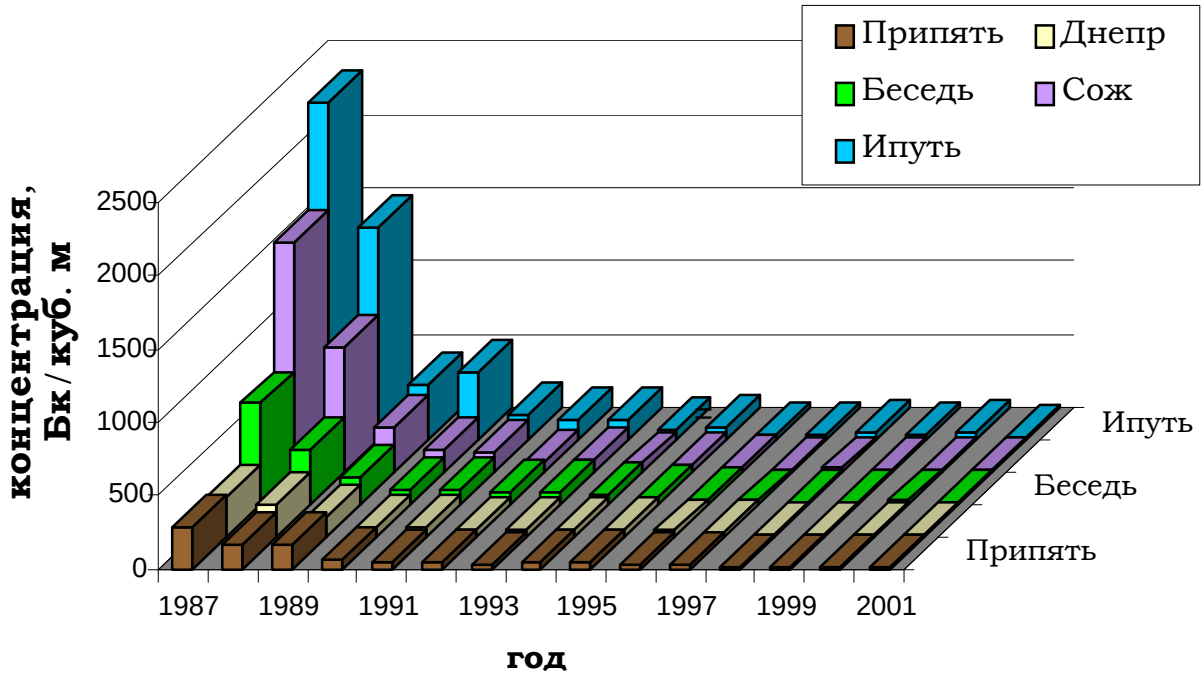
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Замкнутые (непроточные) водоемы — это водоемы, не имеющие впадающих и вытекающих ручейков или рек, которые обеспечивают смену воды.

Слабопроточные водоемы — это водоемы, в которых обеспечивается настолько слабый приток и отток воды, что смена воды происходит лишь в незначительной степени. Слабопроточные озера, как правило, имеют впадающие и вытекающие ручейки или реки, но они не могут обеспечить заметную смену воды.

▶ Работа с диаграммой

Динамика среднегодового содержания ^{137}Cs в реках Беларуси



▶ Объяснение учителя

Рассказ сопровождается показом на карте.

На диаграмме видно, что в первые годы после катастрофы на ЧЭАС загрязнение воды в реках Беседь, Сож и Ипуть было значительным, причем особенно высокое содержание ^{137}Cs было в реке Ипуть — более 2 000 Бк/м^3 в 1987 году. В последующие годы содержание ^{137}Cs в речной воде постепенно снижалось.

В настоящее время содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в водах рек не превышает Республиканских допустимых уровней (РДУ-99).

Воды рек и озер способны со временем самоочищаться от попавших в них радиоактивных веществ. Процесс самоочищения вод *рек* и *проточных озер* происходит благодаря постоянной смене воды и оседанию взвешенных радиоактивных частиц на дно водоема, а также в результате радиоактивного распада радионуклидов. Процесс самоочищения вод *непроточных* и *слабопроточных озер* происходит лишь благодаря оседанию

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

взвешенных радиоактивных частиц на дно водоема и в результате радиоактивного распада радионуклидов. Из-за оседания взвешенных частиц радиоактивные продукты накапливаются в донных отложениях водоемов. Поэтому самой загрязненной частью водоема являются донные отложения.

В меньшей степени загрязнены водные организмы растительного и животного происхождения — *гидробионты*. Самым чистым компонентом водоема является *вода*. Следовательно, по степени радиоактивного загрязнения компоненты водоемов можно расположить в следующем порядке:

донные отложения > гидробионты > вода.

Учитель

О загрязнении радионуклидами замкнутых (непроточных) и слабопроточных водоемов расскажет … …

Выступление учащегося с опережающим заданием

В замкнутых (непроточных) и слабопроточных озерах, расположенных на загрязненных территориях, концентрации в воде ^{137}Cs и ^{90}Sr и запас радиоактивных веществ в донных отложениях больше по сравнению с открытыми (проточными) озерами и реками, протекающими на этих территориях. В любые водоемы радиоактивные продукты смываются с окружающих водоем водосборных территорий. Однако в открытых (проточных) водоемах часть радиоактивных веществ уносится течением. В замкнутых и слабопроточных водоемах радиоактивные продукты в большом количестве остаются в водоеме и могут в нем постепенно накапливаться.

Рыба в таких озерах нередко более загрязнена по сравнению с речной рыбой на той же территории. Употребляя в пищу такую рыбу, люди подвергают себя дополнительному внутреннему облучению.

За первые 3 – 4 года после Чернобыльской катастрофы уровень радиоактивного загрязнения озерных вод резко снизился в результате распада короткоживущих радиоактивных продуктов, а также за счет закрепления радиоактивных веществ на взвешенных в воде частицах, которые постепенно оседали на дно водоемов.

Накоплению радиоактивных продуктов в донных отложениях непроточных водоемов способствует и водная растительность. В течение вегетационного периода в ней накапливаются радиоактивные вещества, которые после отмирания и разложения растительности оседают на дно водоема.

В *мелководных озерах*, благодаря постоянному перемешиванию, радиоактивный цезий и другие радиоактивные продукты распределяется по объему воды равномерно.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

В *глубоких озерах*, где вода слабо перемешивается, температура, химический состав и другие характеристики воды заметно меняются с глубиной. В летний период концентрация радиоактивного цезия в них увеличивается от поверхности ко дну водоема.

В настоящее время лишь в озерах, расположенных на территории с высоким уровнем загрязнения ^{137}Cs (в основном, в зоне отселения), содержание радиоактивных веществ превышает Республиканские допустимые уровни (РДУ-99) по ^{137}Cs.

Учитель

О загрязнении радионуклидами рыбы расскажет … … .

Выступление учащегося с опережающим заданием

У рыб, обитающих в одних и тех же водоемах, самое высокое содержание радиоактивных веществ в мышечной ткани характерно для *хищных* видов — например, окуня, щуки. Значительно меньше содержится радиоактивных продуктов в мышечной ткани представителей *мирных* видов рыб — красноперки, карася золотого и др. При этом у крупных рыб в мышцах накапливается ^{137}Cs больше, чем у мелких.

У всех видов рыб, которые обитают в проточных водоемах (реках, проточных озерах и т. п.), содержание радиоактивных веществ в организме обычно значительно ниже, чем у видов, обитающих в непроточных и слабопроточных водоемах.

Как правило, содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в рыбе, обитающей в реках, протекающих по территории Беларуси вне 30-км зоны ЧАЭС, не превышает допустимых уровней (370 Бк/кг по ^{137}Cs и 3,7 Бк/кг по ^{90}Sr). В непроточных и слабопроточных водоемах, расположенных на радиоактивно загрязненной территории, содержание ^{137}Cs в мышечной ткани может быть в десятки и даже сотни раз больше.

Уровень загрязнения рыб в одном и том же водоеме зависит и от места их обитания. Как правило, наиболее загрязнены придонные и хищные виды рыб (карась, карп, линь, окунь, щука, сом). Наименее загрязнены обитатели верхней части водоемов (плотва, лещ, судак, голавль).

Рыба, выловленная в непроточных и слабопроточных водоемах, расположенных на загрязненных территориях (озерах, прудах), а также в реках и проточных озерах в периоды паводков, подлежит обязательному контролю на содержание в ней радионуклидов. Употреблять в пищу рыбу, загрязненную радионуклидами выше допустимых уровней, не рекомендуется. В противном случае это неизбежно приведет к дополнительному внутреннему облучению организма.

Учитель

На всех загрязненных территориях уровень загрязнения поверхностных вод уже практически стабилен и мало меняется год от года. Однако в периоды, связанные с экстремальными ситуациями (половодья, паводки), может происходить заметное увеличение радиоактивного загрязнения

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

поверхностных вод. Это связано с тем, что в периоды половодий и паводков донные отложения водоемов взмучиваются, и радиоактивные вещества переходят во взвешенное состояние.

VI. **Закрепление изученного материала**

- **Как вы думаете, какие процессы приводят к самоочищению вод рек и проточных озер от попавших в них радиоактивных веществ?**

  Примерный ответ: Процесс самоочищения вод рек и проточных озер обуславливают:

  - *радиоактивный распад радионуклидов, входящих в состав выпавших радиоактивных веществ;*
  - *постоянная смена воды в водоеме;*
  - *оседание взвешенных частиц радиоактивных веществ на дно водоема.*

- **Как вы полагаете, в каких компонентах водоемов больше всего накапливаются радионуклиды?**

  Ответ: Радиоактивные продукты больше всего накапливаются в донных отложениях водоемов.

- **Почему в периоды половодий возможно превышение допустимых уровней загрязнения воды на территориях с высокой плотностью радиоактивного загрязнения?**

  Примерный ответ. В периоды половодий из-за интенсивного перемешивания воды донные отложения водоема взмучиваются, и радионуклиды переходят во взвешенное состояние. При этом уровень радиоактивного загрязнения воды в водоеме увеличивается.

VII. **Задание на дом**: §8. Повторить §§1 – 7, ответить на следующие вопросы:

- Какие компоненты водоемов наиболее загрязнены радионуклидами?
- Почему в замкнутых и слабопроточных озерах, расположенных на загрязненной территории, концентрация в воде радионуклидов и запас радиоактивных веществ в донных отложениях больше по сравнению с соответствующим запасом радиоактивных веществ в реках, протекающих на этой территории?
- Чем вызвано более высокое загрязнение радионуклидами одних и тех же видов рыбы, обитающих в замкнутых и слабопроточных озерах, по сравнению с теми, что обитают в реках, которые протекают на этой же загрязненной территории?
- Найдите информацию об уровне загрязнения территории, на которой расположен водоем, где вы обычно ловите рыбу. Составьте список правил, которым вы будете следовать при ловле рыбы и ее употреблении в пищу?

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Урок 8. Итоговая контрольная работа

***Вариант** I*

1. Уровень загрязнения воздуха **не** зависит от следующего фактора:
   а) уровня загрязнения почвы и содержания в ней мелких частиц, поднимаемых ветром;
   б) характера растительного покрова;
   в) деятельности почвенных животных;
   г) хозяйственной деятельности человека;
   д) природных явлений (засуха, пылевые бури, пожары).

2. Прочтите текст, вставьте пропущенные слова:

В условиях первобытной Земли … …, а также излучение … … … являлись источниками энергии и способствовали синтезу биополимеров. Эти сложные органические вещества стали «строительным материалом» для примитивных видов живых организмов.

Последующий этап эволюции привел к появлению у некоторых организмов … … и способности с помощью энергии … … синтезировать углеводы и получать кислород из углекислого газа и воды. Благодаря солнечной радиации из … … …был рожден …, из которого сформировался озоновый слой. До сих пор этот слой служит … … для всего живого от … космических излучений высоких энергий».

Используйте слова: губительных, космическое излучение, фото-синтетического аппарата, защитным экраном, радионуклидов земной коры, солнечного излучения, озон, свободного двухатомного кислорода.

3. Кратко опишите процессы загрязнения радионуклидами замкнутых (непроточных), слабопроточных и открытых (проточных) водоемов.
4. Объясните, какую опасность представляет ^{137}Cs для человека.
5. Перечислите известные Вам искусственно созданные источники ионизирующего излучения.
6. Зная уровень загрязнения территории , расположенной в окрестности вашего населенного пункта, сформулируйте правила, которым необходимо следовать при заготовке даров леса (грибов, ягод, дров).
7. Перечислите виды рыб , для которых характерно большое накопление радионуклидов.
8. Приведите пример пищевой цепочки, по которой радиоактивный цезий может поступать в организм человека. Укажите, как можно уменьшить поступление радиоактивного цезия по этой пищевой цепочке.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

***Вариант** II*

1. К вертикальному перераспределению радионуклидов в почве **не** приводят:
   а) перенос радионуклидов вглубь почвы вместе с атмосферными осадками;
   б) перемещение радионуклидов в составе почвенных растворов по мелким порам (капиллярам) почвы;
   в) перенос с растительными соками по корневым системам растений;
   г) стихийные природные явления: пылевые бури, лесные и торфяные пожары;
   д) хозяйственная деятельность человека (перепахивание, рыхление почвы).
2. Прочтите текст, вставьте пропущенные слова:

«В создании условий, поддерживающих существование живых организмов на Земле, наряду с другими факторами, важную роль играют непрерывное поступление на Землю ... ...; выделение ... ... в виде ... ..., сопровождающих процесс ... распада ..., входящих в состав планетного вещества.

В процессе движения наша планета постоянно ... ..., которая в виде тепла рассеивается в космическом пространстве. Ядерная энергия, освобождающаяся в процессе распада ... ..., преобразуется в тепловую энергию, которая наряду с ... ... восполняет потери энергии Земли».

Используйте слова: ядерной энергии, солнечной радиации, ионизирующих излучений, радионуклидов, радиоактивного, земных радионуклидов, излучает энергию, солнечной энергией.

3. Кратко опишите роль рек в переносе и перераспределении радионуклидов.
4. Сравните подвижность ^{90}Sr в почвенно-растительном покрове с подвижностью других долгоживущих радионуклидов чернобыльского выброса.
5. Перечислите известные Вам процессы, приводящие к *вертикальному* перераспределению радионуклидов в почве.
6. Зная уровень загрязнения территории, расположенной в окрестности вашего населенного пункта, перечислите меры предосторожности, которые следует соблюдать при заготовке сена и выпасе домашнего скота на лесных сенокосах и пастбищах?
7. Укажите факторы, влияющие на уровень загрязнения рыбы в поверхностных водоемах.
8. Приведите собственный пример пищевой цепочки, по которой радиоактивный цезий может поступать в организм человека. Укажите, каким образом можно уменьшить внутреннее облучение организма при поступлении радиоактивного цезия по этой пищевой цепочке.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

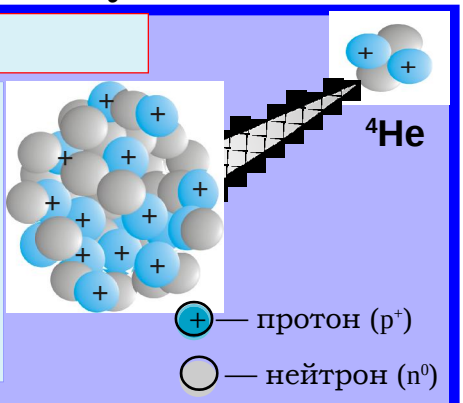
Приложение IV
Дополнительный материал и иллюстрации к разделу 13.3

СЕДЬМОЙ КЛАСС

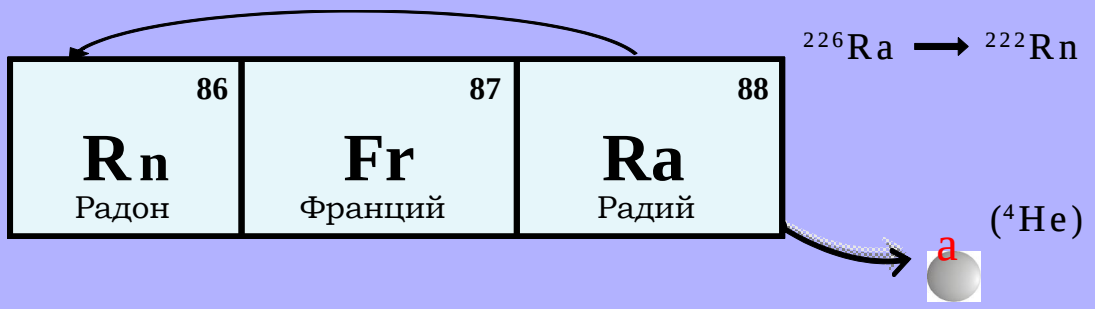
Основные виды ионизирующего излучения

Альфа-излучение

***Альфа*-излучение** (а) — **это поток положительно заряженных частиц. Каждая *альфа*-частица состоит из двух протонов и двух нейтронов, которые прочно связаны между собой. Фактически, *альфа*-частицы представляют собой ядра атомов гелия ^4He, т.е. имеет массу, равную 4 а.е.м., а заряд** — +2.

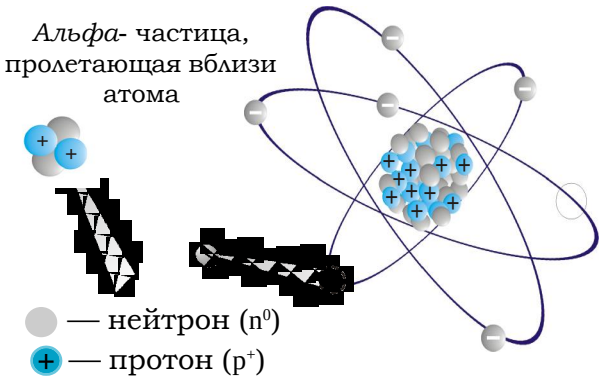


Альфа-частицы образуются при ядерном распаде тяжелых радиоактивных элементов. Примером может служить происходящий в природе распад ядер ^{226}Ra:



В результате *альфа*-распада заряд ядра уменьшается на 2 относительные единицы, а его масса на 4 атомные единицы массы, т. е. положение полученного в результате распада атома смещается в Периодической системе элементов на 2 позиции влево.

Ионизация вещества под действием *альфа*-излучения



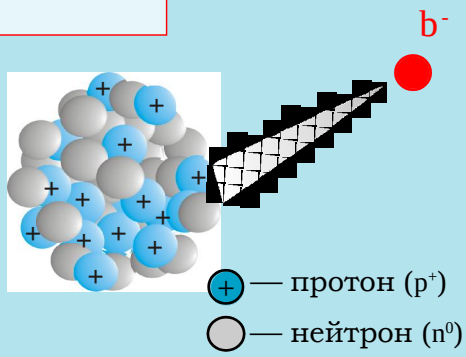
При попадании в вещество свободные, положительно заряженные *альфа*-частицы отдают свою энергию преимущественно электронам атомов.

Получивший избыточную энергию электрон теряет связь с ядром и покидает атом, который превращается в положительно заряженный ион. Освободившийся электрон вскоре присоединяется к другому атому или молекуле, что ведет к образованию отрицательно заряженных ионов Лишь в редких случаях *альфа*-частицы при столкновении могут проникать в ядра атомов и вызывать ядерные превращения.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

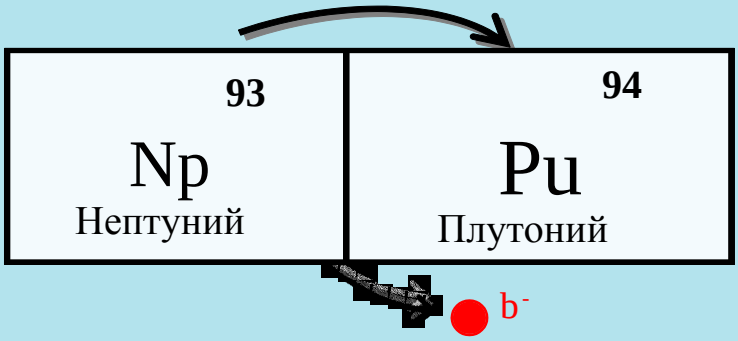
Бета - излучение

***Бета*-излучение** (*b*) — **это поток движущихся электронов**. По размерам и массе они значительно уступают *альфа*-частицам. Так, масса электрона в 7 344 раза меньше массы *альфа*-частицы. Заряд электрона вдвое меньше заряда *альфа*-частицы по абсолютной величине и равен -1.



Бета-частицы испускаются, например, в результате распада радионуклидов с избыточным содержанием нейтронов в ядре:

$^{239}Np \longrightarrow {}^{239}Pu + b^-$



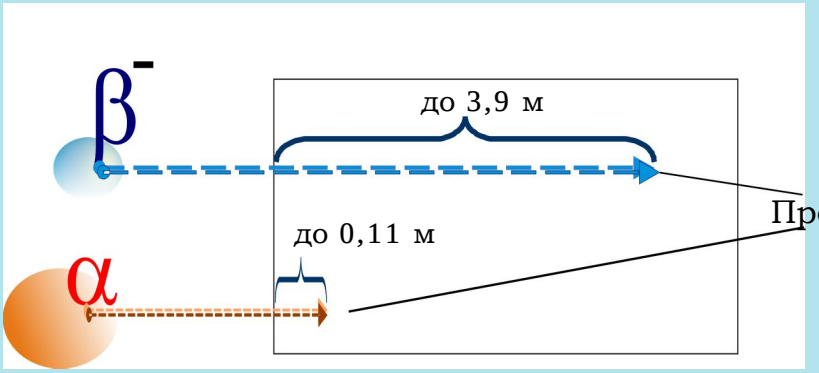
При таком типе ядерного распада *бета*-частицы образуются в ядре атома в результате превращения нейтрона в протон:

$^{1}n \longrightarrow {}^{1}p + b^-$

В результате *бета*-распада заряд ядра атома увеличивается на единицу, а его масса остается практически без изменения. Положение атома, полученного в результате такого распада, смещается в Периодической системе элементов на одну позицию вправо.

Энергия бета-частиц, испускаемых при распаде радионуклидов, составляет 0,01 - 10МэВ. При прохождении через вещество бета-частицы теряют свою энергию. Они передают ее веществу при столкновении с ядрами и электронами атомов.

Масса электронов значительно меньше массы альфа-частиц, поэтому при одинаковой энергии бета-частицы значительно глубже проникают в вещество, чем альфа-частицы.



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Рентгеновское и гамма-излучение

Рентгеновское и гамма-излучения *(g),* ***представляют собой разновидности коротковолнового электромагнитного излучения (кванты, или фотоны высоких энергий) и относятся к фотонным излучениям.***

Рентгеновские и *гамма*-лучи не несут электрического заряда. Они имеют одинаковую природу - и те, и другие представляют собой электромагнитные волны, распространяющиеся в вакууме со скоростью 300 000 км/с. Отличаются эти виды излучения по длине волны и энергии фотонов.

Энергия фотона:

$$\mathbf{E} = h / l$$

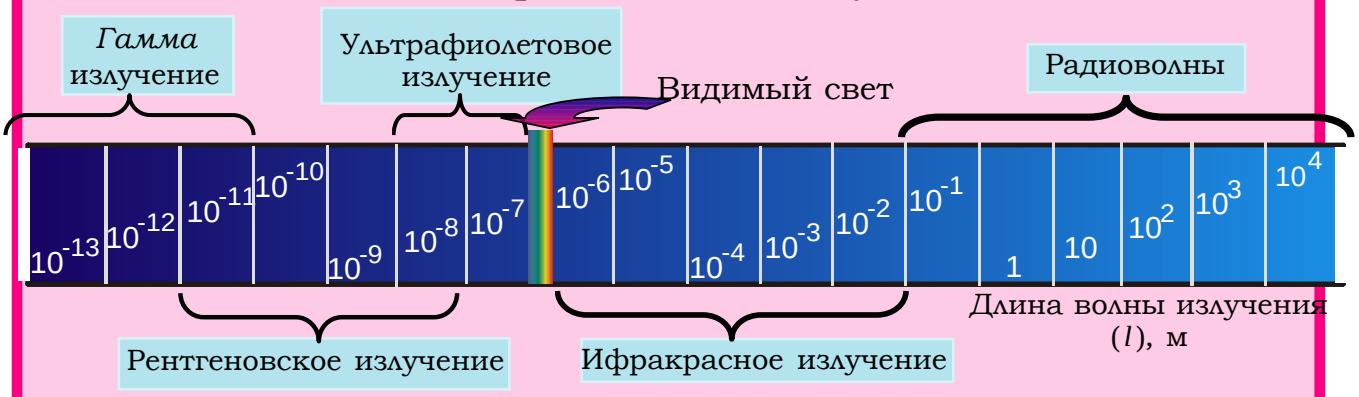
где $h = 6{,}6262 \cdot 10^{-34}$ Дж/с (постоянная Планка),

l — длина волны излучения

Гамма-излучение характеризуется длиной волны менее 0,2 нм ($0{,}2 \cdot 10^{-9}$ м). Рентгеновское излучение, как правило, характеризуется большей длиной волны и меньшей энергией фотонов.

Рентгеновское излучение можно получить искусственно в рентгеновской трубке. *Гамма-излучение всегда сопровождает ядерные превращения*

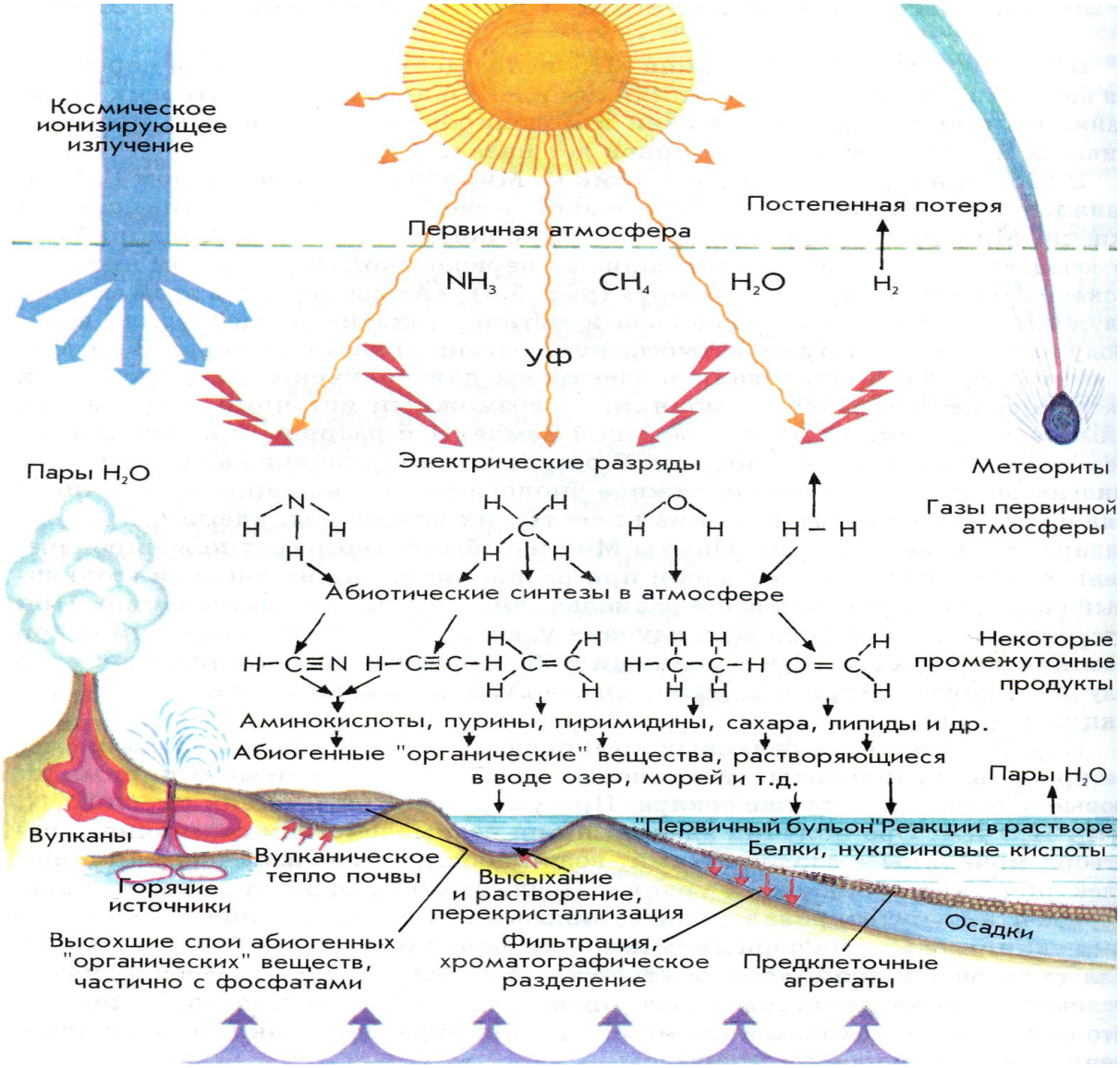
Положение рентгеновских и *гамма*-лучей в спектре электромагнитного излучения



Гамма-излучение обладает большой проникающей способностью и передает свою энергию облучаемому веществу небольшими порциями — *квантами*. *Гамма*-излучение также ионизирует вещество. При прохождении через вещество *гамма*-кванты могут передавать свою энергию электронам атомов. В результате, некоторые электроны утрачивают связь с атомными ядрами и покидают атомы. Именно эти электроны, которые обладают большой энергией и перемещаются с большой скоростью, в основном, и производят ионизацию вещества при прохождении через него *гамма*-излучения. Такой способ ионизации вещества называют *косвенным*. **Поэтому ионизацию вещества *гамма*-квантами называют косвенной**.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Возможности химической эволюции на первобытной Земле*



Гамма-излучение горных пород

Согласно современным представлениям, в ***химической эволюции***, которая предшествовала биологической эволюции, можно выделить следующие стадии образования веществ:

простейшие неорганические и органические вещества (H_2O, CO_2, CH_4, NH_3)

аминокислоты, карбоновые кислоты, моносахариды.

белки, нуклеотиды, полисахариды.

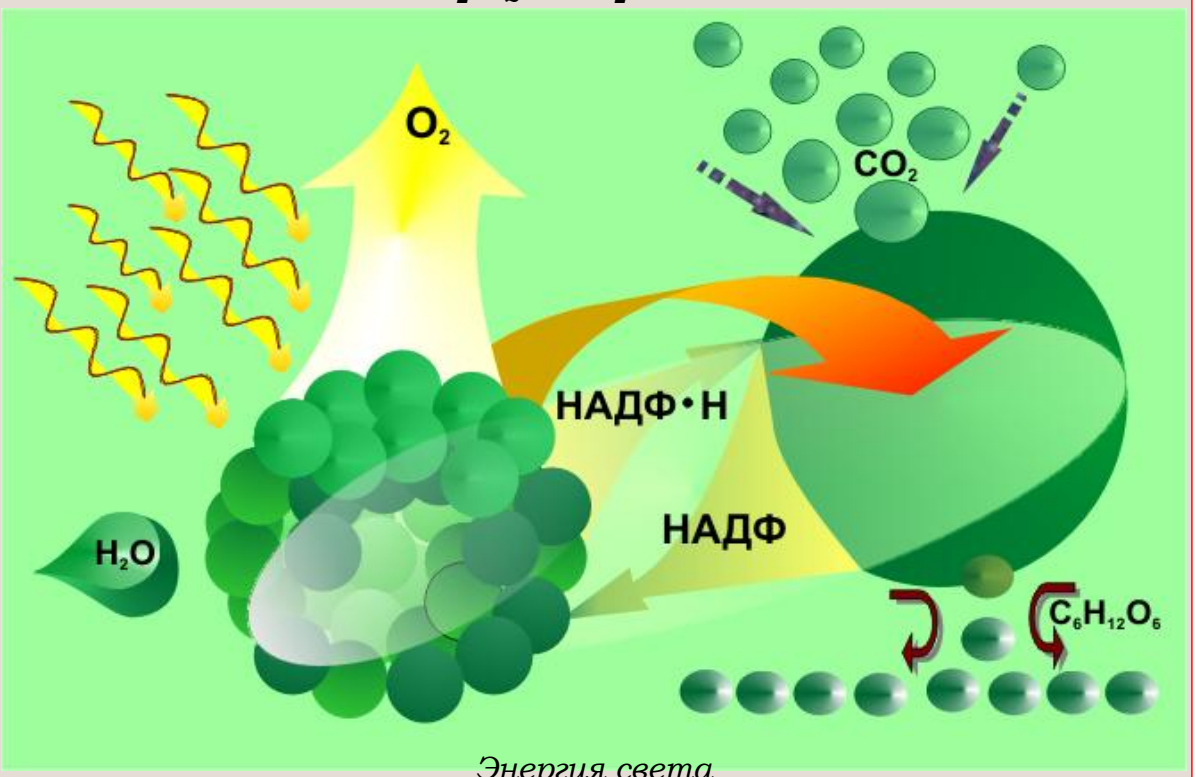
надмолекулярные системы биополимеров

Отсутствие в атмосфере первобытной Земли кислорода (восстановительная среда) было, вероятно, необходимым условием образования *биополимеров*.

* Kaplan N.O., Kennedy E.R. Current Aspects of Biochemical Energetic. – New-York, 1966. – 27 p.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Схема процесса фотосинтеза:



Энергия света

$$6\,CO_2 + 6\,H_2O \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

хлорофилл

В древней атмосфере практически полностью отсутствовал молекулярный кислород. В небольших количествах он мог получаться при фотодиссоциации небольшой части водяного пара под действием высокоэнергетической части солнечного излучения . Однако весь образующийсякислородбыстро расходовалсяна окисленияметана, оксида углерода, аммиака и сероводорода.

Молекулярный кислород появился в атмосфере примерно 3,4 млрд. лет назад в результате деятельности цианобактерий — организмов , которые приобрели способность синтезировать питательные вещества из неорганических соединений под действием ультрафиолетового излучения Солнца (фотосинтез).

Развитие способности синтезировать органические продукты из диоксида углерода и воды под действием *солнечного излучения* , поглощаемого растительными пигментами, привело к обогащению атмосферы кислородом и ознаменовало начало совершенно нового этапа в эволюции форм жизни на Земле.

Современный состав сухого воздуха вблизи уровня моря:

N_2 — 78,084 %

O_2 — 20,948 %

Ar — 0,934 %

CO_2 — 0,033 %

Ne, He, Kr, Xe, H_2, CH_4, N_2O *и др. — 0,001 % от содержания всех молекул газа в атмосфере*

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Источники ионизирующего излучения, созданные человеком



Рентгеновская установка



Часы со светящимся циферблатом



Установка для контроля грузов



Ядерный взрыв

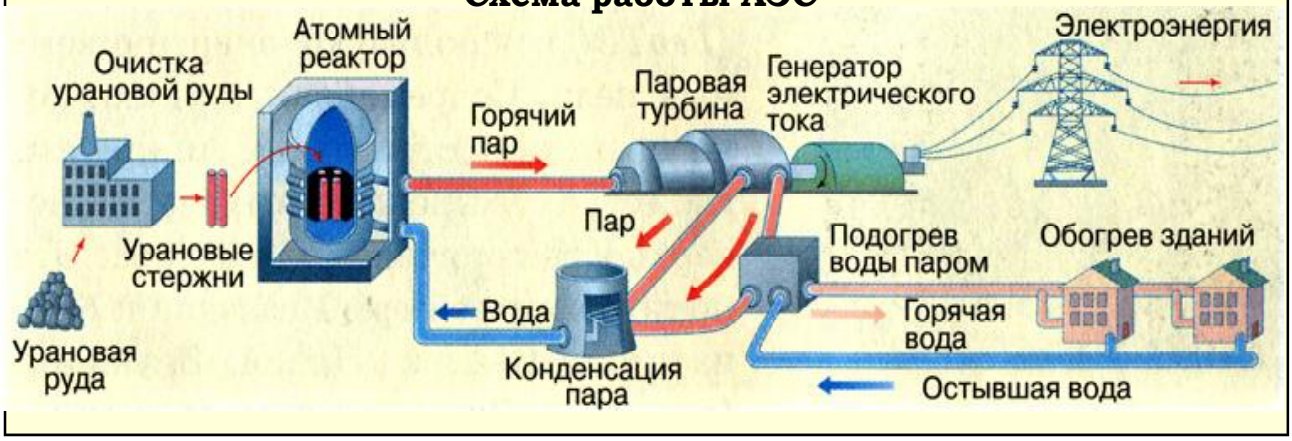


Атомная электростанция



Компьютерный томограф

Схема работы АЭС*



* З.Я.Андриевская, И.П. Галай “Начальный курс географии”: Учеб. пособие для 6-го кл. — Мн.: изд. центр БГУ, 2003, 200с.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Использование источников ионизирующих излучений в медицине

Лучевая диагностика

Ежегодно основная часть населения нашей страны проходит рентгенографическое или флюорографическое обследование. Рентгеновские лучи обладают высокой проникающей способностью и дают возможностьврачам «заглянуть» внутрь организма. При прохождениичерез тело рентгеновские лучи в большей степени поглощаются плотным веществом костной ткани и значительно слабее — мягкими тканями.

Если позади тела расположить фотоматериал, чувствительный к действию рентгеновскихлучей, по интенсивностипотемнения фотопленки после проявления можно судить о внутреннем строении органов, которые «просвечиваются» рентгеновскими лучами.

С помощью рентгеновского снимка легко выявить трещины и переломы костей, обнаружить камни в почках или желчном пузыре, выявить опухоли в органах и тканях организма человека.

И при рентгенографическом, и при флюорографическомобследовании используются рентгеновские лучи. Оба этих метода несколько отличаются по способу получения снимков, а также по длине волны используемого рентгеновского излучения. Флюорографию обычно применяют для выявления заболеваний легких при массовых обследованиях населения.

Доза облучения, получаемая человеком при рентгенографии грудной клетки, составляет *0,1 мЗв*.

Радиационная терапия

При достаточно больших дозах ионизирующее излучение способно подавлять деление клеток, что, в конце концов, приведет к их гибели. Это свойство ионизирующего излучения используется для уничтожения раковых клеток в организме пациента при лечении онкологических заболеваний. Злокачественныеновообразованияподвергаютсяоблучению *гамма-*, рентгеновскими или другими видами ионизирующего излучения. Этот метод лечения онкологических заболеваний называется *лучевой терапией*. Использование этого метода позволило значительно улучшить результаты лечения и во многих случаях полностью излечивать пациентов.

Стерилизация медицинских инструментов и аппаратуры

Ионизирующее излучение в больших дозах способно убивать болезнетворные микроорганизмы. Это свойство излучения используется в медицине для стерилизации медицинских инструментов и аппаратуры:

- хирургических инструментов,
- систем переливания крови,
- аппаратов «сердце - легкие», «искусственная почка»,
- другой медицинской аппаратуры.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Примеры использования источников ионизирующего излучения в промышленности

Источники ионизирующего излучения широко используются в промышленности для обнаружения скрытых нарушений в структуре изделий. Метод, основанный на применении источников ионизирующего излучения для выявления внутренних дефектов структуры в изделии называют *радиационнойдефектоскопией*. При этом используется свойство ионизирующего излучения неодинаково поглощаться в тех местах, где имеются пустоты, разрывы, уплотнения и другие внутренние дефекты структуры изделия, и на участках с ненарушенной структурой. Так контролируют надежность стальных конструкций, качество крупных металлических отливок и сварных швов трубопроводов. При контроле, обычно используют источники *гамма*-излучения.

Излучение источника направляют на промышленное изделие или анализируемый участок изделия, а за ним помещают фотоматериал, чувствительный к используемому излучению.

Радиационная дефектоскопия позволяет

- обнаруживать места расположения внутренних нарушений;
- определять форму и размеры скрытых дефектов;
- получать изображение дефектов с помощью фотоматериалов.

Источники ионизирующего излучения нередко используют и для контроля толщины изделия. Чтобы контролировать в процессе производства толщину бумаги, пластмассы, металлической фольги, жести и других материалов, источник излучения устанавливают под движущимся транспортером, с помощью которого перемещается изделие. Над транспортером располагают устройство, регистрирующее излучение. При прохождении излучения через изделие часть его поглощается материалом, из которого изготовлено изделие, причем тем больше, чем больше толщина изделия. Определив степень поглощения излучения изделием, оценивают толщину изделия с точностью до нескольких микрон.

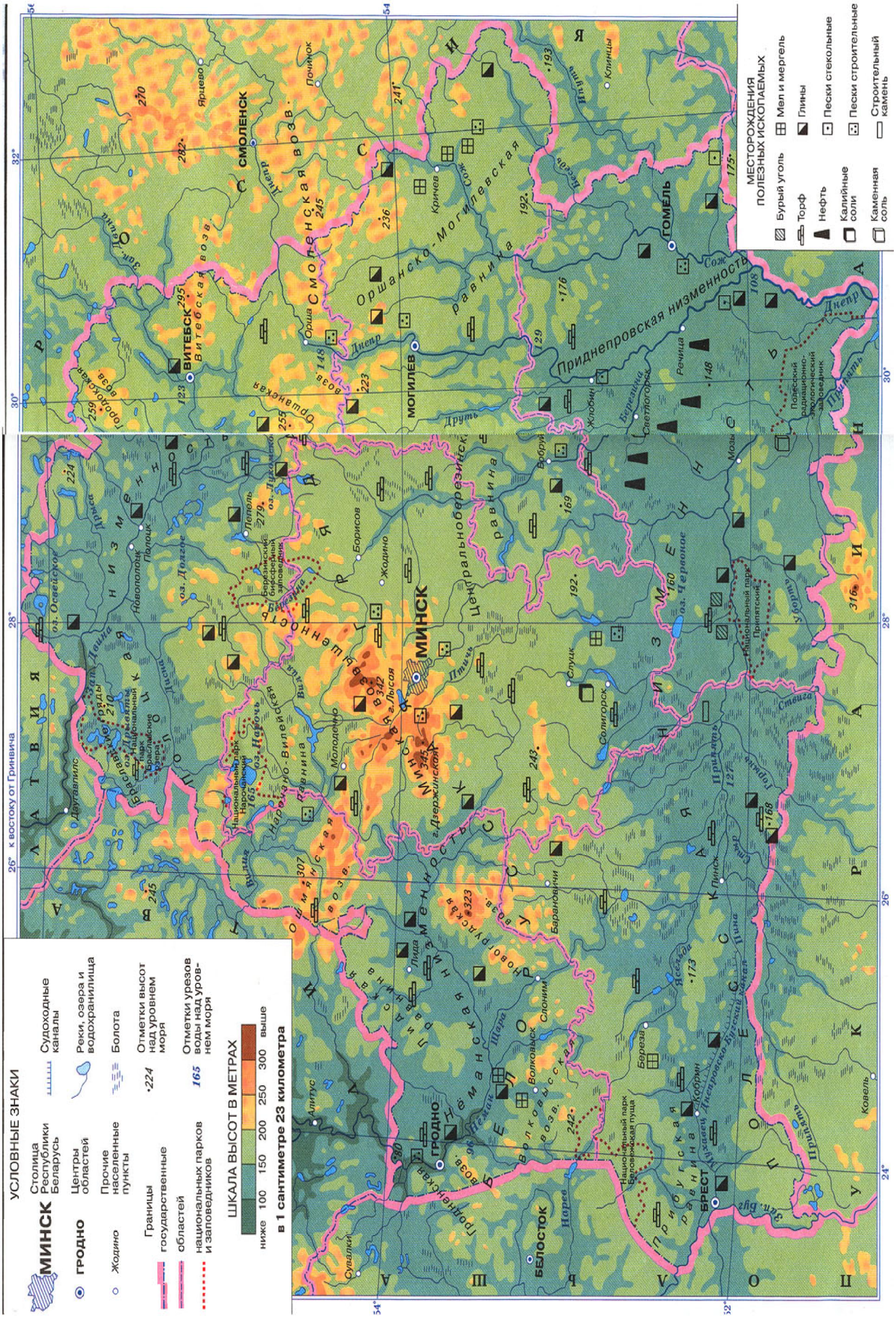
При контроле толщины *тонких* гальванических покрытий и других пленок в качестве источника излучения обычно используют *бета*-излучающий изотоп талия ^{204}Tl.

Толщину относительно *толстых* изделий (жести, горячего проката) контролируют с помощью источников *гамма*-излучения.

Примеры использования ионизирующего излучения в сельском хозяйстве и науке, в том числе и методы определения возраста природных образований по распаду радионуклидов, приведены в разделе 13.6.

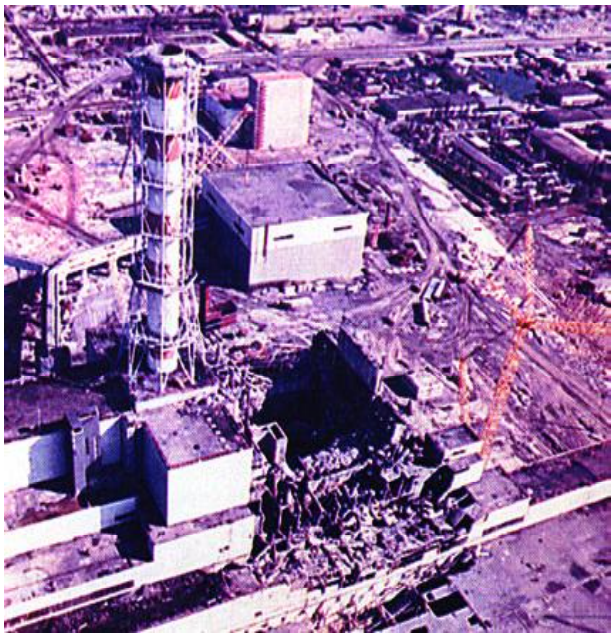
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

ФИЗИЧЕСКАЯ КАРТА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

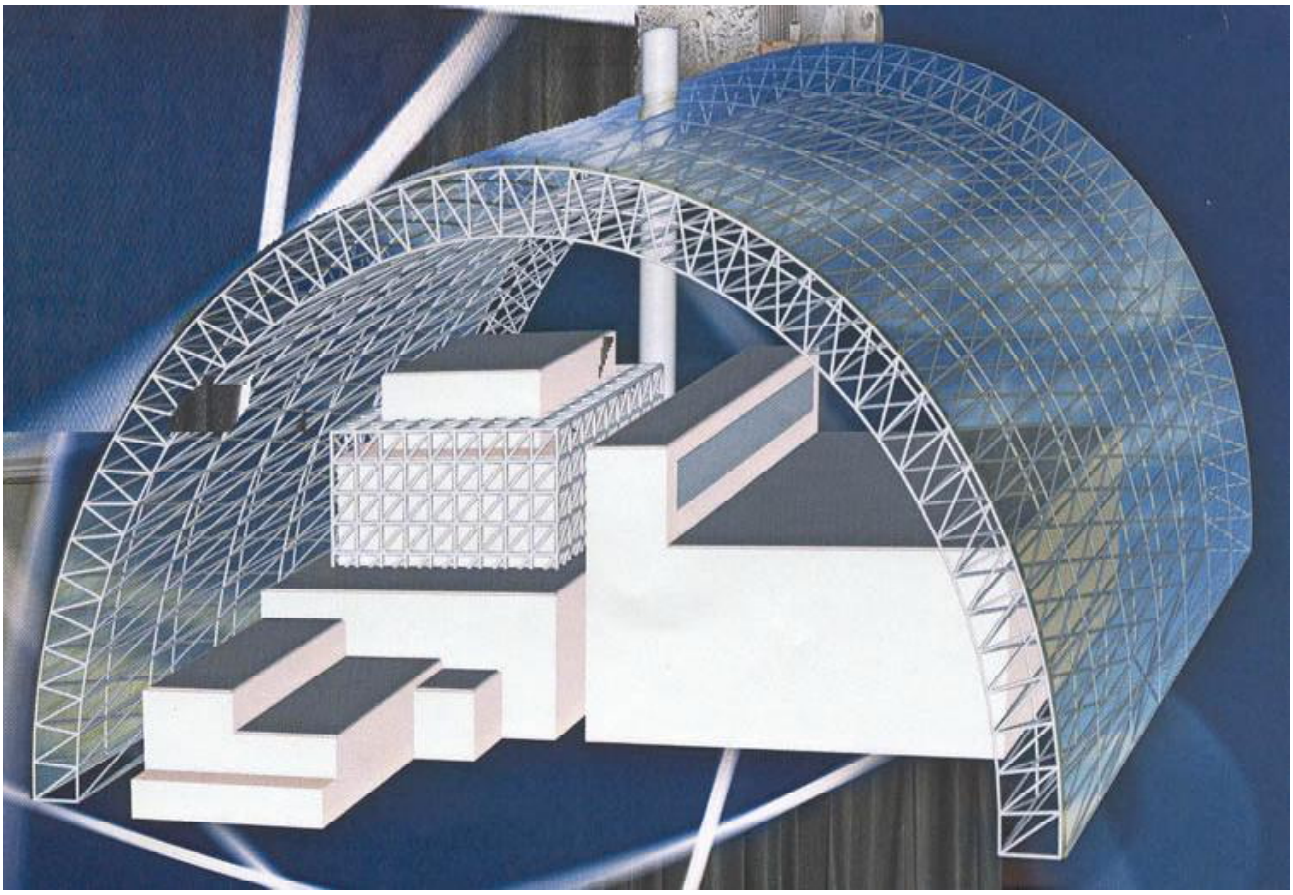
Вид IV блока Чернобыльской АЭС после катастрофы 1986 года.



Так выглядит защитное сооружение над разрушенным реактором — саркофаг.

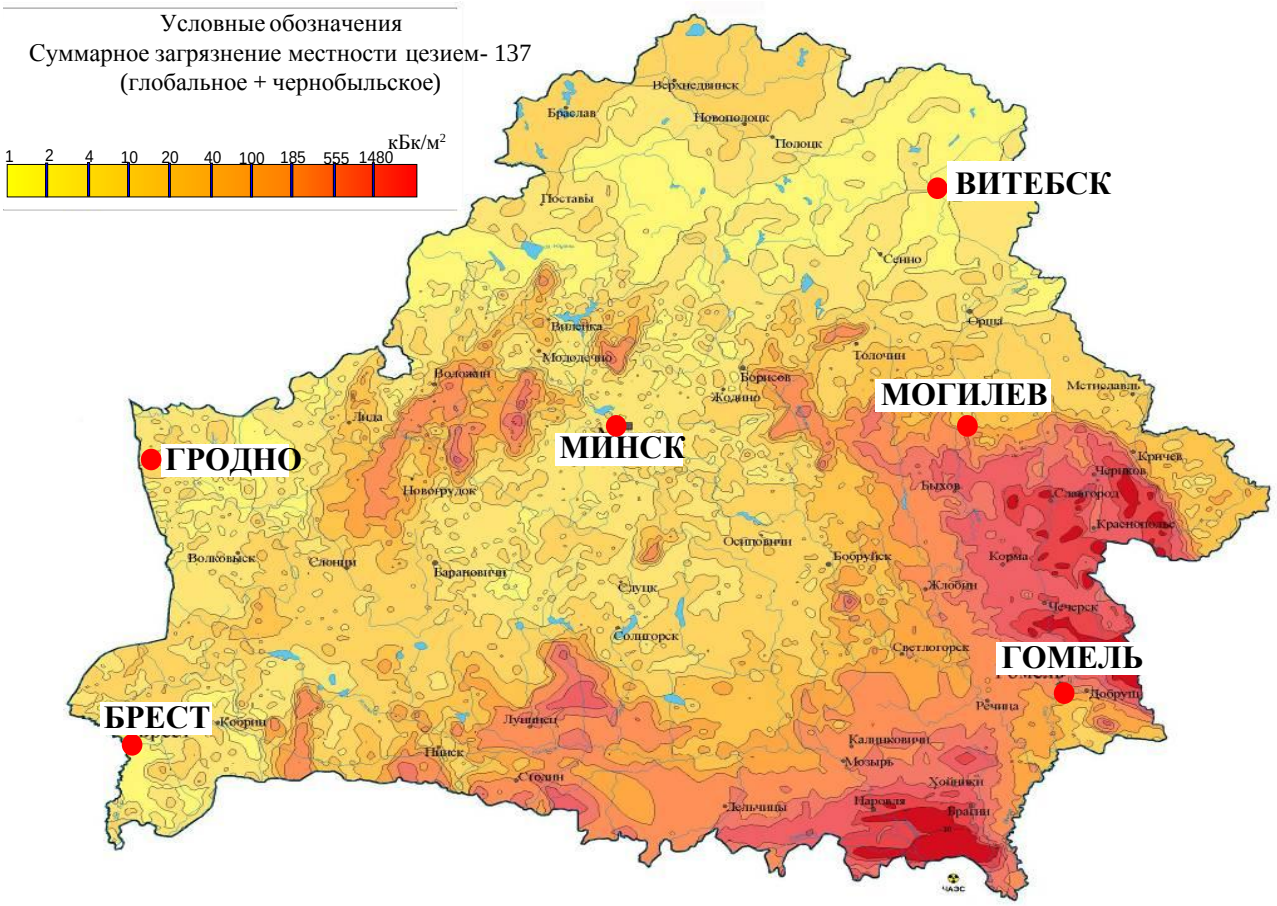


Проект нового защитного сооружени над разрушенным реактором

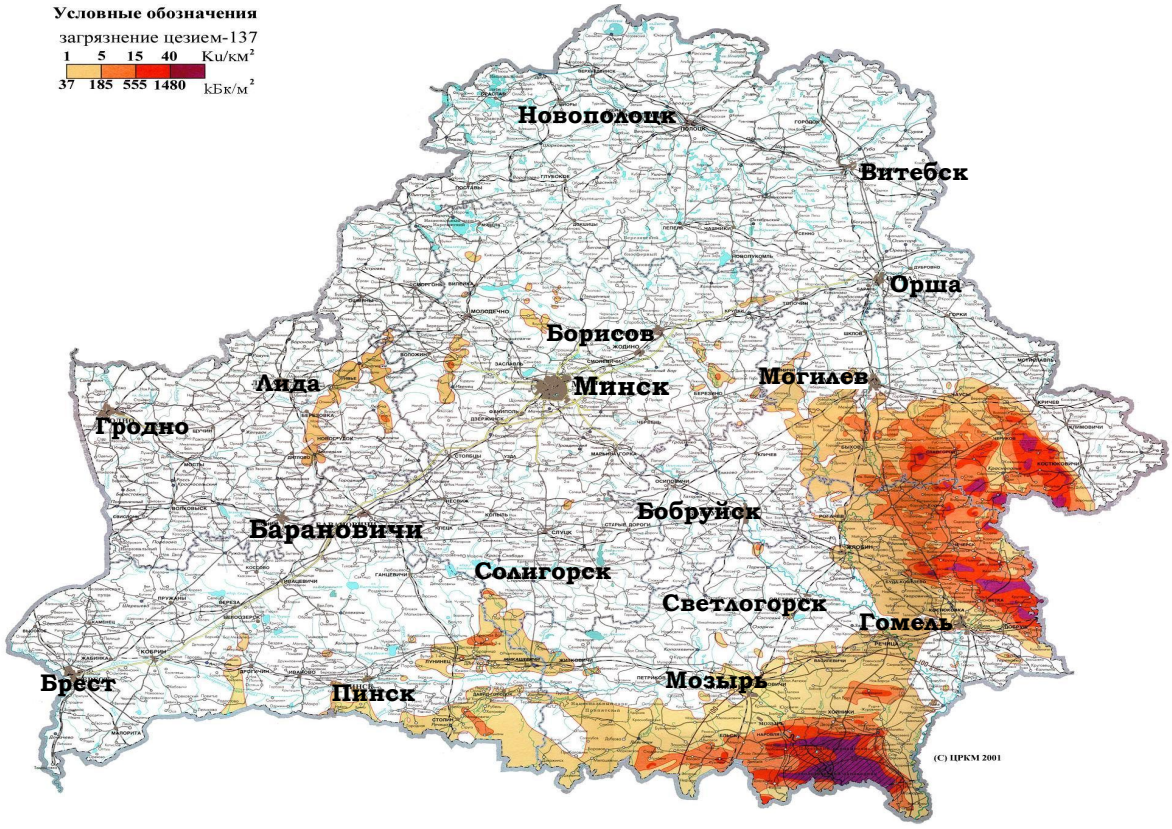


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Загрязнение территории Беларуси ^{137}Cs (1986 год)

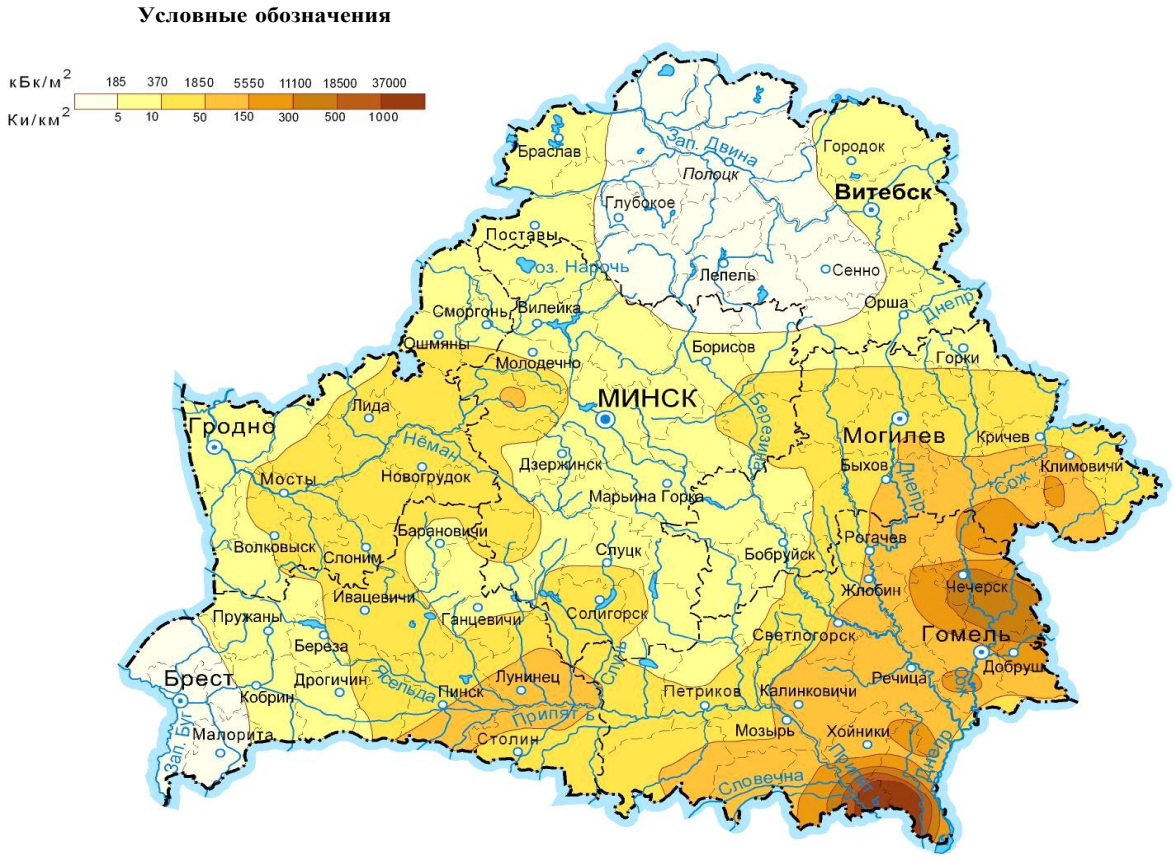


Загрязнение территории Беларуси ^{137}Cs (2001 год)

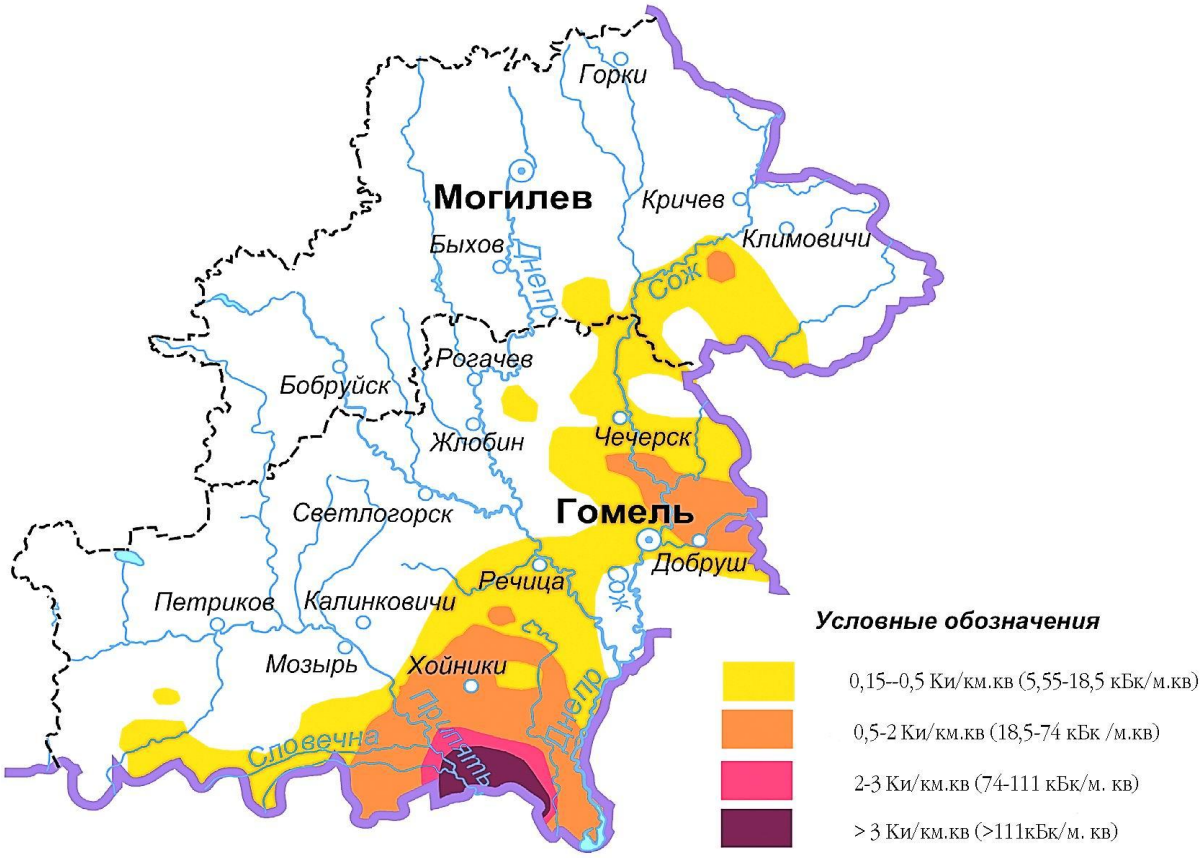


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Загрязнение территории Беларуси ^{131}I (1986 год)



Загрязнение территории Беларуси ^{90}Sr (2001 год)



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Основные радионуклиды, накопившиеся в активной зоне реактора к моменту катастрофы

Группа радионуклидов	Изотоп	Период полураспада	Доля активности* радионуклидов в выбросе, %
Радиоактивные инертные газы	^{133}Xe	5,3 суток	100
Радионуклиды, входящие в состав относительно легкоплавких (летучих) соединений	^{131}I	8,0 суток	38 - 56
	^{134}Cs	2,06 года	24 - 30
	^{137}Cs	30,17 лет	26 - 30
	^{132}Te	3,26 часов	37 - 44
Радионуклиды в составе соединений промежуточной летучести	^{89}Sr	50,6 суток	3,5 - 5,2
	^{90}Sr	28,5 лет	4 - 6
	^{103}Ru	39,4 суток	3,5
	^{106}Ru	367 суток	1 - > 3,5
	^{140}Ba	12,8 суток	3,5 - 5
Радионуклиды в составе тугоплавких (низколетучих) соединений	^{95}Zr	64,0 суток	3,0 - 3,6
	^{99}Mo	2,75 суток	4,4
	^{141}Ce	35,2 суток	3,5 - 3,6
	^{144}Ce	285 суток	3,6 - 4,2
	^{239}Np	2,35 суток	2 - 3,5
	^{238}Pu	87,7 года	3,5
	^{239}Pu	24 100 лет	3,5
	^{240}Pu	6 550 лет	3,5 - 3,7
	^{241}Pu	14,4 года	3,5
	^{242}Cm	162,8 суток	3,5

*В процентах от содержания радионуклидов в реакторе непосредственно перед катастрофой

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Допустимые уровни содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в кормах

Вид корма	Допустимое содержание, Бк/кг	
	^{137}Cs	^{90}Sr
Сено	1 480	260
Солома	370	185
Сенаж	600	100
Силос	300	50
Зеленая масса	185	37
Зерно, фураж	200	100

Речные системы, бассейны и водоразделы рек Беларуси

..... Границы бассейнов

Днепра

Западной

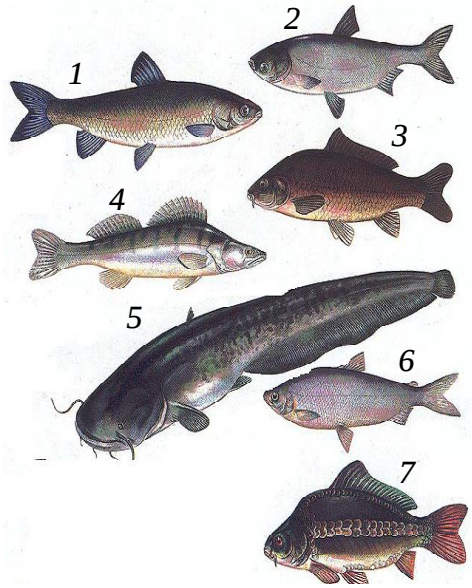
Немана

Западного Буга



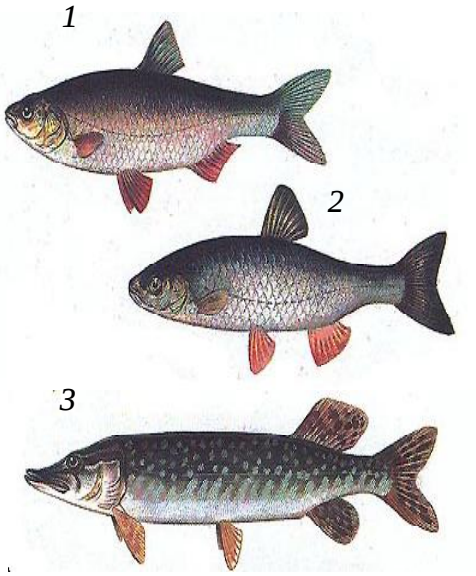
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Мирные виды рыб



1-Уклейка, 2-плотва, 3-лещ, 4-ерш,
5-линь, 6- краноперка,
7-толстолобик

Хищные виды рыб



1-Судак, 2-окунь, 3-щука

Уровень радиоактивного загрязнения рыб зависит от места их обитания.

Наиболее загрязненными являются придонные и хищные виды рыбы:
карась, карп, линь,
окунь, щука, сом

Наименее загрязнены обитатели верхней части водоемов
плотва, лещ,
судак, голавль

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Урок 1. Радиоактивность. Радионуклиды. Радиоактивные семейства

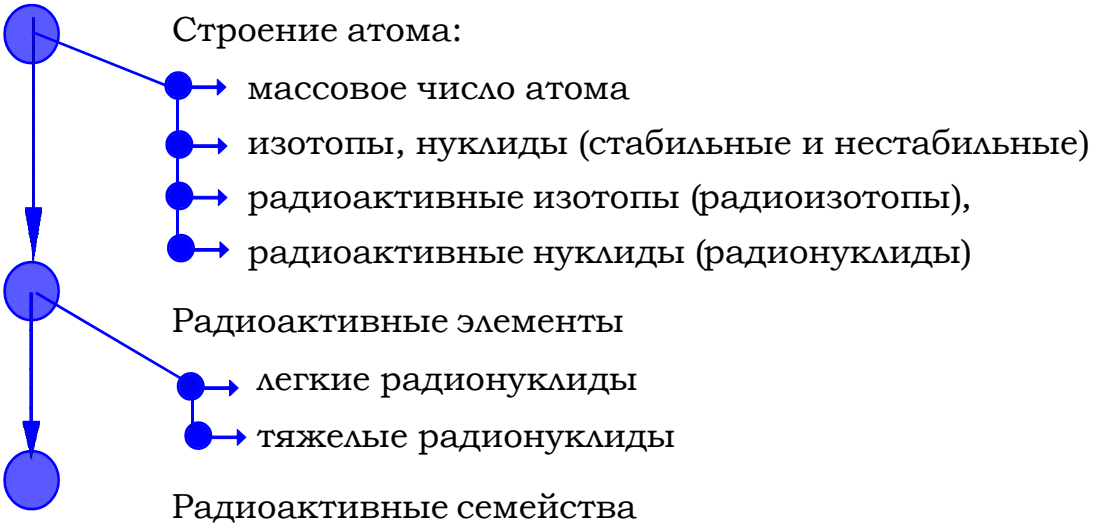
Задачи: познакомить учащихся с явлением естественной радиоактивности; выявить особенности устойчивых и радиоактивных атомов; показать положение радиоактивных элементов в Периодической системе химических элементов Д.И. Менделеева; развивать умение работать с учебником, выделять главное в тексте, анализировать таблицы.

Оборудование : Периодическая система химических элементов Д.И. Менделеева; таблица «Изотопы водорода и изотопы урана»; схемы «Естественные радиоактивные семейства».

Ход урока

I. **Организационный момент**

II. **Опорные точки урока**



III. **Актуализация опорных знаний**

Беседа с ответом учащихся на вопросы.

- **Вспомните, пожалуйста, что такое атом и из чего он состоит**?

  Примерный ответ: *Атом — это наименьшая химически неделимая частица, состоящая из положительно заряженного ядра и отрицательно заряженных электронов.*

- **Какие элементарные частицы входят в состав атома**?

  Примерный ответ: *Протоны , нейтроны и электроны — элементарные частицы, входящие в состав атома.*

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- **От чего зависит заряд атомного ядра и чему соответствует порядковый номер химического элемента в Периодической системе элементов Д.И. Менделеева?**

  Примерный ответ. Заряд атомного ядра определяется количеством протонов в ядре. Порядковый номер химического элемента в Периодической системе элементов соответствует количеству протонов в атомном ядре и количеству электронов в атоме.

- **Что такое изотопы?**

  Примерный ответ. Изотопы — это атомы одного и того же химического элемента с одинаковым количеством протонов в атомных ядрах, но отличающиеся по числу нейтронов в них.

- **Как подразделяются атомы по устойчивости?**

  Примерный ответ. Атомы бывают устойчивые (стабильные) неустойчивые (радиоактивные).

- **Чем отличаются устойчивые атомы от неустойчивых (радиоактивных)?**

  Примерный ответ. Устойчивые (стабильные) атомы имеют ядра практически неизменного состава, а неустойчивые (радиоактивные) атомы — ядра, которые самопроизвольно распадаются

- **Что такое радионуклиды?**

  Примерный ответ. Радионуклиды — это неустойчивые атомы, ядра которых самопроизвольно превращаются в ядра других химических элементов или других изотопов того же элемента с выделением в окружающую среду энергии в виде излучения.

- **Как называется самопроизвольное превращение неустойчивых атомных ядер в более устойчивые атомные ядра? Чем сопровождается подобное превращение?**

  Примерный ответ. Самопроизвольное превращение неустойчивых атомных ядер в более устойчивые атомные ядра называется радиоактивностью, и подобное превращение атомных ядер сопровождается выделением энергии в виде излучения.

III. **Изучение нового материала**

- **Объяснение учителя**

Вы уже знаете, что ядра атомов одного и того же химического элемента всегда содержат одинаковое число протонов. Например, все атомы углерода содержат в ядре по 6 протонов, а все атомы азота — по 7 протонов.

Масса атома практически определяется суммой масс протонов и нейтронов в ядре, так как масса электронов атома ничтожно мала по срав-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

нению с массой ядра. Поскольку относительная масса и протона, и нейтрона равна *1 атомной единице массы (А.е.м.)* *массовое число атома* (***A***) равно сумме числа протонов и нейтронов в ядре.

$$\mathbf{A} = Z + N,$$

где Z — число протонов,

N — число нейтронов в ядре атома.

Ядра атомов одного и того же химического элемента содержат одинаковое количество протонов, однако число нейтронов в них может отличаться. В этом случае массовые числа атомов также могут быть разными, поскольку они определяются общим количеством нуклонов (протонов и нейтронов) в ядре. Атомы с одинаковым количеством протонов и разным количеством нейтронов в ядре называют *изотопами*.

Для обозначения изотопов пользуются обычными символами соответствующих элементов, добавляя к ним слева вверху индекс, указывающий массовое число изотопа. Так, изотопы кислорода обозначают $^{16}\mathbf{O}$, $^{17}\mathbf{O}$, $^{18}\mathbf{O}$. При необходимости, например при составлении уравнения ядерных реакций, слева внизу возле символа химического элемента ставят индекс, указывающий заряд атомного ядра изотопа, который соответствует порядковому номеру элемента в Периодической системе химических элементов, например, $^{35}_{17}Cl$, $^{26}_{12}Mg$, $^{88}_{38}Sr$.

В настоящее время изучен состав всех изотопов природных химических элементов. Установлено, что, как правило, каждый элемент представляет собой совокупность нескольких изотопов. Именно этим объясняется то, что величины атомных масс многих элементов являются не целыми, а дробными числами. Так, природный хлор на 75, 53 % состоит из изотопа ^{35}Cl и на 24,47 % — из изотопа ^{37}Cl, поэтому средняя атомная масса хлора равна 35,453.

Существуют устойчивые (стабильные) и неустойчивые (радиоактивные) атомы. Устойчивые атомы имеют ядра практически неизменного состава. В целом, стабильность атома зависит от соотношения числа протонов и числа нейтронов в ядре. Лишь при определенных соотношениях числа протонов и нейтронов в ядре атомы стабильны. При нарушении протонно-нейтронного соотношения атомное ядро становится неустойчивым.

Неустойчивые атомные ядра стремятся перейти в более устойчивое состояние. Давайте вспомним, что такое радиоактивность.

Радиоактивность — это самопроизвольное превращение неустойчивых атомных ядер в более устойчивые атомные ядра, сопровождающееся выделением энергии в виде излучения.

В процессе такого превращения образуются атомные ядра другого химического элемента или другого изотопа того же химического элемента.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Работа с таблицей «Изотопы водорода и изотопы урана»

Химические элементы, у которых все изотопы радиоактивны, называют *радиоактивными элементами*. Примером радиоактивного элемента является уран. Для сравнения в таблице «**Изотопы водорода и изотопы урана**» приведен состав ядер изотопов водорода и радиоактивного элемента урана.

Изотопы водорода и изотопы урана

Химический элемент	Изотопы	
	стабильные	радиоактивные
Водород (*1 протон в ядре*)	^{1}H (*протий*) — в ядре ^{1}p ^{2}D (*дейтерий*) — $^{1}p + {}^{1}n$	^{3}T (*тритий*) — $^{1}p + 2\ {}^{1}n$
Уран (*92 протона в ядре*)	Отсутствуют	^{233}U — $92\ {}^{1}p + 141\ {}^{1}n$ ^{235}U — $92\ {}^{1}p + 143\ {}^{1}n$ ^{238}U — $92\ {}^{1}p + 145\ {}^{1}n$ и др.

Как видно из таблицы, у водорода из трех существующих изотопов только один — тритий (^{3}T) радиоактивный, поэтому водород не относится к числу радиоактивных элементов. У урана все изотопы радиоактивны, поэтому уран является радиоактивным элементом.

- **Рассмотрите данные таблицы. Чем отличаются изотопы водорода?**

  Ответ: Изотопы водорода отличаются числом нейтронов в ядре.

- **Чем отличаются изотопы урана?**

  Ответ: Изотопы урана также отличаются числом нейтронов в ядре.

- **Чем отличаются изотопы водорода от изотопов урана?**

  Ответ: Если у водорода существует два стабильных изотопа (протий и дейтерий) и один радиоактивный (тритий), то у урана стабильные изотопы отсутствуют, все его изотопы радиоактивны.

Учитель:

Итак, неустойчивые атомы, ядра которых самопроизвольно превращаются в другие атомные ядра, называют *радиоактивными нуклидами* или *радионуклидами*.

Запишем в тетрадь на печатной основе условие устойчивости атомных ядер:

В большинстве случаев атомные ядра устойчивы при выполнении следующих условий:

$Z/N \approx 1$ — устойчивы атомы легких химических элементов с Z от 1 до 20

$Z/N \approx 0{,}6$ — устойчивы атомы элементов с Z от 20 до 83

Атомы всех элементов **с** $Z > 83$ неустойчивы.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Работа с Периодической системой химических элементов Д.И. Менделеева.

Радиоактивными являются все химические элементы, расположенные в Периодической системе элементов за висмутом, порядковый номер которого равен 83. Все изотопы этих элементов радиоактивны.

Из почти 1 700 известных в настоящее время различных видов нуклидов стабильными являются только 264 вида нуклидов. Остальные являются радиоактивными и самопроизвольно распадаются, превращаясь в более стабильные виды нуклидов.

К основным типам радиоактивного распада естественных радионуклидов относятся:

альфа-распад,

бета-распад.

Распад радионуклидов обычно сопровождается испусканием *гамма*-излучения.

Превращение нестабильного ядра в устойчивое ядро может осуществляться в результате одного или нескольких последовательных радиоактивных распадов.

Работа с текстом учебника

Прочтите текст :

«Превращение нестабильного ядра в устойчивое ядро может осуществляться в результате одного или нескольких последовательных радиоактивных распадов. *Легкие радионуклиды*, которые содержат небольшое число протонов и нейтронов, обычно превращаются в стабильные нуклиды в результате одного ядерного превращения (например, тритий — ^{3}T, радиоактивный изотоп углерода — ^{14}C, радиоактивный изотоп калия — ^{40}K и др.).

Бета распад трития (^{3}T), радиоактивного изотопа углерода ^{14}C и изотопа ^{40}K:

$$^{3}T \rightarrow {}^{3}He + \beta^{-}$$

$$^{14}C \rightarrow {}^{14}N + \beta^{-}$$

$$^{40}K \rightarrow {}^{40}Ca + \beta^{-}$$

При распаде ядер атомов тяжелых радиоактивных элементов цепочка последовательных радиоактивных распадов может продолжаться до тех пор, пока не образуется устойчивое атомное ядро».

Объяснение учителя

Группа радионуклидов, объединенных цепочкой последовательных самопроизвольных ядерных превращений (*альфа*- и *бета*-распадов), образует ***радиоактивное семейство***.

Конечные продукты распада в радиоактивных семействах являются стабильными изотопами. Например, из ядер изотопа урана ^{238}U в резуль-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

тате цепочки последовательных распадов образуются ядра стабильного изотопа свинца ^{206}Pb. Вся совокупность радионуклидов, образующихся в результате цепочки последовательных распадов атомных ядер, начиная с ядер ^{238}U, называется радиоактивным семейством изотопа урана ^{238}U.

Работа с текстом учебника. Найдите в учебнике и запишите в тетрадь на печатной основе определение радиоактивного семейства.

Радиоактивное семейство — это группа радионуклидов, объединенных цепочкой последовательных самопроизвольных ядерных превращений (*альфа-* и *бета*-распадов).

В настоящее время на Земле существует три естественных радиоактивных семейства: семейства изотопов урана (^{235}U, ^{238}U) и семейство тория (^{232}Th). Когда-то на Земле присутствовали и члены радиоактивного семейства нептуния (^{237}Np), но за время существования нашей планеты все члены этого семейства распались.

Заключение

Из первичных радионуклидов, попавших на Землю в процессе ее формирования, сейчас можно встретить лишь те из них, которые еще не успели подвергнуться радиоактивному распаду за время существования планеты (полагают, что возраст Земли составляет 4,6 млрд. лет).

Радионуклиды, присутствие которых в окружающей среде не зависит от деятельности человека, называют естественными радионуклидами или радионуклидами естественного происхождения.

Естественные радионуклиды встречаются и в воде, и в воздухе, и в почве, и в клетках растений, животных и человека. В тканях растений, животных и человека, наряду со стабильными, содержатся и радиоактивные изотопы калия и углерода.

Из всех естественных радионуклидов основным источником облучения человека является радиоактивный газ радон. Радиоактивные изотопы радона являются членами естественных радиоактивных семейств и образуются в результате *альфа*-распада изотопов радия. Так как радий в небольших количествах содержится во всех почвах, повсюду из почвы в атмосферу выделяется радон.

IV. Работа со схемами распада естественных радиоактивных семейств

Учитель

1. Найдите на схемах радиоактивного распада радионуклидов естественных радиоактивных семейств изотопы радона: ^{218}Rn, ^{219}Rn, ^{220}Rn, ^{222}Rn.

   Определите их место в Периодической системе химических элементов Д.И. Менделеева. Определите, сколько протонов и ней-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

тронов содержится в ядрах этих изотопов радона. Это стабильные или радиоактивные изотопы?

2. Практически весь свинец, который находится на Земле, является продуктом радиоактивного распада родоначальников радиоактивных семейств ^{238}U, ^{235}U, ^{232}Th. Используя Периодическую таблицу химических элементов Д.И. Менделеева, определите содержание протонов и нейтронов в ядрах стабильных изотопов свинца : ^{206}Pb, ^{207}Pb, ^{208}Pb. Определите также количество электронов в атомах этих изотопов.
3. Сколько разных химических элементов входит в состав естественных радиоактивных семейств ^{238}U, ^{235}U, ^{232}Th? Сколько членов каждого естественного радиоактивного семейства самопроизвольно распадается с излучением *бета*-частиц, а сколько — с излучением *альфа*-частиц?

V. **Закрепление изученного материала**

Учитель предлагает учащимся вычислить среднюю атомную массу *химического элемента*, состоящего из двух изотопов, которые находятся в окружающей среде в атомном отношении 9 : 1. Ядро первого изотопа содержит 10 нейтронов и 10 протонов. В ядре второго изотопа содержится на два нейтрона больше.

Один из учеников выполняет задание на доске, объясняя свои действия, остальные ученики записывают решение в тетради на печатной основе.

VI. **Задание на дом**: изучить § 1. Решить задачи на определение средней атомной массы химических элементов и записать их решение в тетради на печатной основе.

1. Природная медь состоит из изотопов ^{63}Cu и ^{65}Cu. Отношение числа атомов ^{63}Cu к числу атомов ^{65}Cu в смеси равно 2,45 : 1,05. Рассчитайте среднюю атомную массу меди.
2. Сколько различных видов молекул находится в хлороводороде, если учесть, что входящие в его состав хлор и водород состоят из двух изотопов для хлора — с атомными массами 35 и 37, а для водорода — с атомными массами 1 и 2?

Урок 2. Искусственная радиоактивность

Задачи: углубить знания учащихся о явлении искусственной радиоактивности; выявить особенности устойчивых и радиоактивных атомов; показать положение радиоактивных элементов в Периодической системе химических элементов Д.И. Менделеева; развивать умение работать с учебником, выделять главное в тексте, анализировать таблицы, составлять уравнения простых ядерных реакций.

Оборудование : Периодическая система химических элементов Д.И. Менделеева; плакаты: «Основные виды ионизирующих излучений»; таблица «Изотопы водорода и изотопы урана».

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Ход урока

I. **Организационный момент**

II. **Опорные точки урока**



Искусственная радиоактивность:
- история открытия
- опыты Э. Резерфорда,
- опыты Ирэн Кюри и Фредерика Жолио-Кюри.

Бомбардирующие частицы:
- нейтроны
- протоны и *альфа*-частицы

Практическое использование явления искусственной радиоактивности

III. **Актуализация опорных знаний**

Беседа по вопросам (или проверка выполнения заданий в тетради на печатной основе).

- Что такое массовое число атома?
- Что определяет положение (порядковый номер) элемента в Периодической системе Д.И. Менделеева?
- Что такое изотопы?
- Как называются атомы, имеющие ядра практически неизменного состава?
- Отчего зависит устойчивость атомного ядра?
- Что такое радионуклиды?
- Что такое радиоактивность?
- Где в Периодической системе Д.И. Менделеева располагаются радиоактивные химические элементы?
- Чем радиоактивный распад ядер легких радионуклидов отличается от радиоактивного распада ядер атомов тяжелых радиоактивных элементов?
- Какие радиоактивные семейства вы знаете?
- Что такое естественная радиоактивность?
- Как Вы думаете, можно ли искусственно вызвать радиоактивный распад атомов? Что для этого нужно сделать?

Ответ: чтобы искусственно вызвать радиоактивный распад атомов, для этого необходимо искусственно создать неустойчи-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

вые атомные ядра, например, бомбардируя ядра устойчивых атомов потоком нейтронов или заряженных ядерных частиц (протонов, альфа-частиц и др.).

IV. **Постановка учебной задачи**: сегодня мы продолжим изучение явления радиоактивности и больше узнаем об искусственной радиоактивности, ее сущности и практическом применении.

V. Изучение нового материала

1. Объяснение учителя

Исследуя природу радиоактивности, ученые установили, что процессы ядерных превращений можно вызывать искусственно. Это можно осуществлять, бомбардируя устойчивые атомы ядерными частицами (нейтронами, протонами, *альфа*-частицами и т. п.). В процессе бомбардировки ядра устойчивых атомов захватывают бомбардирующие частицы и превращаются в новые неустойчивые ядра, которые быстро распадаются с выделением энергии в виде излучений. Радиоактивность, вызываемую таким способом, называют *искусственной*.

Работа с учебником. Изучите схему «Открытие искусственной радиоактивности» и ответьте на следующие вопросы:

- **Какие этапы в истории открытия радиоактивности можно выделить**?
- **Кто и как впервые осуществил искусственное ядерное превращение**?
- **Какие атомы и какими частицами облучал Резерфорд**?
- **Какой химический элемент был впервые получен искусственным путем**? **Кем он был получен**?
- **Когда произошло открытие процесса ядерного деления урана и возможности его использования в мирных и военных целях**?

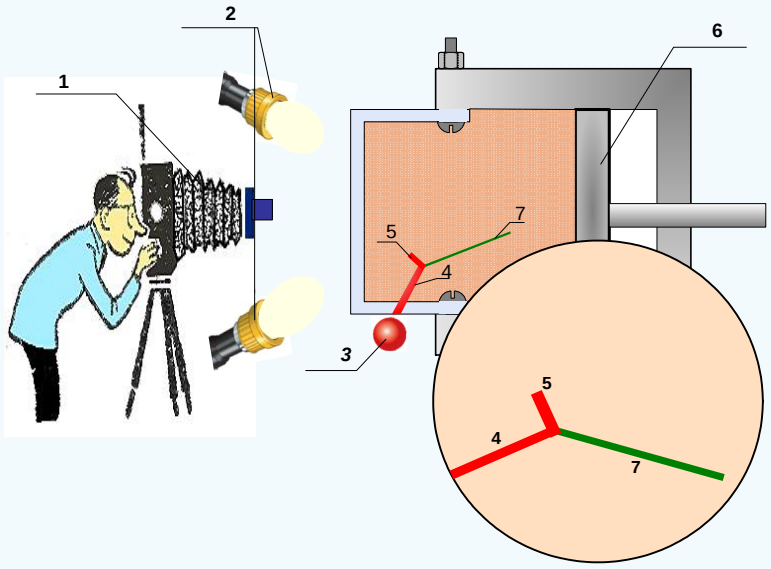
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Открытие искусственной радиоактивности

1919 год

Первое искусственное ядерное превращение, осуществленное Э. Резерфордом, при облучении атомов азота *альфа*-частицами в камере Вильсона.

При проведении опыта камера Вильсона была заполнена азотом и пересыщенным водяным паром. *Альфа*-частицы, попадая в камеру, вызывают ионизацию газовой среды. Образующиеся ионы способствуют конденсации пересыщенного водяного пара. Мельчайшие капельки сконденсированной воды создают видимый след на пути движения ионизирующего излучения. (1— фотокамера; 2 — мощные источники света; 3 — источник *альфа*-частиц; 6 — поршень).



Э. Резерфорд наблюдал, как при попадании *альфа*-частиц в газовую среду, через какое-то время след некоторых *альфа*-частиц (4) обрывается, и вместо него образуется два новых: короткий и широкий (5) и длинный и узкий (7). Резерфорд предположил, что при облучении атомов азота с атомной массой 14 а.е.м. (^{14}N) *альфа*-частицами, представляющими собой ядра гелия (^{4}He), происходит ядерное превращение. В результате, образуются ядра атомов кислорода $^{17}\mathbf{O}$, оставляющие короткий и широкий след, и ядра атомов водорода $^{1}\mathbf{H}$, дающие длинный и узкий след.

$$^{14}N + {}^{4}He \longrightarrow {}^{17}\mathbf{O} + {}^{1}\mathbf{H}$$

Анализ состава газовой фазы подтвердил его предположение.

1934 год

Впервые Ирэн Кюри и Фредерик Жолио-Кюри искусственно получили ***радиоактивные*** атомы азота по реакции:

$$^{10}B + {}^{4}He \longrightarrow {}^{13}N + {}^{1}n$$

Начиная с 1940 года...

Получены неизвестные ранее химические элементы. В их числе и тяжелые радиоактивные элементы, помещенные в Периодической системе за ураном. Их назвали *трансурановыми элементами*.

Конец 1940-х годов

Открытие процесса ядерного деления урана и возможности его использования в мирных и военных целях.



Э. Резерфорд (1871-1937)

Объяснение учителя

Первое искусственное превращение атомного ядра одного элемента в ядро другого химического элемента осуществил Э. Резерфорд. Используя поток быстрых ядер ге-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

лия, испускаемых при радиоактивном распаде радия, ему удалось превратить атомы азота ^{14}N в атомы кислорода $^{17}\boldsymbol{O}$.

$$^{14}\text{N} + {}^{4}\textbf{He} \longrightarrow {}^{17}\textbf{O} + {}^{1}\textbf{H}$$

атом азота — альфа частица — атом кислорода — протон

Полученные таким способом атомы кислорода $^{17}\boldsymbol{O}$ устойчивы и не подвергаются радиоактивному распаду.

Следует отметить, что во всех ядерных реакциях соблюдается *закон сохранения массы и заряда*, согласно которому:

сумма масс и сумма зарядов частиц, вступающих в ядерную реакцию, равняются соответственно сумме масс и сумме зарядов частиц, образующихся в результате реакции.

Это означает, что при записи уравнения ядерной реакции сумма масс и сумма зарядов частиц в левой части уравнения должны быть равны соответственно сумме масс и сумме зарядов частиц в правой части уравнения ядерной реакции.

Вспомним, с именами каких ученых связано открытие явления искусственной радиоактивности.

Ответ. Открытие явления искусственной радиоактивности связано с именами Ирэн Кюри и Фредерика Жолио-Кюри, которые впервые искусственно получили радиоактивные атомы азота ^{13}N.

А какие ядерные частицы они использовали в качестве бомбардирующих частиц?

Ответ. Они также, как и Э. Резерфорд в своих опытах, использовали в качестве бомбардирующих частиц ядра атомов гелия (альфа–частицы).

А какие ядерные частицы легче всего проникают в ядра атомов и вызывают ядерные превращения?

Ответ. Легче всего проникают в ядра атомов и вызывают ядерные превращения нейтроны.

▶ Работа с учебником

Найдите в тексте объяснение, почему большинство синтезированных радионуклидов получено при использовании в качестве бомбардирующих частиц нейтронов, а не протонов или *альфа*-частиц (ядер гелия).

«Поскольку нейтроны электрически нейтральны, они не отталкиваются ядрами, имеющими положительный заряд, и легче проникают в атомные ядра. Поэтому с их помощью легче вызвать ядерные превращения.

Положительно же заряженные протоны и ядра гелия должны обладать большой энергией, т. е. двигаться со значительной скоростью, чтобы преодолеть электростатическое отталкивание ядра-мишени».

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

● **Как вы думаете, что нужно сделать, чтобы с помощью заряженных частиц осуществлять ядерные реакции?**

▶ **Объяснение учителя**

Чем больше заряд бомбардируемого атомного ядра, тем большей энергией должны обладать бомбардирующие заряженные частицы, т. е. тем с большей скоростью они должны перемещаться, чтобы проникнуть в атомное ядро-мишень и вызвать ядерное превращение.

Вспомним, как можно разгонять заряженные частицы, чтобы увеличить скорость их движения, а значит и энергию заряженных ядерных частиц. Для этого используют сильные электрические и магнитные поля.

После открытия *искусственной радиоактивности* стали активно разрабатываться методы получения радионуклидов в искусственных условиях, которые нашли широкое практическое применение. Так, в 1937 году был получен неизвестный до этого элемент с порядковым номером 43, заполнивший соответствующее место в Периодической системе химических элементов Д.И. Менделеева и получивший название *технеция (Tc)*. Его получили путем бомбардировки изотопа молибдена ^{98}Mo ядрами тяжелого изотопа водорода дейтерия (дейтронами — ^{2}D):

$$^{98}_{42}\mathrm{Mo} + ^{2}_{1}\mathrm{D} \rightarrow ^{99}_{43}\mathrm{Tc} + ^{1}_{0}\mathrm{n}$$

Особый интерес вызвал синтез ряда *трансурановых элементов* (*ТУЭ*), которые расположены в Периодической системе после урана. Первый из них был получен в 1940 году при облучении нейтронами изотопа урана ^{238}U. При поглощении нейтронов атомными ядрами ^{238}U образуется более тяжелый радиоактивный изотоп урана ^{239}U:

$$^{238}_{92}\mathrm{U} + ^{1}_{0}\mathrm{n} \rightarrow ^{239}_{92}\mathrm{U}$$

Изотоп урана ^{239}U самопроизвольно распадается с испусканием *бета*-частиц (период полураспада — 23 минуты):

$$^{239}_{93}\mathrm{U} \rightarrow ^{239}_{92}\mathrm{Np} + \mathrm{b}^{-}$$

В результате радиоактивного распада атомы изотопа ^{239}U превращаются в атомы нового химического элемента с зарядом ядра +93 и порядковым номером 93. Этот элемент по аналогии с планетой Нептун, следующей в Солнечной системе за планетой Уран, был назван *нептунием (Np)*.

Оказалось, что нептуний тоже радиоактивный элемент (все его изотопы радиоактивны). При распаде ядер атомов изотопа ^{239}Np испускаются *бета*-частицы и образуются атомы химического элемента с зарядом ядра +94 и порядковым номером 94, названного *плутонием (Pu)*:

$$^{239}_{93}\mathrm{Np} \rightarrow ^{239}_{94}\mathrm{Pu} + ^{0}_{-1}\mathrm{e}$$

При записи уравнений ядерных реакций вылетающие из ядра *бета*-частицы часто обозначают $^{0}_{-1}e$. Индекс слева вверху означает, что масса

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

электронов настолько мала по сравнению с массой протонов и нейтронов, что при составлении уравнения ядерной реакции ею можно пренебречь. Индекс слева внизу означает заряд электрона, который равен «минус»1.

Таким образом, в результате облучения урана нейтронами были получены два трансурановых элемента — *нептуний* и *плутоний*.

В последующие годы были получены изотопы других трансурановых элементов, в том числе, и все члены четвертого радиоактивного семейства — нептуния (^{237}Np), которые когда-то присутствовалина Земле, но за время ее существования уже полностью распались.

Были также разработаны способы практического использования искусственно полученных радионуклидов для получения ядерной энергии, применения их в медицинских, исследовательских и других целях. Это привело к значительным изменениям во всех сферах человеческой жизни. Началась новая историческая эпоха.

IV. **Закрепление изученного материала** — выполнение заданий в тетради на печатной основе.

1. Укажитемассуатома, содержащего11 электронови 12нейтронов

   а) 12 а.е.м.; б) 23 а.е.м.; в) 1,99 ·10 $^{-23}$ г; г) 3,982 ·10 $^{-23}$ г.

2. Сколько нейтронов содержится в молекуле хлора, образованной двумя атомами ^{35}Cl ?

   а) 18; б) 35; в) 36; г) 34.

3. Заряд атома равен…

   а) нулю; б) порядковому номеру элемента; в) числу электронов; г) заряду ядра.

4. Какой нуклид образуется при облучении изотопа урана $^{238}_{92}U$ нейтронами? Дополните уравнение ядерной реакции.

$$^{238}_{92}\mathrm{U} + \mathrm{n} \longrightarrow \ldots$$

5. Какой нуклид образуется в результате *бета*-распада изотопа нептуния $^{239}_{93}Np$?

6. Сколько протонов, нейтронов и электронов в атоме $^{239}_{93}Np$?

VI. **Задание на дом**: изучить § 2 и выполнить следующие задания:

1. Завершить выражение

   В ядерных реакциях строго выполняется закон сохранения…

   а) массы; б) числа протонов; в) энергии; г) заряда.

2. Завершить уравнения ядерных реакций:

$$^{211}_{83}Bi \longrightarrow {}^{207}_{81}Tl + \ldots$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$^{218}_{84}Po \longrightarrow {}^{218}_{85}At + \ldots$

$^{226}_{88}Ra \longrightarrow \ldots + {}^{4}_{2}He$

$\ldots \longrightarrow {}^{20}_{10}Ne + {}^{40}_{18}Ar$

3. Какое ядро образовалось при бомбардировке урана ^{238}U ядрами азота ^{14}N, если при этом выделилось 4 нейтрона?

а) $^{252}_{92}U$ б) $^{252}_{99}Es$ в) $^{252}_{106}Sg$ г) $^{248}_{99}Es$

Запишите уравнение ядерной реакции.

4. Сто двенадцатый элемент Периодической системы был получен в 1996 г. в количестве одного атома при бомбардировке тяжелыми ядрами свинцовой мишени. Какие ядра использовались при этом? Замените знаки вопроса в уравнении реакции необходимыми числами и знаками:

$^{?}_{?}? + {}^{208}Pb \longrightarrow {}^{227}_{112}X + n$

а) $^{69}_{30}Zn$ б) $^{70}_{30}Zn$ в) $^{70}_{31}Ga$ г) $^{69}_{29}Cu$

Урок 3. Закон радиоактивного распада. Период полураспада. Активность

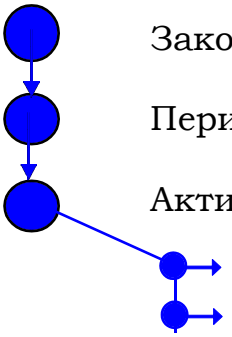
Задачи: познакомить учащихся с законом радиоактивного распада и теми физическими велечинами, которые используются для оценки уровня радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды; развивать умение работать с учебником, выделять главное в тексте, анализировать таблицы, составлять уравнения простых ядерных реакций.

Оборудование : Периодическая система химических элементов Д.И. Менделеева; плакаты: «Основные виды ионизирующих излучений»; таблица «Изотопы водорода и изотопы урана».

Ход урока

I. **Организационный момент**

II. **Опорные точки урока**



Закон радиоактивного распада

Период полураспада радиоизотопа

Активность радиоизотопа

- удельная активность вещества
- плотность радиоактивного загрязнения территории

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

III. **Актуализация опорных знаний**

- Назовите имена ученых, открывших явление искусственной радиоактивности.
- Напишите примеры уравнений ядерных превращений, при которых могут быть получены радиоактивные нуклиды.
- Почему при получении большинства искусственных радионуклидов в качестве бомбардирующих частиц применялись нейтроны, а не протоны или *альфа*-частицы (ядра гелия)?
- От чего зависит энергия бомбардирующей частицы?
- Какое практическое использование нашло явление искусственной радиоактивности?

IV. **Постановка учебной задачи**. Познакомимся с законом радиоактивного распада радионуклидов и некоторыми физическими величинами, которые используются для оценки содержания радионуклидов в объектах окружающей среды и в живых организмах.

V. **Изучение нового материала**

Ядерные превращения неустойчивых атомов происходят независимо от того, входят ли радионуклиды в состав тех или иных химических соединений, находятся ли эти вещества в газообразном, жидком или твердом состоянии. Среди большого числа радионуклидов за какой-то конкретный промежуток времени их определенная часть обязательно распадется.

1. **Закон радиоактивного распада**.

Ученые установили, что при любых условиях ***скорость радиоактивного распада пропорциональна имеющемуся в данный момент общему числу нераспавшихся атомов радиоизотопа***. Выявленную закономерность назвали ***законом радиоактивного распада***.

$$\Delta N / \Delta t = \lambda N,$$

где ΔN — ожидаемое число самопроизвольных ядерных превращений за промежуток времени Δt;

N — количество имеющихся атомов радиоизотопа;

λ — постоянная радиоактивного распада, характеризующая вероятность распада атомных ядер радиоизотопа в единицу времени.

Промежуток времени, за который распадается половина любого количества атомов определенного радиоизотопа, величина постоянная. Его называют периодом полураспада и используют для характеристики радиоизотопа.

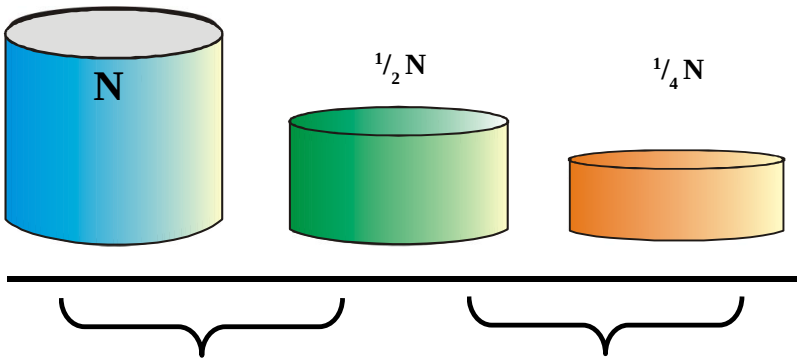
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

2. **Что же такое период полураспада?**

Период полураспада радиоизотопа — это промежуток времени, за который распадается половина любого количества радиоизотопа.

Найдите это определение в учебнике и запишите его в тетрадь на печатной основе.

Период полураспада обычно обозначают $T_{1/2}$.



I период полураспада

II период полураспада

Пример. Изотоп ^{90}Sr имеет период полураспада 28,5 лет. Это означает, что из 10 г изотопа, через 28,5 лет останется только 5,0 г ^{90}Sr.

В течение последующих 28,5 лет распадется еще половина ^{90}Sr, и останется уже 2,5 г изотопа и т. д.

Продолжительность периода полураспада различных радиоизотопов может составлять от миллионных долей секунды до нескольких миллиардов лет. За промежуток времени, в 10 раз превышающий период полураспада, любой радиоизотоп практически полностью распадается.

3. **Активность**

Главной характеристикой радиоактивного вещества является *активность*.

Активность определяет число распадов радионуклидов в единицу времени.

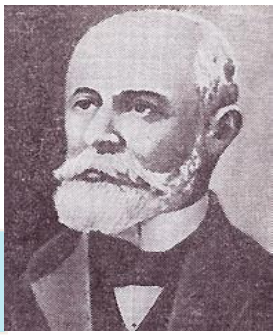
$$\mathbf{A} = \Delta N / \Delta t,$$

где ΔN — число ядерных превращений, которые происходят за промежуток времени Δt.

Фактически, активность — это скорость распада радионуклидов. Согласно закону радиоактивного распада, скорость распада пропорциональна общему числу имеющихся в данный момент нераспавшихся радиоактивных атомов. Поэтому активность можно использовать в качестве меры содержания радионуклидов в веществе. Чем выше активность, тем больше ядерных превращений происходит в веществе в единицу времени и тем больше нераспавшихся радиоактивных атомов в веществе.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

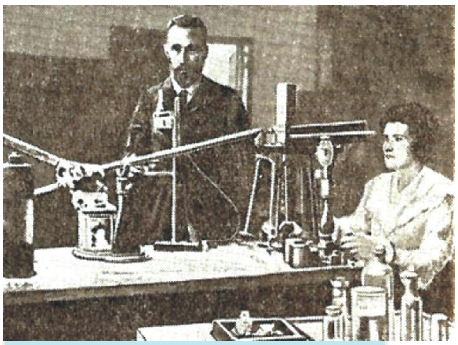
В международной системе единиц (СИ) основной единицей измерения активности является *беккерель (Бк)*. *Эта единица названа в честь Анри Беккереля.* В радиоактивном веществе активностью *1 Бк* в среднем происходит одно самопроизвольное (спонтанное) превращение в секунду.



А.Беккерель (1852-1908)

1 Бк (беккерель) = 1 распад / с

Существуют и внесистемные единицы измерения активности, среди которых наиболее часто употребляется *Кюри (Ки)*. Эта единица названа в честь Марии и Пьера Кюри.



Пьер Кюри и Мария Склодовская-Кюри в лаборатории

1 Кюри соответствует активности *1 г радия.*

1 Ки (кюри) = $3{,}7 \cdot 10^{10}$ распад / с = $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Бк

Используют также кратные им единицы:
1 миллибеккерель (мБк) = 10^{-3} Бк
1 килобеккерель (кБк) = $1 \cdot 10^{3}$ Бк

4. Удельная активность вещества

Концентрацию радионуклидов в веществе обычно оценивают по *удельной активности.* Поскольку радиоактивные вещества могут находиться в различных агрегатных состояниях, их радиоактивные свойства довольно часто характеризуют по удельной активности газовой, жидкой и твердой фаз.

Удельная активность — это активность вещества в расчете на единицу его массы или объема.

Поскольку радиоактивные вещества могут находиться в различных агрегатных состояниях, их удельную активность выражают в разных единицах измерения. При этом удельную активность жидких и газообразных веществ (воды, воздуха и т. п.) обычно оценивают в расчете на единицу объема вещества (объемная активность), а твердых веществ — в расчете на единицу их массы.

Удельную активность применяют для оценки концентрации радионуклидов в большинстве природных веществ, в пищевых продуктах, искусственно созданных материалах.

5. Плотность радиоактивного загрязнения территории

Распределение радионуклида по поверхности объекта иногда характеризуют по *активности радионуклидов в расчете на единицу площади поверхности объекта.* Эту величину обычно применяют для характеристики уровня загрязнения территории радионуклидами, и тогда ее обычно называют *плотностью загрязнения* ($\boldsymbol{A}_s$):

$$\mathbf{A}_s = A \ / \ S \ (Бк/м^2)$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Плотность радиоактивного загрязнения территорий

$A_s = A/S$ (Бк/м², Ки/км²)



VI. **Закрепление изученного материала** — выполнение заданий в тетради на печатной основе, решение несложных задач.

1. Период полураспада изотопа свинца ^{210}Pu равен 19,4 года. Через сколько лет масса 2 г изотопа уменьшится до 250 мг?

2. Удельная активность железа, содержащего радиоактивный изотоп ^{55}Fe, составляет 30 Бк/кг. Какова активность изотопа ^{55}Fe в образце такого железа массой 100 г. Какой станет активность образца через 12 лет, если период полураспада изотопа ^{55}Fe равен 4 годам?

VII. **Задание на дом**: изучить § 3. Выполнить задание в тетради на печатной основе:

1. Какое ядро образовалось при бомбардировке урана ^{238}U ядрами азота ^{14}N, если при этом выделилось 4 нейтрона?

   а) $^{252}_{92}U$ б) $^{252}_{99}Es$ в) $^{252}_{106}Sg$ г) $^{248}_{99}Es$

   Запишите уравнение ядерной реакции.

2. Скорость радиоактивного распада изотопа характеризуется…

   а) отношением числа нейтронов к числу протонов

   б) средним временем жизни протонов

   в) относительной скоростью движения протонов и нейтронов в ядре

   г) периодом полураспада радиоизотопа.

3. Какие из следующих утверждений об атоме справедливы:

   а) разрушается в результате химических реакций

   б) разрушается в процессе радиоактивного распада

   в) состоит из элементарных частиц

   г) при добавлении нейтрона превращается в атом другого химического элемента.

4. Период полураспада изотопа ^{228}Th равен двум годам. За какое время распадется 75 % ядер этого изотопа?

   а) за 4 года; б) за 3 года; в) за 1,5 года; г) за 2 года 8 месяцев.

5. Какой станет удельная активность образца массой 80 г через 8 лет, если сейчас активность изотопа тория ^{228}Th в нем составляет 2 400 Бк? Воспользуйтесь информацией о величине периода полураспада изотопа из предыдущей задачи.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Урок 4. Основные виды ионизирующего излучения. *Альфа*-излучение и его свойства. Поглощенная доза ионизирующего излучения

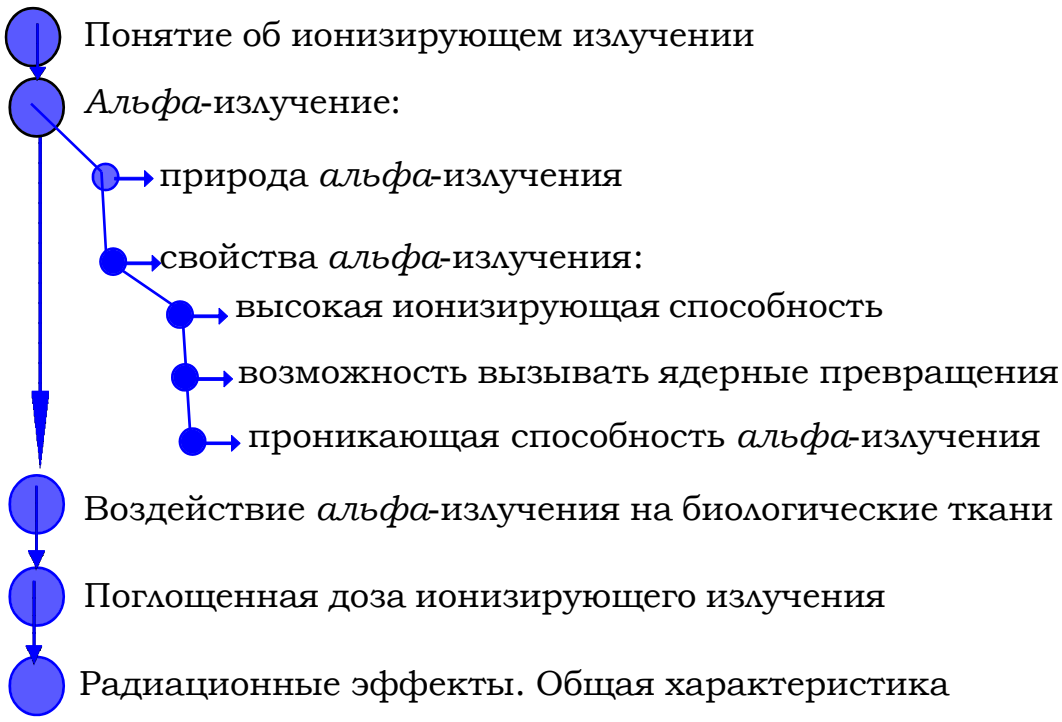
Задачи: расширить знания учащихся об основных видах ионизирующих излучений, которые сопровождают процессы ядерного распада; познакомить со свойствами *альфа*-излучения, его действием на живые организмы; дать понятие поглощенной дозы ионизирующего излучения; развивать логическую память, умение работать с источниками информации.

Оборудование : Периодическая система химических элементов Д.И. Менделеева; плакат «Основные виды ионизирующих излучений».

Ход урока

I. **Организационный момент**

II. **Опорные точки урока**



III. **Постановка учебной задачи**. Сегодня нам предстоит вспомнить об ионизирующем излучении и расширить свои знания о нем, изучив свойства и природу *альфа*-излучения. Мы также познакомимся с *поглощенной дозой* ионизирующего излучения — важной физической величиной, характеризующей воздействие излучения на различные объекты.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

IV. **Изучение нового материала**

▶ **Вступительное слово учителя. Ионизирующие излучения.**

Энергия излучения, испускаемого при ядерных превращениях, довольно велика. Этой энергии вполне достаточно для отрыва электронов от электронейтральных атомов и молекул, попадающихся на пути распространения излучения, и образования положительно заряженных ионов. Электроны, потерявшие связь с ядром, не долго остаются свободными и обычно захватываются другими атомами и молекулами с образованием отрицательно заряженных ионов. Атомы или молекулы, утратившие часть электронов, называют катионами, а захватившие избыточные электроны — анионами.

Следовательно, ***излучения, сопровождающие процессы радиоактивных превращений, вызывают ионизацию окружающего вещества, поэтому их называются ионизирующими.***

▶ **Актуализация опорных знаний**

● **Вспомните, с какими видами ионизирующих излучений вы уже знакомы?**

Примерный ответ: Мы знакомы с альфа-, бета-, гамма-излучениями и рентгеновским излучением.

● **Что такое альфа-излучение?**

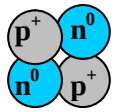
Примерный ответ. Альфа-излучение (α) — это поток положительно заряженных альфа-частиц.

● **Из чего состоит каждая *альфа*-частица?**

Примерный ответ. Каждая альфа-частица состоит из двух протонов и двух нейтронов, которые прочно связаны между собой.

▶ **Объяснение учителя.**

Фактически, *альфа*-частицы представляют собой ядра атомов изотопа гелия ^{4}***He***.



α- частица

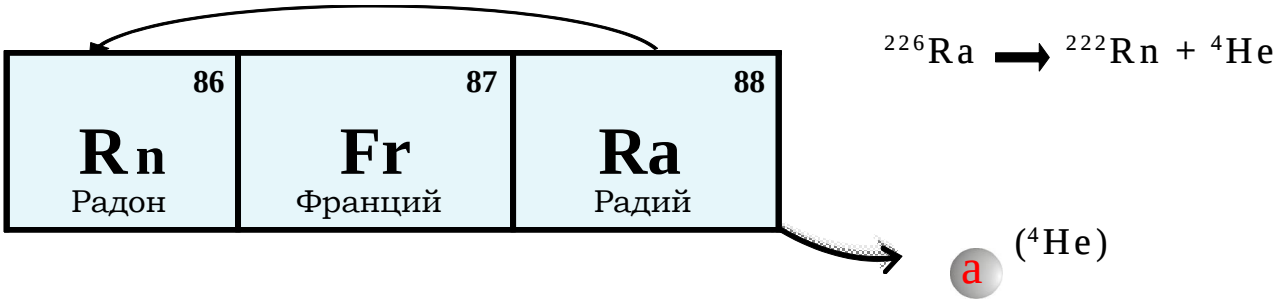
Альфа-частицы образуются при ядерном распаде атомов тяжелых радиоактивных элементов. Примером может служить происходящий в природе распад ядер изотопа радия ^{226}Ra:

$$^{226}Ra \longrightarrow {}^{222}Rn + {}^{4}He$$

Радий — Радон — *Альфа*-частица

Такое ядерное превращение называют *альфа*-распадом. В результате *альфа*-распада заряд ядра уменьшается на 2 относительные единицы, а его масса на 4 атомные единицы массы, т. е. положение полученного в результате распада атома смещается в Периодической системе химических элементов на 2 позиции влево.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



Какими же свойствами обладает *альфа*-излучение?

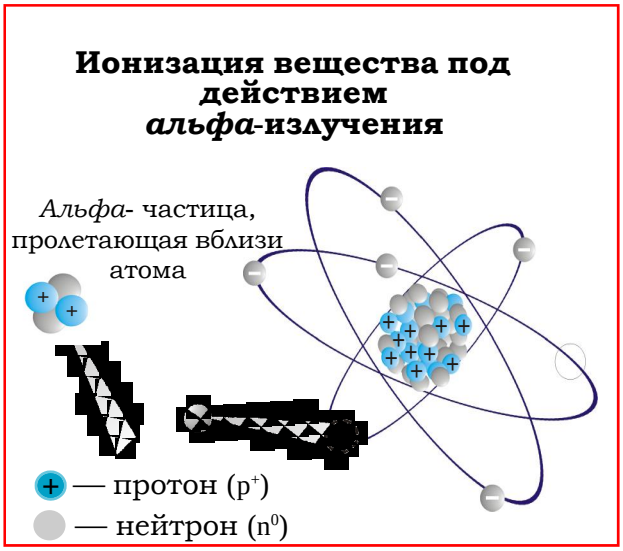
Альфа-излучение обладает высокой ионизирующей способностью. Например, при распространении в воздухе *альфа*-лучи образуют на каждом сантиметре по пути своего движения от 25 до 60 тысяч пар ионов.

Как *альфа*-частицы ионизируют вещество?

При попадании в вещество, свободные, положительно заряженные *альфа*-частицы отдают свою энергию преимущественно электронам атомов.

Получивший избыточную энергию электрон теряет связь с ядром и покидает атом, который превращается в положительно заряженный ион (*катион*).

Освободившийся электрон вскоре присоединяется к другому атому или молекуле, что приводит к образованию отрицательно заряженных ионов (анионов).



Проникающая способность *альфа*-излучения

В любом веществе *альфа*-излучение быстро теряет свою энергию и поэтому проникает в него неглубоко.

Работа с учебником

Задание 1:

Найдите в учебнике информацию, от чего зависит проникающая способность *альфа*-излучения? Выполните задание в тетради на печатной основе, вставив пропущенные слова:

Текст:

«Способность *альфа*-излучения проникать в вещество зависит от … … … и … … … (его химического состава и плотности).

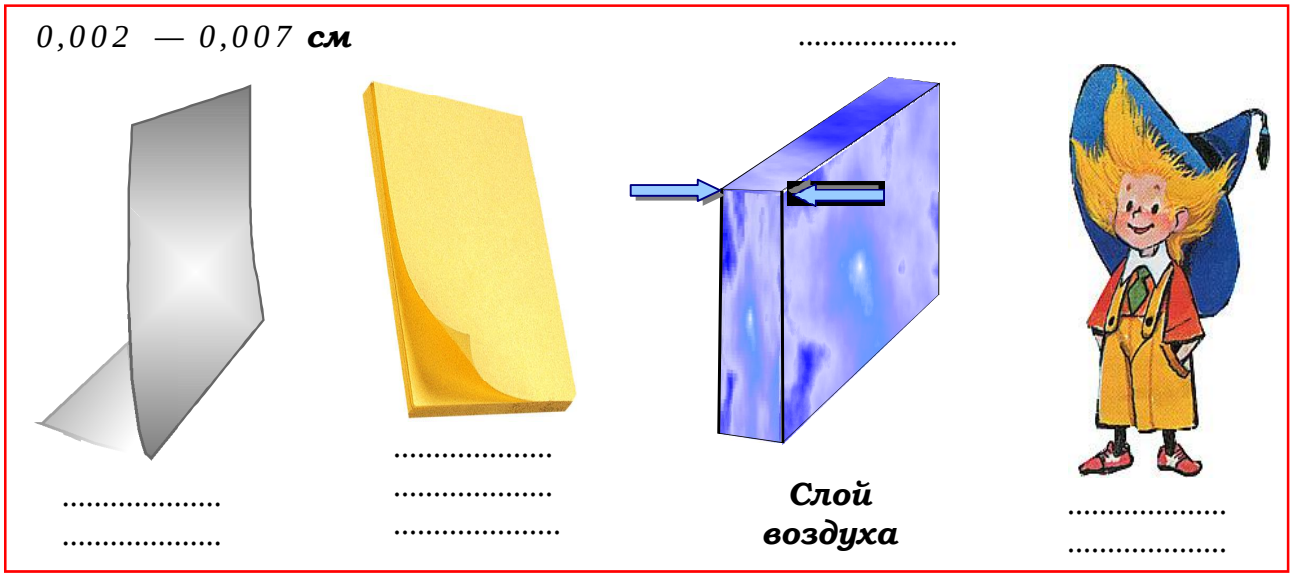
Пропущенные слова: а) *энергии альфа-частиц*, б) *свойств облучаемого вещества.*

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Задание 2:

Используя информацию из учебника о том, как разные вещества задерживают *альфа*-излучение, в тетради на печатной основе дополните рисунки недостающими подписями.

***Альфа*-излучение задерживают**:



Объяснение учителя

Рассмотрим, какую же опасность представляет *альфа*-излучение для живых организмов? Как глубоко может проникать *альфа*-излучение в биологические ткани?

В биологические ткани *альфа*-излучение проникает на глубину менее 0,7 мм. Поэтому при внешнем облучении организма человека *альфа*-излучение, в основном, поглощается наружным слоем кожи. В этом случае оно практически не представляет опасности, за исключением тех случаев, когда *альфа*-лучи непосредственно попадают на слизистую оболочку глаз.

Однако радионуклиды, распад которых сопровождается *альфа*-излучением, могут проникать и внутрь организма человека

- через открытую рану,
- с пищей,
- с вдыхаемым воздухом.

При облучении небольших участков внутренних органов *альфа*-частицы могут серьезно повреждать живые клетки организма Специалисты в области радиационной медицины полагают, что по способности вызывать нарушения в живых тканях организма человека *альфа*-излучение примерно в 20 раз превосходит *бета*- и *гамма*-излучения.

От *альфа*-излучения радионуклидов, проникших в легкие с пылью, содержащейся во вдыхаемом воздухе, могут пострадать участки легочной ткани и пронизывающие ее капилляры. Именно поэтому на территориях с содержанием радионуклидов (в том числе, и *альфа*-излучающих) выше допустимых пределов, запрещены все виды работ, связанных с пыле-образованием.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Работа с тетрадью на печатной основе

Выполните задание 3. *Из перечня слов и словосочетаний выберите нужные и вставьте пропущенные слова в текст.*

«Благодаря небольшой проникающей способности … … … обычно не представляют большой опасности при… …. … …может … значительную часть *бета*– частиц и совсем … …*альфа*– частицы. Однако при попадании … … организма человека с …, … и … … или при загрязнении радиоактивными веществами … … *альфа*- и *бета*–излучения могут причинять человеку серьезный вред».

Пропущенные слова и словосочетания:

- *альфа*- и *бета* – излучения,
- не пропускает,
- внешнем облучении,
- поглощать
- плотная одежда,
- пищей, водой … вдыхаемым воздухом,
- поверхности тела,
- радионуклидов внутрь

Объяснение учителя

Поглощенная доза ионизирующего излучения

Важной физической величиной, которая характеризует степень воздействия любого излучения на вещество, является *поглощенная доза излучения.*

*Поглощенная доза излучения (D) — это энергия ионизирующего излучения (**E**), которая поглощается облучаемым объектом в расчете на единицу массы вещества (m), из которого состоит объект.*

$$D = E / m$$

За единицу поглощенной дозы вещества в международной системе единиц измерения (СИ) принят *Грей (Гр).*

1 Гр равен поглощенной дозе излучения, при которой облученному веществу массой 1 кг передается энергия ионизирующего излучения, равная 1 Дж:

$$1\ Гр = 1\ Дж / 1\ кг = 1\ Дж/кг$$

Применительно к тепловой энергии *1 Дж* — это совсем небольшая величина. Такого количества тепловой энергии хватает лишь для нагревания одной чайной ложки воды на *1 градус*. Это примерно соответствует количеству энергии, которое поглощается в теле человека, когда он выпивает лишь четверть чайной ложки горячего кофе. Поглощение



Гарольд Грей
(1905 - 1965)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

такого количества тепловой энергии не может вызвать серьезных нарушений в организме человека.

В то же время, применительно к энергии ионизирующего излучения *1 Дж* — это большая величина. Такое количество энергии *ионизирующего* излучения может приводить к появлению серьезных нарушений в организме.

Чем же объясняются такие разные последствия при поглощении организмом одинакового количества тепловой энергии и энергии ионизирующего излучения?

Такое различие связано с тем, что *поглощенная тепловая энергия* относительно равномерно распределяется в биологической ткани, и чтобы вызвать серьезные нарушения в организме , требуется поглощение значительно большего количества тепловой энергии, чем *1 Дж*.

Поглощенная биологической тканью энергия ионизирующего излучения распределяется крайне неравномерно в молекулах биополимеров, которые входят в состав биологической ткани и играют чрезвычайно важную биологическую роль. Определенным участкам молекул передается практически вся поглощенная энергии излучения, а другим участкам достается совсем незначительная ее часть. В результате, поглощенная энергия излучения оказывается сконцентрированной в определенных местах таких молекул и может вызвать их повреждение . Поэтому поглощение биологической тканью даже *1 Дж* энергии ионизирующего излучения может привести к серьезным нарушениям в организме человека.

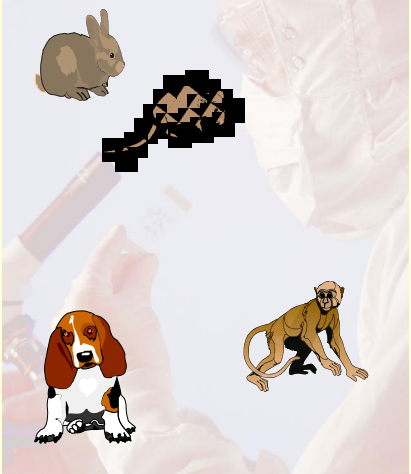
Биологическое действие ионизирующего излучения

Все изменения, возникающие в объектах под действием ионизирующего излучения, называют ***радиационными эффектами***.

Наиболее сложно оценивать воздействие радиации на биологические объекты.

Чтобы выяснить, как ионизирующее излучение действует на организм человека и другие биологические объекты, проводятся:

Радиобиологические эксперименты на животных



Исследования заболеваемости в группах облученных людей

Жители Хиросимы и Нагасаки, пострадавшие от применения ядерного оружия в 1945 году

Жертвы радиационных аварий

Шахтеры урановых рудников

Работники атомной энергетики и промышленности

Больные , подвергшиеся терапевтическому облучению

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Различают два вида радиационных эффектов, которые возникают в организме человека: *детерминированные* и *стохастические*.

Радиационные эффекты в организме человека

Детерминированные (*предопределенные*)	***Стохастические*** (*спонтанные, возникающие случайно*)
Ø Появляются в результате повреждения *ионизирующим излучением* значительного числа клеток органов или биологических тканей, что приводит к *серьезным физиологическим нарушениям* в организме (*радиационные ожоги, лучевая катаракта, лучевая болезнь* и др.). Ø Как правило, возникают непосредственно после воздействия ионизирующего излучения на организм (в течение нескольких часов или нескольких дней), когда *поглощенные дозы превышают* определенные *пороговые уровни*. Ø Чем больше поглощенная доза, тем больше нарушений возникает в организме. Ø *Характерны для высоких доз облучения (обычно 1 Гр и более).* Ø Связь между облучением и возникшим заболеванием *однозначна*. Заболевание неизбежно (предопределено). *Превышение дозового порога* (определенного уровня поглощенной дозы) *обязательно приводит* к конкретному *нарушению* в организме человека.	Ø Проявляются в виде раковых и генетических заболеваний, которые сокращают продолжительность жизни человека. Ø Возникновение заболевания является случайным событием, которое может реализоваться в любой момент по истечении определенного (скрытого, или латентного) периода после облучения. После завершения латентного периода человек может заболеть в любое время, однако может и вовсе не заболеть. Ø Протекание заболевания (его тяжесть) не зависит от величины поглощенной дозы. Ø *Характерны для средних (0,2 – 1 Гр) и малых (менее 0,2 Гр) доз облучения.* Ø Предполагают, что *стохастические эффекты* могут возникать при любых сколь угодно *малых* дозах облучения. Ø *Вероятность* возникновения стохастических эффектов *возрастает с увеличением поглощенной дозы.*

V. **Задание на дом**: изучить § 3, выполнить задание в тетради на печатной основе:

Завершить предложения:

а) Радиационные эффекты — это …

б) Поглощенная доза — это ….

в) Различают два вида радиационных эффектов, которые возникают в организме человека: … и ….

г) Детерминированные эффекты характерны для … поглощенных доз облучения (… и более).

д) Стохастические эффекты характерны для … (*0,2 – 1 Гр*) и малых (менее …) поглощенных доз облучения.

е) *альфа*-излучение обладает высокой … ….

ж) *альфа*-излучение обладает небольшой … ….

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Урок 5. Основные виды ионизирующего излучения

Бета-излучение и его свойства

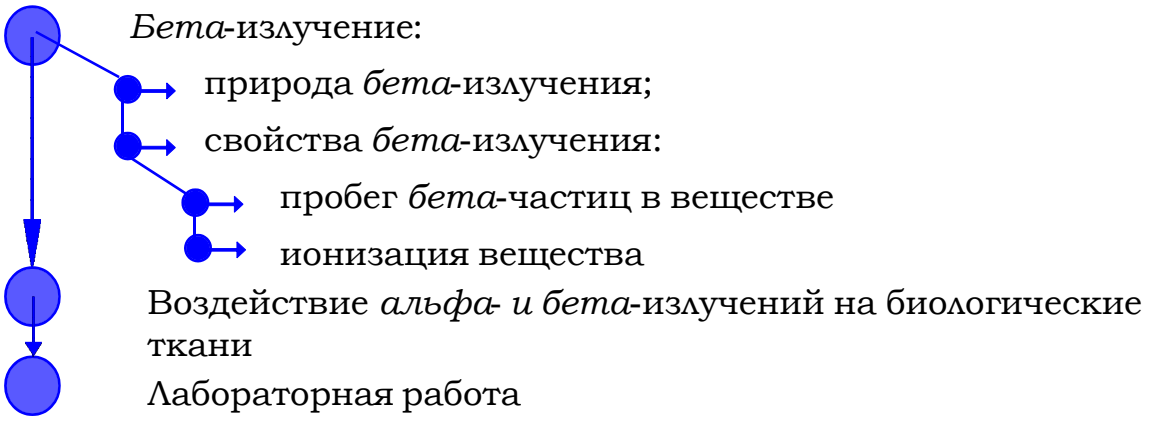
Задачи: расширить знания учащихся об основных видах ионизирующих излучений, которые сопровождают процессы ядерного распада; познакомить со свойствами *бета*-излучения, его действием на живые организмы; развивать логическую память, умение работать с источниками информации.

Оборудование : Периодическая система химических элементов Д.И. Менделеева; плакаты: «Основные виды ионизирующего излучения».

Ход урока

I. **Организационный момент**

II. **Опорные точки урока**



III. **Постановка учебной задачи**. Сегодня нам предстоит расширить знания об ионизирующих изучениях , подробнее ознакомившись со свойствами *бета*-излучения.

IV. **Актуализация опорных знаний**

- **Вспомните, что представляет собой *бета*-излучение?**

Примерный ответ: Бета-излучение (b) – это поток быстро движущихся свободных электронов.

- **Работа с учебником.**
- **Найдите в тексте учебника информацию о заряде и массе электрона, запишите в тетрадь на печатной основе.**

«По размерам и массе электроны значительно уступают *альфа*-частицам. Например, масса электрона примерно в 7 340 раз меньше массы *альфа*-частицы, заряд электрона вдвое меньше заряда альфа-частицы и противоположен по знаку (- 1)».

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

● **Вспомните и запишите в тетрадь уравнение ядерного распада изотопа калия ^{40}K.**

$$^{40}\mathrm{K} \longrightarrow {}^{40}\mathrm{Ca} + b^-$$

V. **Изучение нового материала**

▶ **Объяснение учителя**

Бета-частицы испускаются, например, при распаде радионуклидов, в ядрах которых содержится избыточное количество нейтронов по сравнению с тем количеством, которое требуется для обеспечения устойчивости атомных ядер:

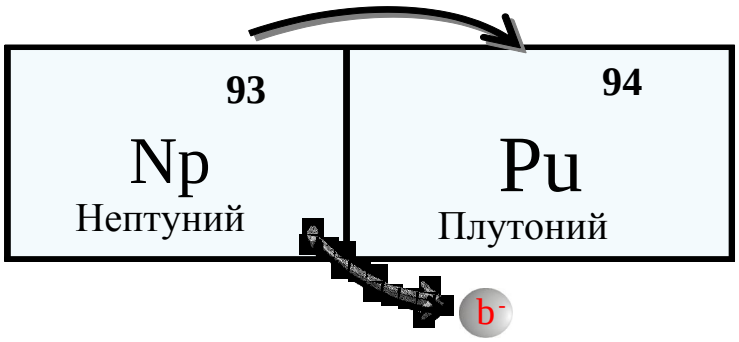
$$^{239}\mathrm{Np} \longrightarrow {}^{239}\mathrm{Pu} + b^-$$

нептуний плутоний *бета*-частица

Такое ядерное превращение называют *бета*-распадом. При подобном типе ядерного распада *бета*-частицы образуются в ядре атома в результате превращения нейтрона в протон:

$$^{1}\mathrm{n} \longrightarrow {}^{1}\mathrm{p} + b^-$$

В результате *бета*-распада заряд ядра атома увеличивается на единицу, а его масса остается практически без изменения. Положение атома, полученного в результате такого распада, смещается в Периодической системе элементов на одну позицию вправо.



При прохождении через вещество *бета*-частицы теряют свою энергию. Они передают ее веществу при столкновениях с ядрами и электронами атомов.

▶ **Работа с учебником**

● **Найдите в тексте учебника информацию, позволяющую сравнить длину пробега *альфа*- и *бета*-частиц в веществе.**

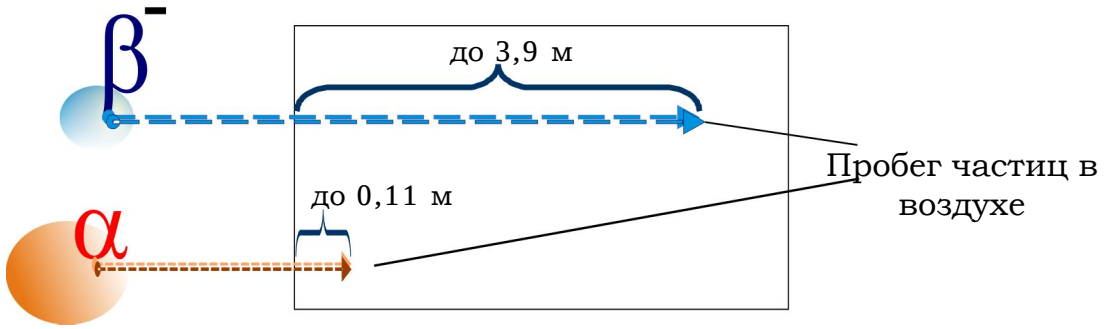
«...Из-за того, что масса электронов намного меньше массы *альфа*-частиц, при одинаковой энергии пробег *бета*-частиц в веществе в сотни раз превышает пробег *альфа*-частиц, и *бета*-излучение значительно глубже проникает в вещество».

▶ **Объяснение учителя**

Бета-излучение ***обладает более высокой проникающей способностью по сравнению с альфа-излучением***.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

В воздухе пробег *бета*-частиц может достигать 3,9 м, а *альфа*-частиц — только 11 см.



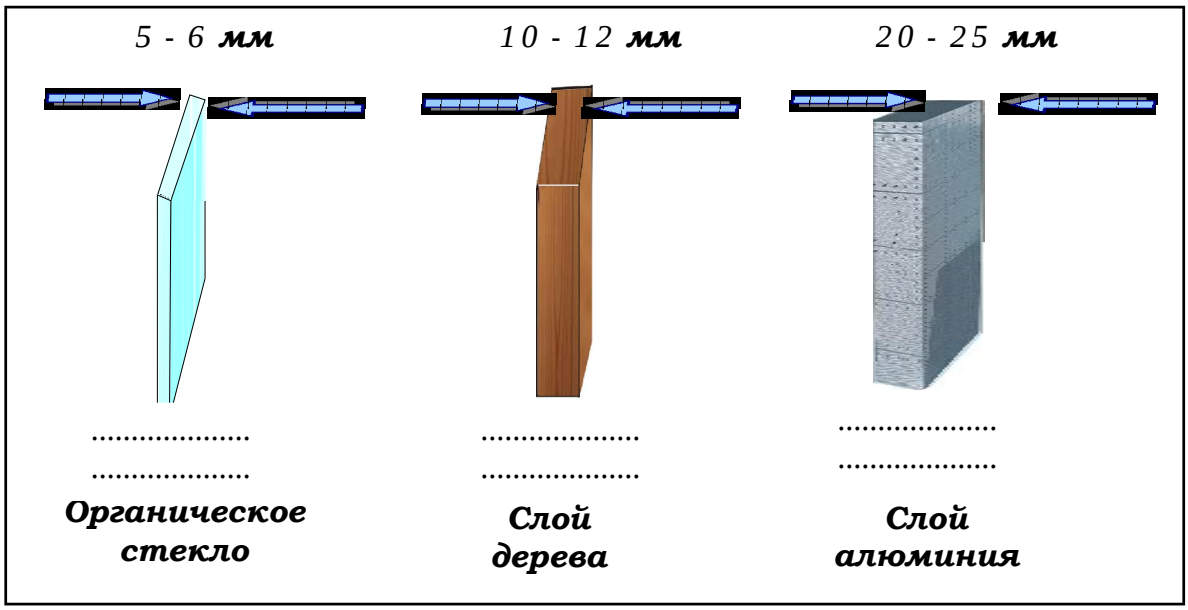
Работа с учебником

Найдите в тексте учебника информацию, задерживает ли одежда *бета*-излучение и как глубоко проникает это излучение при попадании на обнаженные участки тела.

«Если человек одет в легкую одежду, она задерживает часть *бета*-частиц. Остальные *бета*-частицы могут проникать через кожу на глубину в несколько миллиметров. При облучении обнаженных участков тела *бета*-частицы могут проникать на глубину 1 — 2 сантиметра, вызывая повреждения биологических тканей, которые, однако, менее серьезны, чем при воздействии *альфа*- излучения».

Вставьте на рисунке пропущенные слова.

***Бета*-излучение задерживают:**



Учитель

И *бета*-, и *альфа*-излучение относятся к корпускулярным видам излучений. Сравним действие этих излучений на биологические ткани.

При внешнем облучении организма *бета*- и *альфа*-излучения, в основном, поглощаются одеждой и, как правило, вносят незначительный вклад в поглощенную дозу. При попадании внутрь организма они отдают

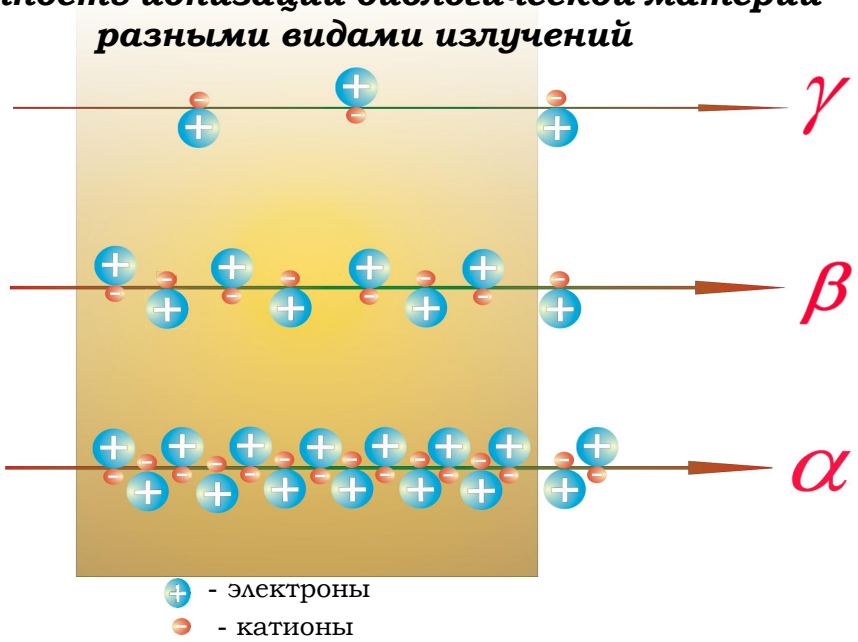
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

свою энергию в небольшом объеме биологической ткани и поэтому могут вносить более весомый вклад в величину поглощенной дозы, поскольку вся их энергия поглощается в облучаемом органе или ткани. Поглощенная энергия и того, и другого излучения расходуется на ионизацию и возбуждение атомов и молекул, что может приводить к повреждению клеток. Часть этих повреждений организм может устранить самостоятельно.

В силу своих физических особенностей (значительная масса и заряд частиц) *альфа*-излучение способно вызывать более серьезные повреждения в биологических тканях, чем *бета*-излучение.

На следующем рисунке можно увидеть, что при прохождении излучений через биологическую материю на участках одинаковой длины по пути своего движения *бета*-излучение вызывает образование меньшего числа пар ионов (катионов и анионов), чем *альфа*-излучение.

Плотность ионизации биологической материи разными видами излучений



VI. **Лабораторная работа** (выбрать из работ, представленных в разделе 14).

VII. **Задание на дом**: изучить § 5. Выполнить задание в тетради на печатной основе:

Завершить предложения:

а) *Бета*-излучение — это ….

б) *Бета*-излучение обладает более высокой проникающей способностью по сравнению с….

в) *Большая часть бета*-излучения задерживается верхней ….

г) Стохастические эффекты проявляются в виде …

д) Стохастические эффекты характерны для поглощенных доз облучения …

е) Детерминированные эффекты характерны для … … … и, как правило, проявляются непосредственно или в короткие сроки после…

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Урок 6. Основные виды ионизирующего излучения.

Гамма-излучение и его свойства.

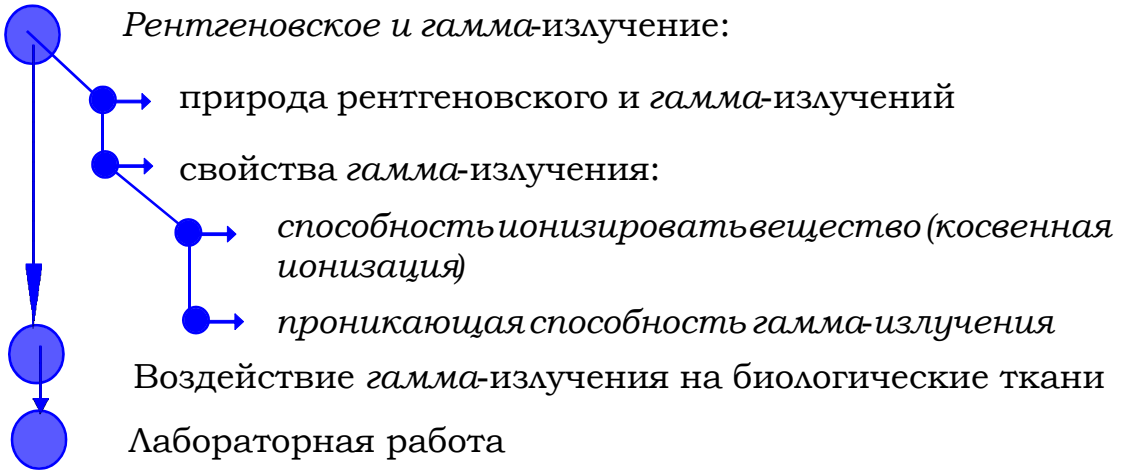
Задачи: расширить знания учащихся об основных видах ионизирующего излучения, которое сопровождает процессы ядерного распада; познакомить со свойствами *гамма*-излучения, его действием на живые организмы; развивать логическую память, умение работать с источниками информации.

Оборудование : Периодическая система химических элементов Д.И.Менделеева; плакаты « Основные виды ионизирующего излучения», «Положение рентгеновских и *гамма*- лучей в спектре электромагнитного излучения».

Ход урока

I. **Организационный момент**

II. **Опорные точки урока**



III. **Постановка учебной задачи**. Сегодня нам предстоит вспомнить об ионизирующих изучениях, и расширить знания о них, изучив свойства и природу *гамма*-излучения.

IV. **Актуализация опорных знаний**

- **Вспомните, к какой группе излучений относятся *альфа*- и *бета*-излучения**?

  Примерный ответ. Альфа- и бета-излучения относятся к корпускулярным излучениям.

- **А к какой группе излучений относится *гамма*-излучение**?

Примерный ответ. Гамма-излучение относится к электромагнитным излучениям.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

● **Чем корпускулярное излучение отличается от электромагнитного излучения**?

Примерный ответ. Корпускулярное излучение представляет собой поток быстродвижущихся частиц, а электромагнитное излучение — это электромагнитные волны.

V. **Изучение нового материала**

▶ **Объяснение учителя**

Гамма-излучение (g) и рентгеновское излучение представляют собой коротковолновое электромагнитное излучение (гамма-кванты, или фотоны высоких энергий) и относятся к электромагнитным (фотонным) излучениям.

Гамма-излучение — это электромагнитное излучение с длиной волны менее 0,2 нм или $2 \cdot 10^{-10}$ м (1 нм = $1 \cdot 10^{-9}$ м = 0,000000001 м)

Рентгеновское излучение — это электромагнитное излучение с длиной волны ($10^{-8} - 10^{-12}$) м.

Как видно из положения рентгеновского и *гамма*-излучений в электромагнитном спектре (см. Приложение III), *гамма*-излучение распространяется дальше в коротковолновую область.

Энергия кванта (фотона) электромагнитного излучения (***E***):

$$\mathbf{E} = h / l,$$

где h — постоянная Планка, которая равна $6{,}6262 \cdot 10^{-34}$ Дж/с;

l — длина электромагнитной волны, м.

Зная длину волны электромагнитного излучения, можно определить энергию фотонов электромагнитного излучения.

С рентгеновскими лучами знаком каждый, кто проходил медицинское обследование. Рентгеновское излучение характеризуется малыми длинами электромагнитных волн и высокими энергиями фотонов.

Гамма-лучи, как и рентгеновские, не несут электрического заряда и распространяются в вакууме со скоростью примерно *300 000 км/с*.

● **Вспомните, как получают рентгеновское излучение**?

Примерный ответ: Рентгеновское излучение можно получать искусственно в рентгеновской трубке.

Учитель

Рентгеновское и гамма-излучения имеют одинаковую природу — представляют собой электромагнитные волны, но отличаются по способу получения.

Гамма-излучение часто сопровождает ядерные превращения. Например, *гамма*-излучение сопровождает радиоактивный распад изотопа ^{137}Cs. Распад некоторых радионуклидов (в частности, того же ^{137}Cs) сопровождается также и рентгеновским излучением. При этом *гамма*-кванты

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

испускаются при переходе ядра из возбужденного состояния (состояния с большей энергией) в основное состояние (состояние с меньшей энергией), а рентгеновскоеизлучение — при переходеэлектроноватомов из состояния с большей энергией в состояние с меньшей энергией. Энергия квантов *гамма*-излучения, сопровождающих распад радионуклидов, обычно выше, чем энергия квантов рентгеновского излучения.

Рентгеновское излучение можно получить и без ядерных превращений в рентгеновской трубке при торможении заряженных частиц в электрическом поле.

● **Может ли *гамма*-излучение ионизировать вещество**?

▶ **Объяснение учителя**

Оказывается, не только *альфа*- и *бета*-, но и *гамма*-излучение также ионизирует вещество. При прохождении через вещество *гамма*-кванты могут передавать свою энергию электронам атомов. В результате, некоторые электроны утрачивают связь с атомными ядрами и покидают атомы. Освободившиеся электроны обладают большой энергией и перемещаются с огромной скоростью. Именно эти электроны, в основном, и производят ионизацию вещества при прохождении через него *гамма*-излучения. Поэтому такой способ ионизации вещества называют *косвенным*.

● **Запишите в тетрадь**:

«*Гамма*-излучение обладает высокой проникающей способностью. Оно легко пронизывает биологические ткани, при этом частично теряя свою энергию. Из-за высокой проникающей способности защититься от *гамма*-излучения можно лишь толстым слоем свинца или бетона. Слой бетона толщиной 1 м полностью задерживает *гамма*-излучение любой интенсивности».

▶ **Работа с учебником. Найдите в учебнике информацию о том, как действует *гамма*-излучение на биологические ткани**?

«Рассмотрим в самых общих чертах особенности действия *гамма*-излучения на биологические ткани.

Гамма-кванты, обладают большой проникающей способностью и передают свою энергию облучаемому веществу небольшими порциями. Поглощенная энергия расходуется на ионизацию и возбуждение атомов и молекул, что может приводить к повреждению клеток. Часть этих повреждений организм может устранить самостоятельно.

Основную опасность *гамма*-излучение представляет при внешнем облучении организма. *Гамма*-излучение радионуклидов, попавших внутрь организма, как правило, вызывает значительно меньше повреждений, чем *альфа*-излучение. *Гамма*-кванты повреждают лишь отдельные молекулы в клетках и при небольших поглощенных дозах возникающие нарушения не приводят к гибели клеток».

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Запишите в тетрадь вывод:

«Проникающая способность ионизирующего излучения и его воздействие на организм зависит от вида излучения».

VI. **Лабораторная работа** (по усмотрению учителя выбирается из раздела 14).

VII. **Задание на дом**: изучить § 6 и содержание таблицы «Характеристики основных видов ионизирующего излучения»

Урок 7. Внешнее и внутреннее облучение человека. Эквивалентная и эффективная дозы облучения

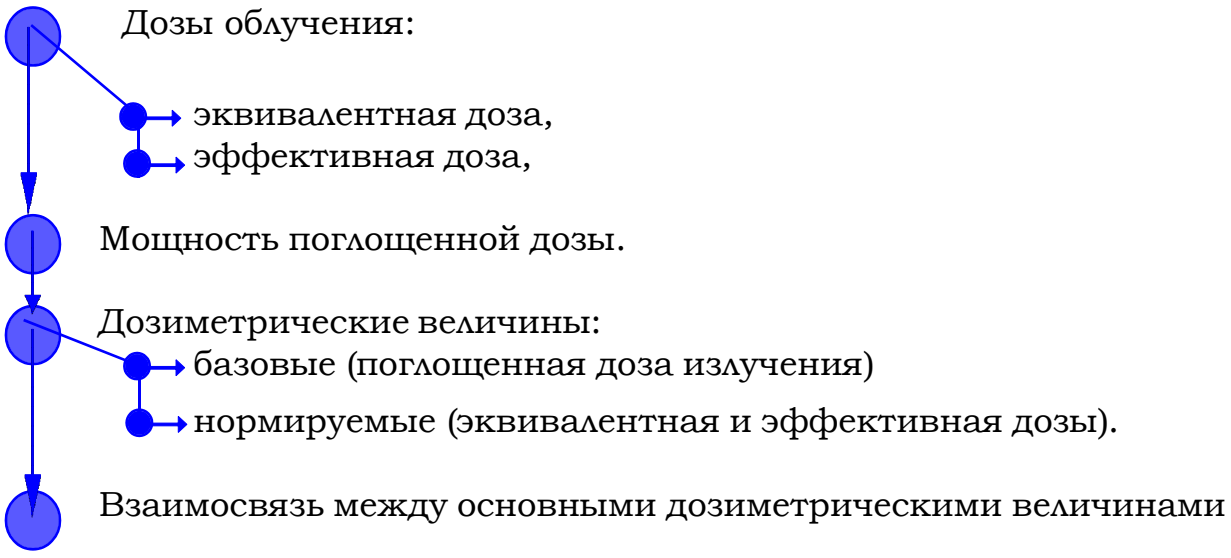
Задачи: продолжить формирование знаний о дозах облучения человека, познакомив с такими дозиметрическими величинами как эквивалентная и эффективная дозы облучения, показать взаимосвязь между основными дозиметрическими величинами; развивать навыки работы с учебной литературой, умение выбирать главное в тексте.

Оборудование: таблица «Дозиметрические величины».

Ход урока

I. **Организационный момент**

II. **Опорные точки урока**



III. **Постановка учебной задачи**

Сегодня нам предстоит вспомнить об ионизирующих изучениях и расширить свои знания о них, познакомиться с такими дозиметрическими величинами, как эквивалентная и эффективная дозы облучения, усвоить, что такое весовые множители излучения и тканевые весовые множители.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

IV. **Изучение нового материала**

▶ **Вступительное слово учителя**

Количество энергии ионизирующего излучения, поглощенной объектом, является важнейшей физической величиной, которая определяет степень воздействия излучения на объект.

● **Вспомните, что такое поглощенная доза излучения и в каких единицах она выражается.**

Примерный ответ:

Поглощенная доза излучения (D) — это энергия ионизирующего излучения, которая поглощается облучаемым объектом в расчете на единицу массы вещества, из которого состоит объект.

В международной системе единиц СИ поглощенная доза измеряется в Джоулях на килограмм (Дж/кг). Эта единица получила название Грей (Гр). 1 ***Грей*** *— это поглощенная доза любого ионизирующего излучения, которая соответствует поглощению 1 Дж энергии излучения в 1 кг облучаемого вещества.*

Иногда в литературе встречается величина поглощенной дозы, выраженная в радах. Это устаревшая единица измерения, которая выходит из употребления.

$$1 \text{ рад} = 0{,}01 \text{ Гр}$$

▶ **Объяснение учителя**

Напомню, что величина поглощенной дозы зависит от продолжительности облучения. С течением времени при облучении объекта поглощенная доза накапливается. Скорость такого накопления называют ***мощностью поглощенной дозы*** (***МД***).

$$\textbf{МД} = \Delta D \ / \ \Delta t,$$

где ΔD — изменение поглощенной дозы за промежуток времени Δt.

Обычно мощность поглощенной дозы измеряют в *миллигреях в час (мГр/час)* и *микрогреях в час (мкГр/час)*.

Рассмотрим основные дозиметрические величины. Некоторые из них используются для нормирования облучения.

Нормировать — значит устанавливать определенные пределы облучения людей. Нормирование является основой для разработки мер, ограничивающих негативные последствия облучения людей.

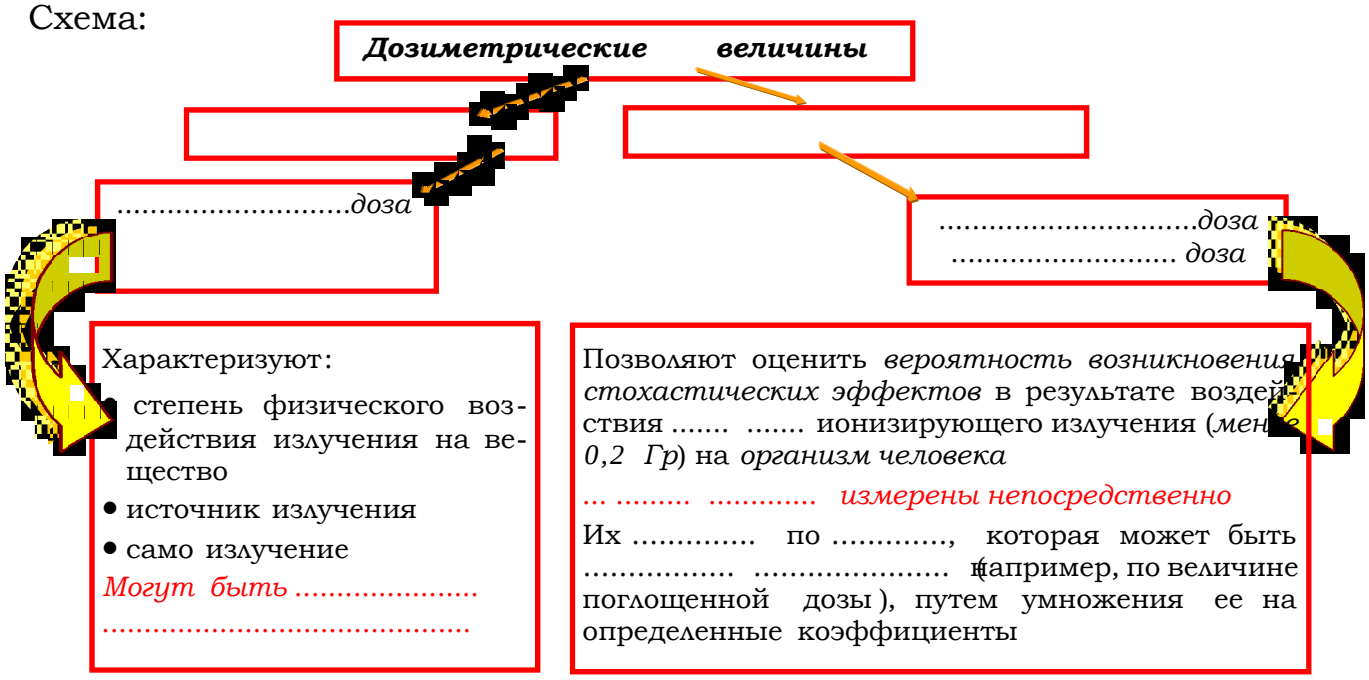
Величины, характеризующие степень облучения объектов и позволяющие связывать степень облучения с последствиями облучения, называют ***дозиметрическими величинами****.*

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Работа с текстом учебника

Найдите в учебном пособии информацию о том, на какие группы делят дозиметрических величин. Заполните пробелы в схеме, приведенной в тетради на печатной основе, а также в тексте, характеризующем базовые и нормируемые дозиметрические величины. Вставьте пропущенные слова (в тексте они выделены курсивом).

Схема:



Текст учебного пособия:

«Различают *базовые* и *нормируемые* дозиметрические величины. В группу *базовых* дозиметрических величин входят физические величины, которые могут быть *измерены непосредственно*. Основной *базовой* величиной является *поглощенная доза*.

Нормируемые величины связывают поглощенную дозу с медико-биологическими последствиями облучения организма человека *малыми и средними дозами* ионизирующего излучения. Они *не могут быть* измерены непосредственно. Важнейшие нормируемые величины — *эквивалентная и эффективная* дозы. Их *оценивают* по *величине*, которая может быть *непосредственно измерена* (например, по *величине поглощенной дозы*), путем умножения ее на определенные коэффициенты».

Объяснение учителя

При одинаковой поглощенной дозе различные виды излучения могут вызывать *неодинаковые биологические эффекты*.

Работа с текстом учебника. Найдите в тексте учебника описание особенностей действия различных ионизирующих излучений на биологические объекты.

Текст:

«Рассмотрим в самых общих чертах особенности действия ионизирующего излучения на биологические объекты.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Гамма-излучение обладает большой проникающей способностью, передает свою энергию облучаемому веществу небольшими порциями (квантами). Поглощенная энергия расходуется на ионизацию и возбуждение атомов и молекул, что может приводить к повреждению клеток. Часть этих повреждений организм может устранить самостоятельно.

Подобное воздействие оказывают и ***бета-частицы***. Однако *бета*-частицы обладают значительно меньшим пробегом в веществе, чем *гамма*-кванты. При внешнем облучении организма *бета*-излучение, в основном, поглощается одеждой и, как правило, вносит незначительный вклад в поглощенную дозу. При внутреннем облучении *бета*-излучение может играть более весомую роль, поскольку вся его энергия поглощается в облучаемом органе или ткани.

Пробег ***альфа*-частиц** в веществе еще меньше, чем *бета*-частиц. При внешнем облучении организма *альфа*-частицы практически полностью поглощаются одеждой и не влияют на величину поглощенной дозы. При попадании внутрь организма они отдают свою энергию в небольшом объеме биологической ткани. В силу своих физических особенностей (значительная масса и заряд частиц) *альфа*-излучение способно вызывать более серьезные повреждения в биологических тканях, чем *бета*- и *гамма*-излучения».

- **Почему при внешнем облучении *бета*- и *альфа*-излучения вносят незначительный вклад в поглощенную дозу**?

- **Какое из ионизирующих излучений (*альфа*-, *бета*- или *гамма*-) при внутреннем облучении организма человека способно вызывать более серьезные повреждения в биологических тканях**?

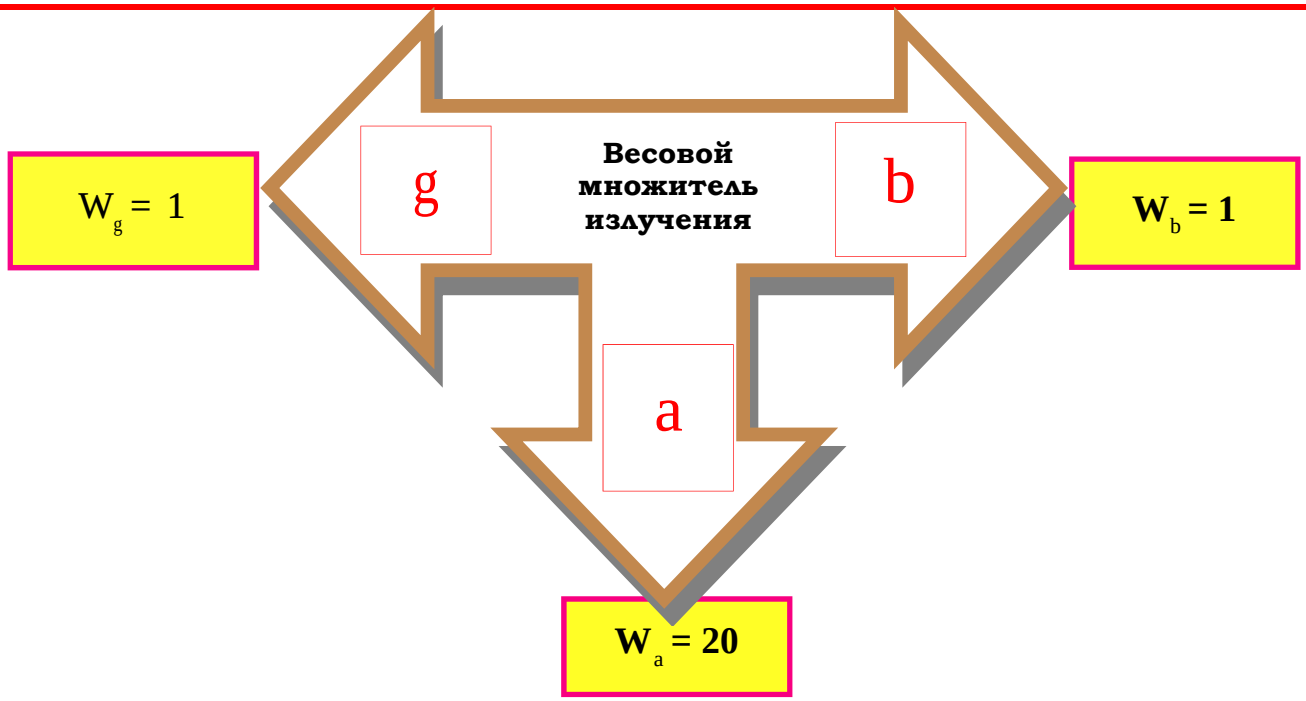
▶ **Объяснение учителя**

Совсем непросто количественно оценивать и сравнивать действие разных ионизирующих излучений на организм человека. Разные виды излучений вызывают неодинаковые повреждения в организме. К тому же, характер нарушений зависит от типа облучаемого органа или биологической ткани. Значительно проще рассматривать облучение определенного органа или биологической ткани конкретным видом излучения.

Биологические последствия от действия различных видов ионизирующего излучения на определенный орган (или ткань) учитывают с помощью ***весовых множителей излучения*** *(W_R).*

Каждому виду излучения приписывают определенный *весовой множитель*. Множители для *гамма*-, *бета*- и *альфа*-излучений обозначают соответственно W_g, W_b, W_a. Чем больше нарушений вызывает излучение в органе или биологической ткани, тем больше его весовой множитель.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



Весовой множитель *гамма*-излучения условно принят за 1. Весовой множитель *бета*-излучения такой же, как у *гамма*-излучения, т. е. также равен 1. Весовой множитель *альфа*-излучения в 20 раз выше и равен 20. Это означает, что при одинаковой поглощенной дозе в определенном органе или ткани *гамма*-кванты вызывают примерно такие же радиационные эффекты, как и *бета*-частицы. Радиационное поражение, вызываемое *альфа*-частицами, приблизительно в 20 раз сильнее, чем поражение, вызываемое *гамма*- или *бета*-излучением.

Если мы умножим величину поглощенной дозы в органе или ткани на весовой множитель данного вида ионизирующего излучения, то получим ***эквивалентную дозу*** облучения рассматриваемого органа или биологической ткани (***H***):

$$\mathbf{H} = D \cdot W_R,$$

где D — *поглощенная доза* излучения *R* типа в органе или биологической ткани человека;

W_R — весовой множитель излучения.

При одинаковой поглощенной дозе, благодаря более высокому весовому множителю, эквивалентная доза от *альфа*-излучения в 20 раз превышает эквивалентную дозу как от *гамма*-, так и от *бета*-излучения.

Весовые множители излучения не имеют размерности и, чтобы различать эквивалентную и поглощенную дозы, их выражают в различных единицах. В системе СИ единицей измерения эквивалентной дозы является *Зиверт* (*Зв*), по имени шведского ученого Рольфа Зиверта.

1 Зиверт соответствует поглощенной дозе величиной в *1 Грей* для ионизирующего излучения, весовой множитель которого равен единице. Это означает, что, если *поглощенная доза гамма*- или *бета*-излучения в

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

каком-то органе или ткани составляет *1 Грей*, то *эквивалентная доза*, полученная этим органом, равна *1 Зиверту*. Но если поглощенная доза *альфа-* излучения составит 1 Грей, то эквивалентная доза, полученная этим органом, будет уже равна 20 *Зивертам*.

1 Зиверт, как и *1 Грей*, соответствует очень большой дозе, поэтому на практике для измерения доз облучения, получаемых людьми, чаще используют производные Зиверта: *миллизиверт* (*мЗв*) и *микрозиверт* (*мкЗв*). Внесистемная (устаревшая) единица измерения эквивалентной дозы — *биологический эквивалент рада (бэр)*.

1 бэр = 0,01 Зв

Если на орган или ткань одновременно действуют различные виды излучения — *альфа- (a)*, *бета- (b)* и *гамма- (g)*, при определении суммарной эквивалентной дозы облучения (***H***) оценивают эквивалентные дозы от каждого вида излучения и полученные дозы суммируют:

$$\mathbf{H} = D\alpha \cdot W\alpha + D\beta \cdot W\beta + D\gamma \cdot W\gamma$$

Пример. Определим эквивалентную дозу облучения органа, если на него одновременно действуют излучения различного типа (*альфа-*, *бета-* и *гамма-)* и при этом поглощенная доза от *гамма*-излучения составляет 0,05 Гр, от *бета*-излучения — 0,05 Гр, а от *альфа*-излучения — 0,01 Гр.

Оценим эквивалентные дозы от каждого вида излучения.

Эквивалентная доза от *гамма*-излучения ($\mathbf{H}\gamma$) равна произведению поглощенной дозы *гамма*-излучения ($D\gamma$), равной 0,05 Гр, на весовой множитель *гамма*-излучения, равный 1:

$\mathbf{H}\gamma = D\gamma \cdot W\gamma = 0{,}05$ Гр $\cdot\ 1 = 0{,}05$ Зв

Эквивалентная доза от *бета*-излучения ($\mathbf{H}\beta$) равна произведению поглощенной дозы *бета*-излучения ($D\beta$), равной 0,05 Гр, на весовой множитель *бета*-излучения, равный 1, как и в случае *гамма*-излучения:

$\mathbf{H}\beta = D\beta \cdot W\beta = 0{,}05$ Гр $\cdot\ 1 = 0{,}05$ Зв

Эквивалентная доза от *альфа*-излучения ($\mathbf{H}\alpha$) равна произведению поглощенной дозы *альфа*-излучения ($D\alpha$), равной 0,01 Гр, на весовой множитель *альфа*-излучения, равный 20:

$\mathbf{H}\alpha = D\alpha \cdot W\alpha = 0{,}01$ Гр $\cdot\ 20 = 0{,}2$ Зв

Суммарная эквивалентная доза облучения органа равна сумме эквивалентных доз от каждого вида излучения:

$\mathbf{H} = \mathbf{H}\gamma + \mathbf{H}\beta + \mathbf{H}\gamma = 0{,}05$ Зв $+ 0{,}05$ Зв $+ 0{,}2$ Зв $= 0{,}3$ Зв

Величина эквивалентной дозы позволяет характеризовать действие излучения на конкретный орган или ткань без указания типа излучения, поскольку радиационные эффекты от разных видов излучения уже учтены с помощью весовых множителей излучения (W_R).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Эффективная доза облучения человека, тканевые весовые множители

Разные органы и ткани человека обладают неодинаковой чувствительностьюк облучениюи в различнойстепенипоражаютсяионизирующим излучением. Поэтому последствияоблучениязависятне только от величины эквивалентнойдозы, но и от типа органа или биологическойткани, которые подверглись воздействию излучения.

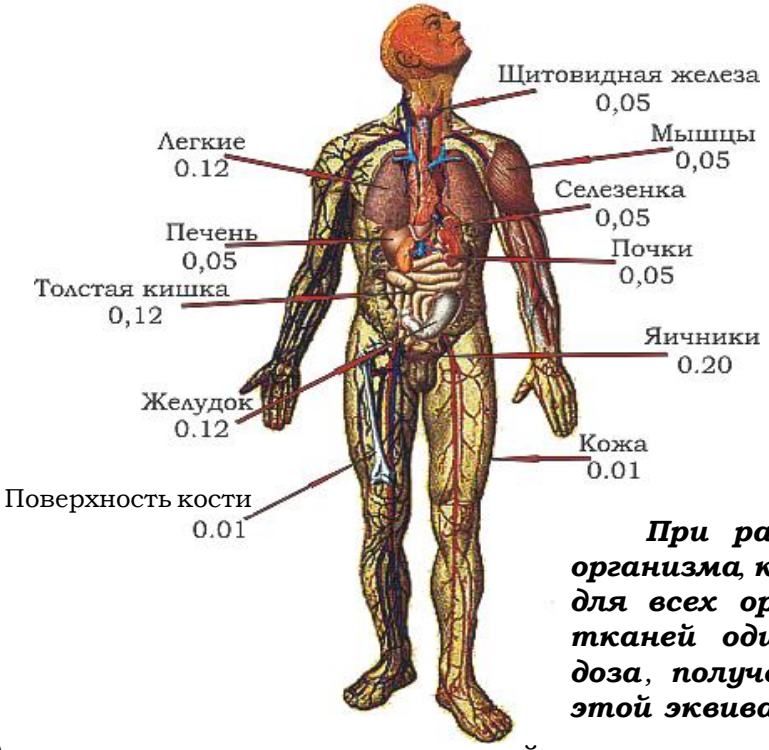
Относительную чувствительность органов или тканей к воздействию ионизирующего излучения учитывают с помощью ***тканевых весовых множителей*** W_T.

Эффективная доза облучения (***E***) — *это сумма эквивалентных доз облучения отдельных органов (или тканей), умноженных на соответствующие тканевые весовые множители.*

$$E = H_{T1} \cdot W_{T1} + H_{T2} \cdot W_{T2} + H_{T3} \cdot W_{T3} + \ldots,$$

где H_{T1}, H_{T2} и т. д. — эквивалентные дозы в органах или биологических тканях человека, обозначенных индексами Т1, Т2 и т. д.; W_{T1}, W_{T2}, и т. д. — тканевые весовые множители соответствующих органов или биологических тканей.

Человек и тканевые весовые множители (W_T)



При равномерном облучении организма, когда эквивалентная доза для всех органов и биологических тканей одинакова, эффективная доза, полученная человеком, равна этой эквивалентной дозе.

Сумма тканевых весовых множителей при равномерном облучении организма человека равна *1,00*

Поскольку тканевые весовые множители являются безразмерными величинами, эффективная доза, как и эквивалентная, измеряется в *Зивертах* (*Зв*) (иногда в *бэрах*).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Пример. Рассмотрим, чему равна эффективная доза, полученная организмом человека, если облучению подвергается только один орган — легкие с эквивалентной дозой (***H***) 30 мЗв. На рисунке «Человек и тканевые весовые множители» находим величину тканевого весового множителя для легких ($W_л$). Он равен *0,12*.

Поскольку облучению подвергался только один орган, эффективная доза (***E***), полученная организмом человека равна:

$$E = W_л \cdot H = 0,12 \cdot 30 \text{ мЗв} = 3,6 \text{ мЗв}$$

Следовательно, эффективная доза, полученная организмом человека в результате облучения только одного органа — легких, составляет 3,6 мЗв.

Эффективная доза наиболее полно характеризует последствия облучения организма человека. Она позволяет оценить суммарный биологический эффект от воздействия ионизирующего излучения *на организм человека в целом*.

Выводы:

Эффективная и *эквивалентная* дозы характеризуют отдаленные последствия облучения организма человека: эффективная — для организма в целом, эквивалентная — для отдельных органов или тканей. Поэтому эти дозы используют для установления предельно допустимых уровней облучения людей, т. е. для нормирования облучения.

Поглощенная доза учитывает

- количество энергии ионизирующего излучения, поглощенной любым облучаемым объектом,

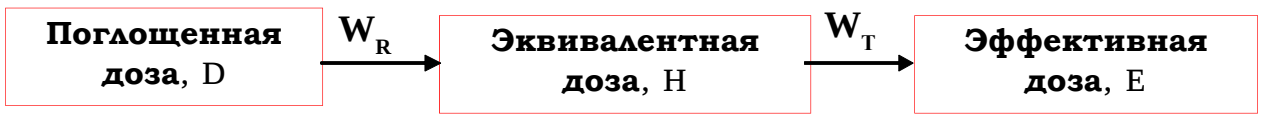
эквивалентная доза —

- количество энергии, поглощенной органом или биологической тканью человека,
- тип ионизирующего излучения;

эффективная доза —

- количество энергии, поглощенной организмом человека в целом,
- тип излучения,
- относительную чувствительность органов и тканей человека к воздействию ионизирующего излучения.

Взаимосвязь между основными дозиметрическими величинами



W_R — весовой множитель излучения *R* типа,
W_T — тканевый весовой множитель.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

V. **Закрепление изученного материала**

Решение задач на определение:

а) мощности поглощенной дозы,

б) эквивалентных доз облучения,

в) эффективной дозы облучения.

VI. **Задание на дом**. Изучить § 7. Выполнить задание в тетради на печатной основе:

1. Найдите правильные утверждения и подчеркните их:
   - *эффективная* доза характеризует отдаленные последствия облучения для организма в целом;
   - *эквивалентная* доза характеризует отдаленные последствия облучения для организма в целом;
   - величина *поглощенной* дозы не зависит от вида излучения и облучаемого органа или ткани;
   - *эквивалентная* доза не зависит от вида излучения, однако зависит от облучаемого органа или биологической ткани.

Урок 8. Итоговая контрольная работа

Вариант I

1. Найдите неверное утверждение и обведите букву, которой оно обозначено:

   а) при получении рентгеновского излучения в рентгеновской трубке рентгеновское излучение можно остановить, так как рентгеновская трубка работает на электрической энергии и при отключении от электрической сети она прекращает работать и испускать рентгеновское излучение;

   б) рентгеновское, как и *гамма*-излучение, испускаемые при распаде радионуклидов, можно остановить еще до полного распада радионуклидов;

   в) корпускулярное излучение представляет собой поток быстро движущихся частиц;

   г) при прохождении *гамма*-квантов через вещество ионизацию его атомов и молекул, в основном, производят свободные быстродвижущиеся электроны. Это бывшие орбитальные электроны атомов, которым *гамма*-кванты передали часть своей энергии;

2. Дайте определение следующим терминам и понятиям:

   Удельная активность вещества,

   Радиоактивное семейство,

   Плотность радиоактивного загрязнения территории.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

3. Опишите процесс ионизации вещества при прохождении через него *альфа*-излучения.

4. Найдите рациональный способ защиты от ионизирующего излучения, если вам не известна его природа. Ответ обоснуйте.

5. **Задача**. Рассчитайте удельную активность радиоактивного вещества, если активность ^{137}Cs в образце массой 50 г составляет 2 200 Бк. Как изменится удельная активность образца через 60 лет, если период полураспада радиоизотопа ($T_{1/2}$) _ примерно 30 лет?

6. **Задача**. Определить эффективную дозу облучения человека, если облучению подвергается только щитовидная железа с эквивалентной дозой 46 мЗв.

Вариант II

1. Найдите верные утверждения и обведите буквы, которыми они обозначены:

   а) каждая *альфа*-частица состоит из двух протонов и двух нейтронов, которые прочно связаны между собой;

   б) *альфа*-, *бета*- и *гамма*-излучения относятся к корпускулярным излучениям;

   в) *гамма*-излучение часто сопровождает ядерные превращения;

   г) *бета*-излучение обладает более высокой проникающей способностью по сравнению с *альфа* - излучением.

2. Дайте определение следующим терминам и понятиям:

   активность радионуклидов в веществе,

   искусственная радиоактивность,

   период полураспада радиоизотопа.

3. Опишите процесс ионизации вещества при прохождении через него *гамма*-излучения.

4 Какое из излучений *бета*- или *альфа*- обладает более высокой проникающей способностью в одном и том же веществе? Почему?

5. **Задача**. Рассчитайте активность ^{90}Sr, содержащегося в 70 г радиоактивного вещества, если удельная активность вещества составляет 210 Бк/кг. Какой станет активность образца через 57 лет? Период полураспада ^{90}Sr ($T_{1/2}$) — 28,5 лет.

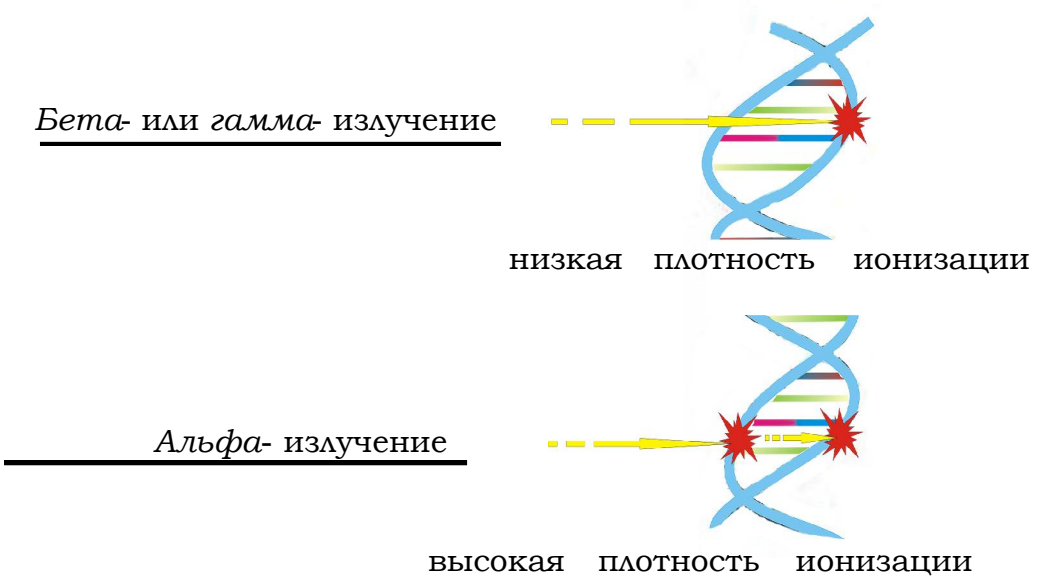
6. **Задача**. Определить эквивалентную дозу облучения органа, который подвергался воздействию *альфа*- и *гамма*- излучений с поглощенной дозой 0,2 Гр.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Приложение V
Дополнительный материал и иллюстрации к разделу 13.4

ВОСЬМОЙ КЛАСС

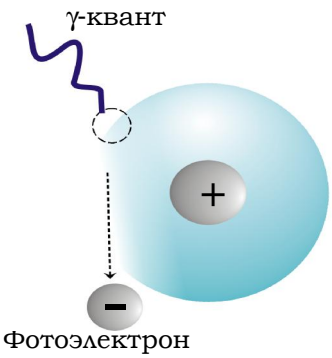
Различие между повреждениями ДНК при воздействии *бета-* (или *гамма*) и *альфа-* излучений



Ионизация вещества под действием *гамма*-излучения

При прохождении через вещество *гамма*-кванты могут передавать свою энергию электронам атомов.

Фотоэффект

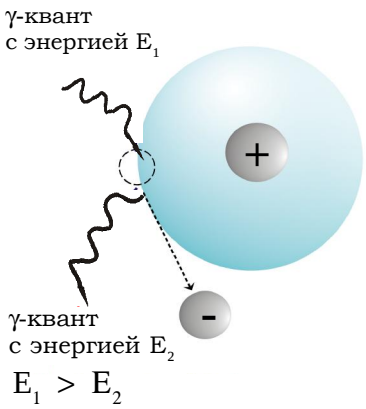


Если энергия электрона после взаимодействия с *гамма*-квантом превышает энергию его связи с ядром, то электрон, получив дополнительную энергию, покидает атом. Образовавшиеся таким способом свободные электроны называют *фотоэлектронами*

Появление в веществе фотоэлектронов под действием гамма-излучения называют фотоэффектом.

Фотоэффект наблюдается при энергиях *гамма*-квантов от *0,01* до *1 МэВ*.

Комптоновский эффект



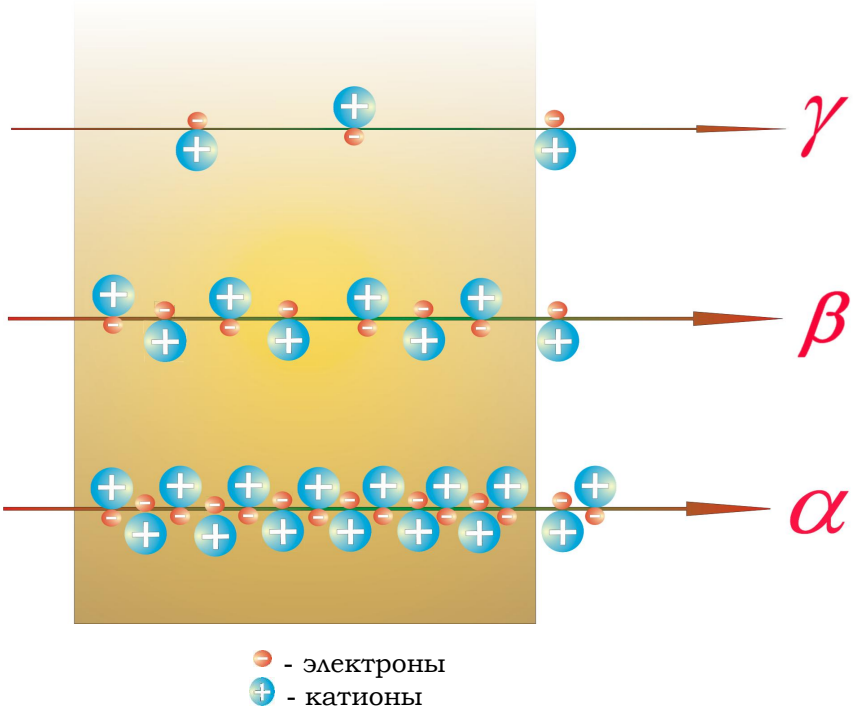
Если энергия *гамма*-квантов находится в области от *0,1* до *0,2 МэВ*, начинает преобладать , так называемый , ***комптоновский эффект***, названный по имени открывшего его американского физика А. Комптона. В этом случае *гамма*-квант отдает орбитальному электрону атома лишь часть своей кинетической энергии. В результате, электрон покидает атом, а сам *гамма*-квант после взаимодействия с орбитальным электроном, потеряв часть энергии, меняет направление своего движения.

Именно фотоэлектроны и комптоновские электроны осуществляют , в основном , ионизацию вещества при прохождении через него *гамма*-излучения. Такая ионизация вещества называется *косвенной*.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Дополнительный материал

Плотность ионизации биологической материи при прохождении ионизирующих излучений через участок хромосомы



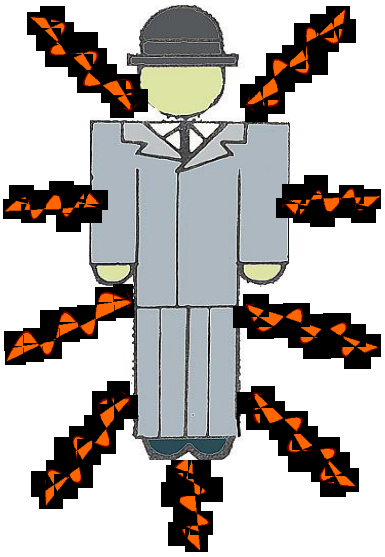
Рассмотрим в самых общих чертах особенности действия ионизирующего излучения на биологические объекты. ***Гамма-кванты***, обладающие большой проникающей способностью, передают свою энергию облучаемому веществу небольшими порциями. Поглощенная энергия расходуется на ионизацию и возбуждение атомов и молекул, что может приводить к повреждению клеток. *Часть этих повреждений организм может устранить самостоятельно.*

Подобное воздействие оказывают и ***бета-частицы***. Однако *бета*-частицы обладают значительно меньшим пробегом в веществе, чем *гамма*-кванты. При внешнем облучении организма *бета*-излучение, в основном, поглощается одеждой и, как правило, вносит незначительный вклад в поглощенную дозу. При внутреннем облучении *бета*-излучение может играть более весомую роль, поскольку вся его энергия поглощается в облучаемом органе или ткани.

Пробег ***альфа-частиц*** в веществе еще меньше, чем *бета*-частиц. При внешнем облучении организма *альфа*-частицы практически полностью поглощаются одеждой и не влияют на величену поглощенной дозы. При попадании внутрь организма они отдают свою энергию в небольшом объеме биологической ткани. В силу своих физических особенностей (значительная масса и заряд частиц), *альфа*-излучение способно вызывать более серьезные повреждения в биологических тканях, чем *бета*- и *гамма*-излучения.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

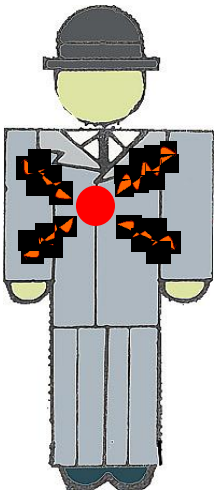
Внешнее облучение жителей Земли



Источники:

- космическое излучение
- радионуклиды земной коры
- медицинские источники
- промышленные источники

Внутреннее облучение жителей Земли



Способы поступления радионуклидов в организм человека:

- *ингаляционный* (через органы дыхания)
- *пероральный* (с пищей и водой)
- *через кожу, слизистые оболочки глаз*

За 55 лет жизни доза облучения человека в результате попадания в его организм радионуклидов естественного происхождения, в среднем, составляет 10 мЗв.

Дозиметрические величины

Базовые

Поглощенная доза
Активность
Энергия излучения

Характеризуют:

- степень физического воздействия излучения на вещество
- источник излучения
- само излучение

Могут быть измерены непосредственно

Нормируемые

Эквивалентная доза
Эффективная доза

Позволяют оценить *вероятность возникновения стохастических эффектов* в результате воздействия *малых доз* ионизирующего излучения (*менее 0,2 Гр*) на *организм человека*

Не могут быть измерены непосредственно

Их оценивают по величине, которая может быть непосредственно измерена (например, по величине поглощенной дозы), путем умножения ее на определенные коэффициенты

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



Дозиметры индивидуальные PM1621/1621A

Дозы внешнего облучения человека контролируют с помощью ***индивидуальных дозиметров***. Современные дозиметры позволяют определять эффективную дозу внешнего облучения организма человека и дают показания в *микрозивертах (мкЗв)* или *миллизивертах (мЗв)*. В приборах, с помощью которых определяется мощность дозы внешнего облучения , единицей измерения обычно служит *микрозиверт в час (мкЗв/час)*.



Радиометр РГК-АТ1320

Радиометры предназначены для определения содержания радионуклидов в образцах почвы, воды, продуктов питания и т. д. по величине измеренной активности радионуклидов в этих образцах.

Для защиты от внешнего облучения образец вместе с детектором обычно размещают в свинцовом «домике»

Счетчик излучения человека (***СИЧ***) является разновидностью радиометра и предназначен для измерения активности радиоактивного цезия (^{137}Cs), калия (^{40}K) и других *гамма-* излучающих радионуклидов в теле человека.

Счетчик *гамма*-квантов, испускаемых радионуклидами, состоит из нескольких сцинтилляционных детекторов, которые установлены в кресле или другом устройстве для размещения человека. В результате измерений определяют активность радионуклидов , содержащихся в организме человека в момент измерения (в *Беккерелях*).

По активности радионуклидов и массе тела можно оценить удельную активность тела человека в *Беккерелях на килограмм (Бк/кг)*.



Счетчик излучения человека (СИЧ)

С помощью специально разработанных компьютерных программ (с учетом массы, роста, возраста, пола) можно также рассчитать, какую *эффективную дозу* получит человек в результате внутреннего облучения за любой промежуток времени (например, за год) при зарегистрированном содержании радионуклидов в организме . В этом случае результаты обследования на установке ***СИЧ*** могут быть представлены в дозовых единицах — в *миллизивертах в год (мЗв/год)*.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Примеры пищевых цепочек, по которым радионуклиды естественного и искусственного происхождения могут поступать в организм человека:

- Ø почва → продукты растительного происхождения (хлеб, овощи, фрукты) → ***человек***
- Ø почва → растительность → молочный скот → молоко и молочные продукты → ***человек***
- Ø почва → растительность → животное → мясные продукты → ***человек***
- Ø водоем → водные организмы растительного и животного происхождения, служащие кормом для рыбы и других обитателей водоема → рыба (ракообразные и т. д.) → ***человек***

На радиоактивно загрязненной территории организм человека подвергается дополнительному облучению — внутреннему и внешнему

Дополнительное облучение человека на радиоактивно загрязненной территории

Внешнее облучение

в основном, *обусловлено гамма-излучающими радионуклидами.*

В первый период после Чернобыльской катастрофы (апрель-май 1986 года) радиационную обстановку в пострадавших районах Беларуси преимущественно определяли радионуклиды с коротким периодом полураспада, среди которых важную роль играл изотоп ^{131}I ($T_{1/2}$ = 8 дней).

В настоящее время, когда радионуклиды с периодом полураспада до 2 лет практически полностью распались, внешнее облучение населения загрязненных районов, в основном, определяет долгоживущий изотоп ^{137}Cs ($T_{1/2} \approx 30$ лет).

Внутреннее облучение

обусловлено попаданием радиоактивных веществ внутрь организма с продуктами питания и водой, а также в процессе дыхания. Излучение радионуклидов приводит к облучению внутренних органов и тканей, определяя дозу внутреннего облучения человека.

В настоящее время в районах, пострадавших от Чернобыльской катастрофы, внутреннее облучение населения, в основном, связано с загрязнением продуктов питания ^{137}Cs. В некоторых районах, где в почве присутствует изотоп ^{90}Sr, он также может попадать в организм человека и облучать его изнутри.

Основные дозиметрические величины, единицы измерения и соотношение между ними

Величина, обозначение	*Единица измерения*		
	СИ	*традиционная*	*соотношение*
Активность, **A**	Бк	Ки	1 Ки = $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Бк
Энергия излучения, E_R	Дж	эВ	1 эВ = $1{,}602 \cdot 10^{-19}$ Дж
Поглощенная доза, D (для любого облучаемого объекта)	Гр	Рад	1 рад = $1 \cdot 10^{-2}$ Гр
Эквивалентная доза, **H** (для органа или биологической ткани человека)	Зв	бэр	1 бэр = 10^{-2} Зв
Эффективная доза, **E** (для организма человека в целом)	Зв	отсутствует	

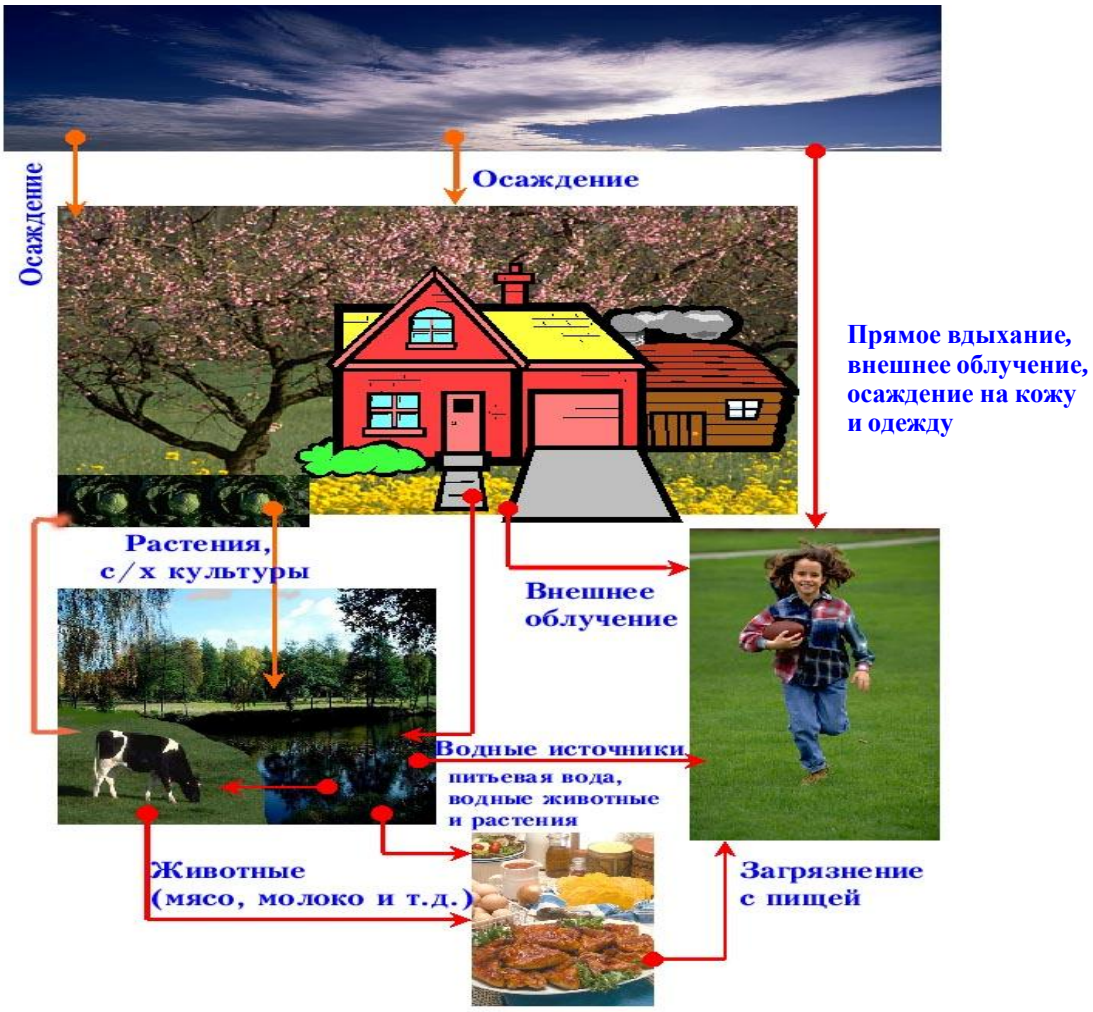
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Чтобы оценить дозы, получаемые человеком от каких-либо радионуклидов, необходимо учесть тот сложный путь, который проходят радионуклиды в окружающей среде. Возможные способы перераспределения радионуклидов в природе и пути их проникновения в организм человека в самом общем виде показаны на рисунке.

Безусловно, эта схема далеко не полностью отражает сложные процессы *миграции* радионуклидов в природе. Под миграцией обычно понимают не только процессы *перераспределения* радионуклидов между компонентами окружающей среды, но и их *химическое преобразование*, т. е. переход из состава одних химических соединений в состав других химических соединений.

Реальная картина перераспределения радионуклидов в окружающей среде гораздо сложнее.

На схеме показаны компоненты среды, играющие наиболее важную роль в поступлении радионуклидов в организм человека.

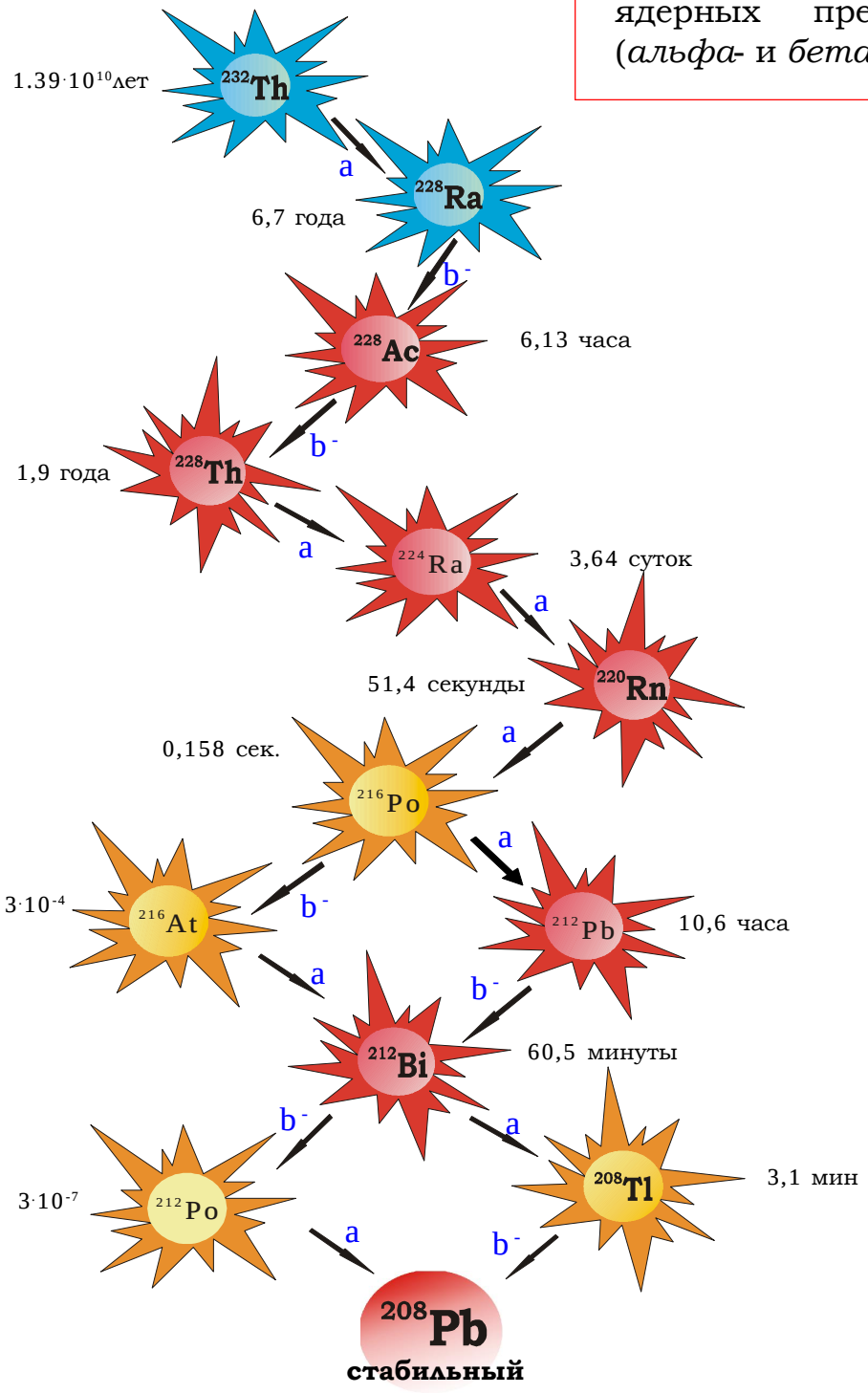


Используя эту схему, можно оценить дополнительные дозы облучения населения от радионуклидов, попавших в окружающую среду в результате радиационной аварии. Для этого необходимо знать, какая доля радионуклидов, содержащихся в том или ином природном компоненте, может включаться в последующие преобразования и, в конечном счете, поступать в организм человека.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

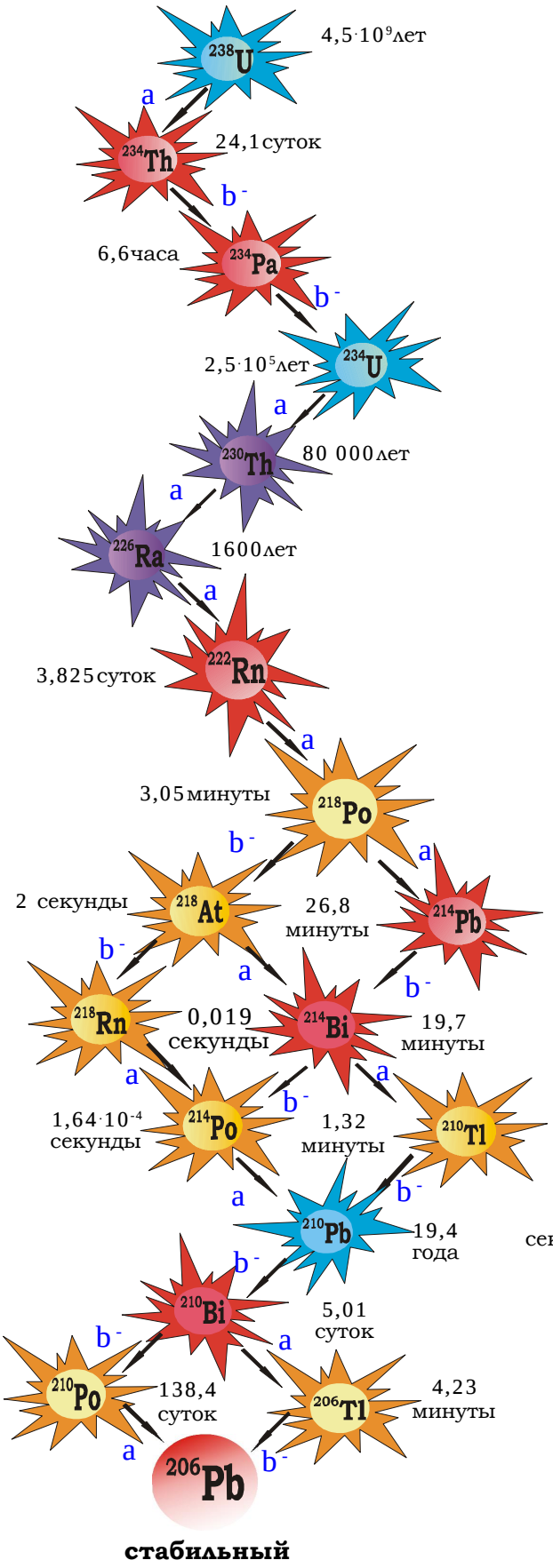
Радиоактивное семейство ^{232}Th

Природноерадиоактивное семейство — это группа радионуклидов, объединенных цепочкой последовательных самопроизвольных ядерных превращений (*альфа-* и *бета* - распадов).

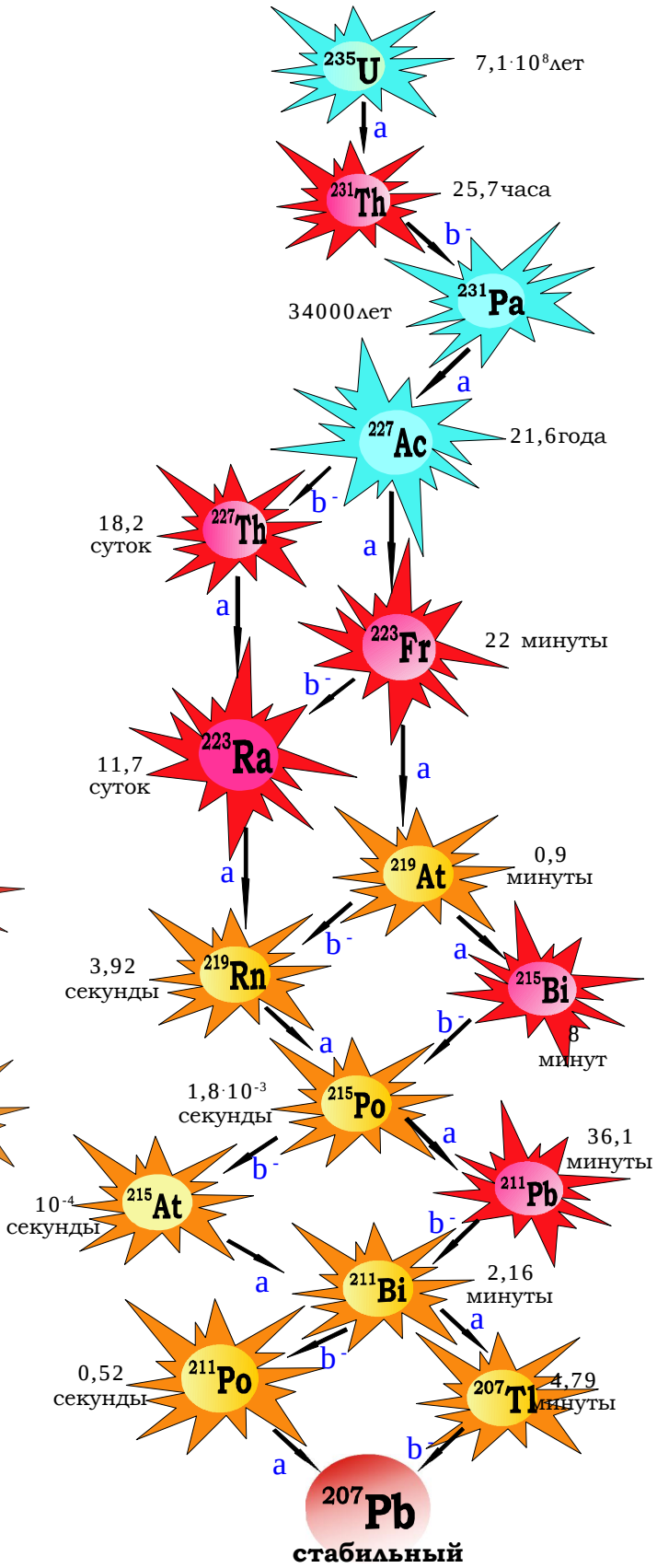


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Радиоактивное семейство ^{238}U



Радиоактивное семейство ^{235}U



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

13.5 *Девятый класс*

Урок 1. Действие ионизирующего излучения на биологические молекулы и клетки

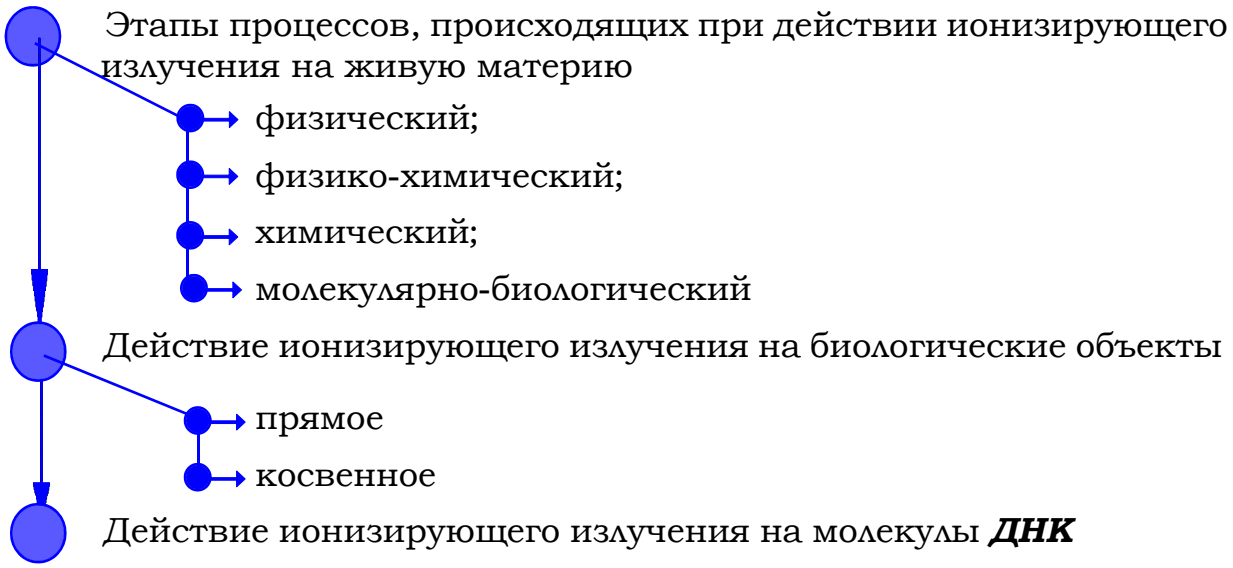
Задачи: формировать знания учащихся о биологических эффектах ионизирующего излучения ; раскрыть особенности воздействия ионизирующего излучения на биологические молекулы и клетки.

Оборудование: таблица «Строение клетки», схема строения молекулы ***ДНК***, таблица : « Основные процессы , протекающие при облучении организма и время их проявления»; схемы: «Действие ионизирующего излучения на клетки», «Нуклеиновые кислоты», плакат «Основные виды ионизирующего излучения».

Ход урока

I. **Организационный момент**

II. **Опорные точки урока**



III. **Вводное слово учителя и постановка учебной задачи**

С момента зарождения жизни и до появления человека космическое излучение и излучение радионуклидов земной коры играли важную роль в биологической эволюции Земли. Энергия этих излучений поддерживала и продолжает поддерживать биологический круговорот вещества и обеспечивает функционирование биосферы.

В течение многих миллионов лет в ходе эволюции живые организмы адаптировались (приспособились) к естественным излучениям. Однако ионизирующие излучения, превышающие естественный радиационный фон, способны вызывать нарушения в клетках живых организмов, с которыми мы и познакомимся на этом уроке.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

IV. **Актуализация опорных знаний**

Фронтальная беседа по базовым вопросам

- **Как вы думаете, от чего зависит характер нарушений, возникающих в клетках, тканях или органах, системах органов и организме человека в целом?**

  Примерный ответ: Характер этих нарушений зависит от дозы и характера облучения.

- **С какими видами ионизирующих излучений вы познакомились в прошлом году?**

  Ответ: Альфа-излучение — поток положительно заряженных частиц, состоящих из двух протонов и двух нейтронов (ядра атомов гелия), бета-излучение — поток движущихся электронов, рентгеновское и гамма-излучение — электромагнитное излучение (поток фотонов высокой энергии).

- **Какое излучение обладает наибольшей проникающей способностью?**

  Ответ: Наибольшей проникающей способностью обладает рентгеновское и гамма- излучение.

- **Как различаются ионизирующие излучения по способности вызывать нарушения в биологических тканях?**

  Ответ: В биологические ткани альфа-излучение проникает неглубоко, поглощаясь, в основном, наружным слоем кожи. Однако, облучая небольшие участки внутренних органов, альфа-частицы могут серьезно повреждать живые клетки. По способности вызывать нарушения в тканях организма человека альфа-излучение примерно в 20 раз превосходит бета- и гамма-излучения.

- **Какие вещества входят в состав клеток человека?**

  Ответ: В состав клеток входят: вода, минеральные вещества и биологические молекулы сложного состава. К числу биологических молекул относятся белки, липиды, углеводы, нуклеиновые кислоты и т. д.)

- **Какие структуры входят в состав клетки?**

  Ответ: Клетка состоит из цитоплазмы и ядра, которые плазматической мембраной ограждены от внешней среды. Вместе цитоплазма и ядро представляют собой живое содержимое клетки – протопласт. Ядро клетки является главным управляющим центром клетки. В ядре хранится наследственная информация. В цитоплазме находятся органеллы (рибосомы, митохондрии и т. д.), выполняющие специфические функции в процессе жизнедеятельности клеток.

V. Изучение нового материала (лекция)

1. **Рассмотрим, каким же образом действует ионизирующее излучение на живую материю?**

Нарушения могут возникать в любой части клетки. В результате действия ионизирующего излучения на живую материю происходят про-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

цессы, в которых можно выделить следующие этапы:

- *физический* – поглощение энергии и возникновение возбужденных и ионизированных молекул;
- *физико-химический* – перераспределение поглощенной энергии излучения возбужденными молекулами;
- *химический* — образование свободных радикалов (частиц с неспаренными электронами и поэтому обладающих высокой химической активностью);
- *молекулярно-биологический* – изменения в структуре биологических молекул и клеток, которые могут приводить к нарушению выполняемых ими функций.

▶ **Работа с таблицей**: «**Основные процессы**, **протекающие при облучении организма**, **и время их проявления**»

Процесс	Время проявления
Поглощение энергии электромагнитного (рентгеновского, *гамма*-) и нейтронного излучений	10^{-24} – 10^{-4} с
Поглощение энергии корпускулярного излучения, представленного потоком заряженных частиц (*альфа*-, *бета*-, протонов и др.).	10^{-15} – 10^{-8} с
Перераспределение энергии. Ионизация и возбуждение молекул	10^{-12} – 10^{-8} с
Химические повреждения биологических молекул в результате их ионизации и возбуждения (прямое действие излучения)	10^{-7} – 10^{-5} с
Образование свободных радикалов (косвенное действие)	Несколько часов
Изменения структуры молекул белков, нуклеиновых кислот в процессе обмена веществ (биомолекулярные повреждения)	От нескольких микросекунд до нескольких часов
Проявление ранних биологических эффектов. Возможны: • гибель клеток; • временные функциональные нарушения; • преждевременная гибель отдельных организмов	От нескольких минут до нескольких недель
Проявление отдаленных биологических эффектов. Возможны: • стойкое нарушение физиологических функций организма; • соматические эффекты (раковые заболевания); • генетические мутации, влияющие на потомство; • преждевременная гибель организма.	Годы, столетия

Из данных таблицы видно, что время проявления самых разнообразных изменений в клетке может длиться от нескольких микросекунд до нескольких часов, лет и даже столетий.

Действие ионизирующего излучения на биологические объекты может быть *прямым* и *косвенным*.

Прямое (непосредственное) действие излучения приводит к возбуждению и ионизации биологических молекул, появлению радикалов. Становятсявозможныхимическиереакциис участиемобразующихсяионов

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

и радикалов. В результате, происходит химическое преобразование биологических молекул, которое может приводить к повреждению клетки.

Косвенное действие излучения связано с радиолизом воды — ее химическим преобразованием под действием ионизирующего излучения. Рассмотрим подробнее косвенное действие излучения.

Тело человека, в основном, состоит из воды. Ее содержание в отдельных видах клеток может достигать 90 % клеточной массы.

Под влиянием ионизирующего излучения молекула воды способна терять электрон с образованием положительно заряженного иона.

$$H_2O \longrightarrow \mathbf{H_2O^+} + \mathbf{e^-}$$

Освободившийся электрон, передавая энергию окружающим молекулам воды, переводит их в возбужденное состояние ($\mathbf{H_2O^*}$). Возбужденные молекулы воды диссоциируют с образованием радикалов **H•** и **OH•**:

$$\mathbf{H_2O^*} \longrightarrow \mathbf{H\bullet} + \mathbf{OH\bullet}$$

Образовавшиеся свободные радикалы **H•** и **OH•** химически активны и могут легко взаимодействовать друг с другом с образованием разнообразных продуктов (молекул воды, водорода и пероксида водорода):

$$\mathbf{H\bullet} + \mathbf{OH\bullet} \longrightarrow H_2O$$

$$\mathbf{H\bullet} + \mathbf{H\bullet} \longrightarrow H_2$$

$$\mathbf{OH\bullet} + \mathbf{OH\bullet} \longrightarrow H_2O_2$$

Свободные радикалы могут взаимодействовать и с другими веществами, присутствующих в водной среде, в том числе и с органическими молекулами. Происходящие химические преобразования органических молекул, в основном, обусловлены действием высоко-активных радикалов **H•** и **OH•**, которые способны разрушать химические связи в биологических молекулах.

Если формулу органической молекулы условно представить в виде RH, где **H** – реакционноспособный атом водорода, а R – остальная часть молекулы, то взаимодействие с радикалами **H•** и **OH•** можно описать следующим образом:

$$R\mathbf{H} + \mathbf{OH\bullet} \longrightarrow R\bullet + H_2O$$

$$R\mathbf{H} + \mathbf{H\bullet} \longrightarrow R\bullet + H_2$$

Органические радикалы R•, так же как и свободные радикалы, образующиеся при радиолизе воды, могут вступать в реакции с другими молекулами, что, в конце концов, и приводит к *биологическим нарушениям*

Радикалы R• могут взаимодействовать и с кислородом, поступающим в организм из воздуха в процессе дыхания. При этом образуются перекисные радикалы $R\mathbf{O_2}\bullet$:

$$R + \mathbf{O_2} \longrightarrow R\mathbf{O_2}\bullet$$

Перекисные радикалы также могут вызывать биологические нарушения в организме.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Таким образом, инициированные излучением химические реакции в водных растворах происходят преимущественно с участием свободных радикалов. Каждый из радикалов вступает в специфические реакции с макромолекулами (биополимерами), в результате чего возникают биологические молекулы с измененными структурными и функциональными характеристиками. Эти молекулы взаимодействуют друг с другом и с окружающимимолекулами, что может приводитьк биологическимнарушениям, вплоть до таких, которые могут стать причиной гибели клеток.

Работа с текстом учебного пособия

Рассмотрите схему «Действие ионизирующегоизлучения на животные клетки», перенесите в тетрадь на печатной основе информацию о прямом и косвенном действии ионизирующего излучения на клетки живых организмов.



2. **Объяснение учителя**

Действие ионизирующего излучения на молекулы *ДНК*

В состав клеток входят: вода, минеральные вещества и биологические молекулы сложного состава. Биологическиемолекулы играют чрезвычайно важную роль в жизнедеятельности клетки. К числу биологических молекул относятся белки, липиды, углеводы, нуклеиновые кислоты.

Молекулы белков являются основным строительным материалом клетки. Они состоят из аминокислот. Сотни тысяч присутствующих в организме белков различаются количеством, качеством и порядком расположения составляющих их аминокислот, число которых равно 20.

Важную роль в образовании белка играют нуклеиновые кислоты – фосфоросодержащиебиополимеры, обеспечивающиехранение и передачу наследственной информации . Нуклеиновые кислоты состоят из нуклеотидов – сложных веществ, в состав которых входит азотистое основание, углевод и остаток фосфорной кислоты. Среди нуклеиновых кислот

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

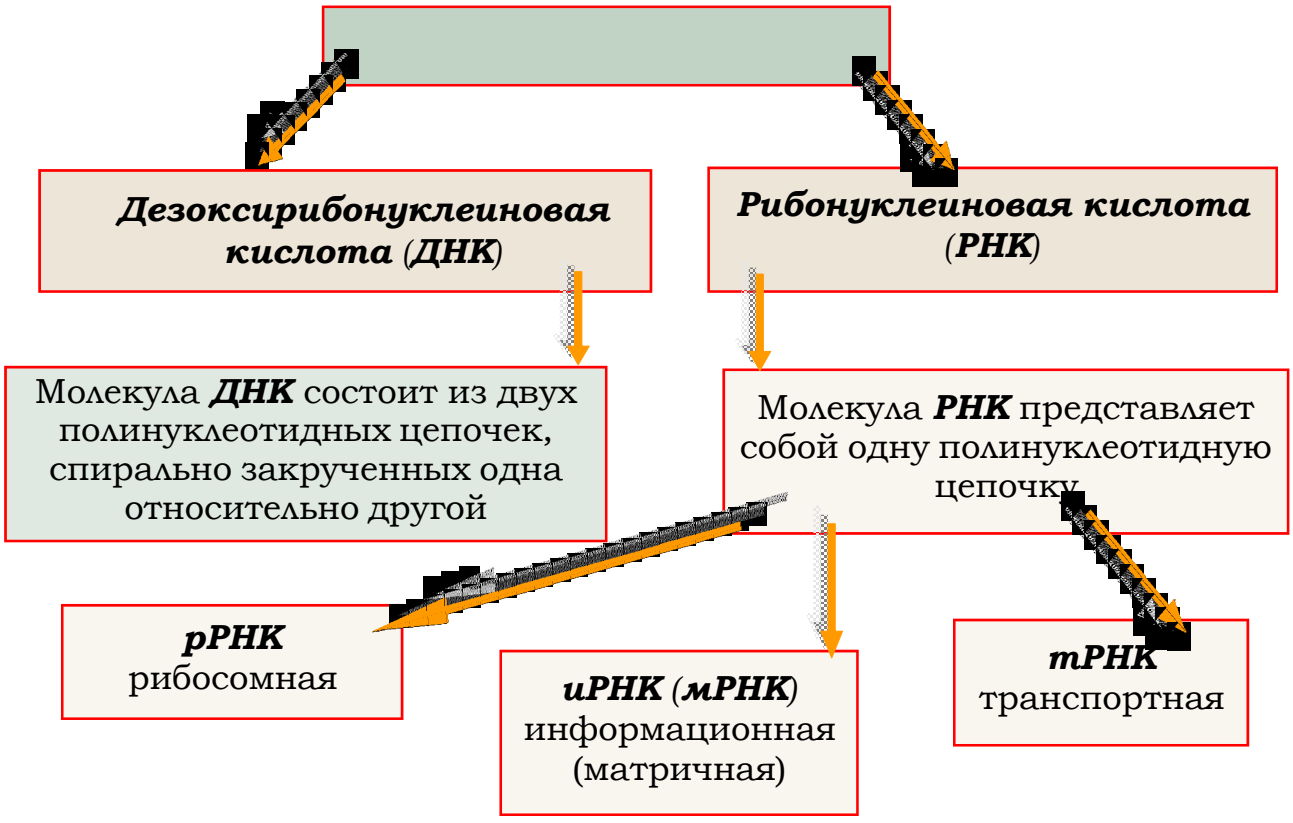
различают *дезоксирибонуклеиновую кислоту* (***ДНК***), содержащую углевод – дезоксирибозу, и *рибонуклеиновую* (***РНК***), содержащую углевод – рибозу. Молекула ***ДНК*** состоит из двух полинуклеотидных цепочек, спирально закрученных одна относительно другой. Молекула ***РНК*** представляет собой одну полинуклеотидную цепочку.

Молекулы ***ДНК***, обнаруженные, в основном, в ядрах клеток, относятся к числу наиболее важных биологических молекул. По сравнению с другими биологическими молекулами, молекулы ***ДНК*** огромны.

Молекула ***ДНК*** контролирует структуру и функции клетки. Она способна копировать себя. Ядро клетки, благодаря наличию в нем ***ДНК***, является информационным центром клетки, местом хранения наследственной информации, определяющей все специфические признаки данной клетки и организма в целом.

& Работа с текстом учебного пособия

Рассмотрите схему «Нуклеиновые кислоты», перенесите в тетрадь на печатной основе информацию об особенностях строения ***ДНК*** и ***РНК***.



3. **Объяснение учителя**

При *прямом* повреждающем действии излучение может непосредственно ионизировать молекулу ***ДНК***, что и приведет к изменению ее структуры. Структура молекулы *ДНК* может меняться и *косвенным путем* — при взаимодействии ***ДНК*** со свободными радикалами, образующимися в результате радиолиза воды, входящей в состав клетки.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Различают следующие *виды повреждения* ***ДНК***:

- *однонитевые разрывы* — разрыв одной из цепочек ***ДНК***,
- *двунитевые разрывы* — разрыв обеих цепочек ***ДНК***,
- *изменение структуры азотистых оснований*.

Работа с текстом учебного пособия

Рассмотрите схему «Действие ионизирующего излучения на структуры клетки».

По ходу объяснения переносите в тетрадь на печатной основе ту часть схемы, которая описывает действие ионизирующего излучения на ДНК.

Действие ионизирующего излучения на структуры клетки



От чего же зависит вероятность повреждения ДНК?

Вероятность повреждения ***ДНК*** зависит *от вида ионизирующего излучения и от величины поглощенной дозы*.

При воздействии на ***ДНК*** *бета-* и *гамма*-излучений вероятность повреждения обеих цепочек ***ДНК*** меньше, чем при воздействии ***альфа-излучения***.

Не все повреждения ***ДНК*** приводят к существенным генным и хромосомным изменениям, т. к. в клетках интенсивно идут восстановительные процессы. В ходе этих процессов до 90 % всех первичных повреждений исправляется полностью или частично. Восстановление структуры поврежденной ***ДНК*** называют *репарацией* ***ДНК***. Если ущерб нанесен только

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

одной цепочке ***ДНК***, то репарация осуществляется за счет информации с неповрежденной второй цепочки. Нарушения структуры ***ДНК*** могут устраняться путем удаления части цепочки с поврежденными звеньями ***ДНК*** и использования неповрежденной цепи в качестве основы для повторного синтеза поврежденного участка ***ДНК***. Репарация ***ДНК*** при повреждении двух цепочек затруднена.

Однонитевые, двунитевые разрывы ***ДНК*** и изменения *структуры* азотистых оснований могут привести к искажению либо утрате информации, хранящейся в *генах*.

Первичные повреждения ***ДНК****, лежащие в основе мутаций, могут эффективно восстанавливаться с помощью репарационных систем клетки.*

Процесс репарации протекает при участии ферментативных систем клетки. Для репарации и поддержания последовательности оснований в ***ДНК*** расходуется значительное количество энергии клетки.

В клетках млекопитающих одиночные разрывы ***ДНК*** могут восстанавливаться в течение 15 минут.

Степень повреждения клетки зависит не только от величины поглощенной дозы, но и от ее распределения во времени.

Так, если при кратковременном облучении клетки поглощенная доза значительна (до *10 Грей*), в ее органеллах наблюдаются существенные изменения: нарушается проницаемость мембран, угнетается дыхание, происходят необратимые изменения молекул ***ДНК*** в ядре и т. д.

При *хроническом* (длительном) облучении такой же дозой наносимый клетке ущерб будет меньшим.

Если при облучении происходит нарушение структуры молекулы ***ДНК***, то может измениться генетический код. Это приведет к прекращению синтеза ***РНК*** или к появлению аномальных молекул ***РНК***. При удвоении (репликации) ***ДНК*** эти изменения наследуются. В результате появляются клетки с измененной наследственностью.

Повреждения ***ДНК*** могут проявляться в виде *мутаций* (наследуемых изменений генетического материала организма), которые при последующих делениях передаются новым образовавшимся клеткам.

Сильно поврежденные молекулы ***ДНК*** теряют способность к восстановлению. Клетка прекращает делиться и гибнет.

Таким образом, если в результате облучения произошло повреждение генетического материала, но клетка сохранила способность к размножению, это может приводить к появлению измененного клеточного потомства.

Если клетка не способна размножаться, повреждение генетического материала может приводить к гибели клетки.

Урок 2. Действие ионизирующего излучения на биологические молекулы и клетки (продолжение)

Задачи: продолжить формирование знаний учащихся об особенностях действия ионизирующего излучения на биологические молекулы и клетки.

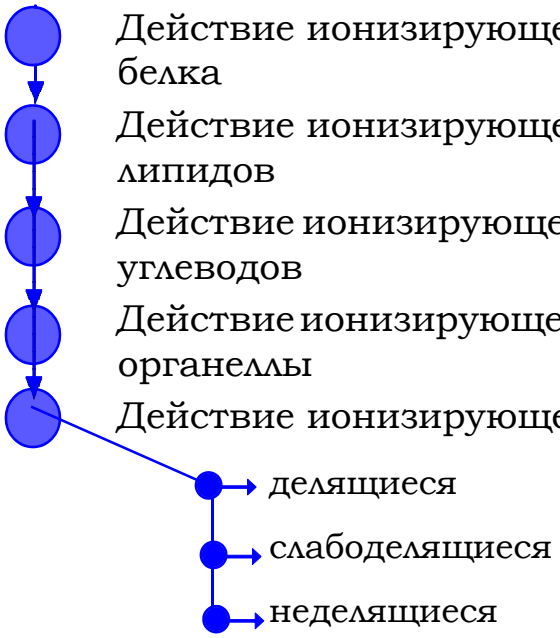
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Оборудование: таблица «Строение животной клетки», схемы: «Действие ионизирующего излучения на белок», «Действие ионизирующего излучения на липиды», «Типы клеток организма человека», таблицы: «Основные стадии клеточного цикла», «Возможные виды реакции клетки на облучение».

Ход урока

I. **Организационный момент**

II. **Опорные точки урока**



III. **Изучение нового материала** (проводится в форме лекции)

1. Действие ионизирующего излучения на молекулы белка

Белки (протеины) – важнейшие биополимеры, мономерами которых являются аминокислоты. Белки играют исключительно важную роль в жизнедеятельности организмов. Выполняют в организме функции: структурную (входят в состав клеток и тканей), каталитическую (ферментативную), транспортную, защитную, сократительную, регуляторную, рецепторную, энергетическую.

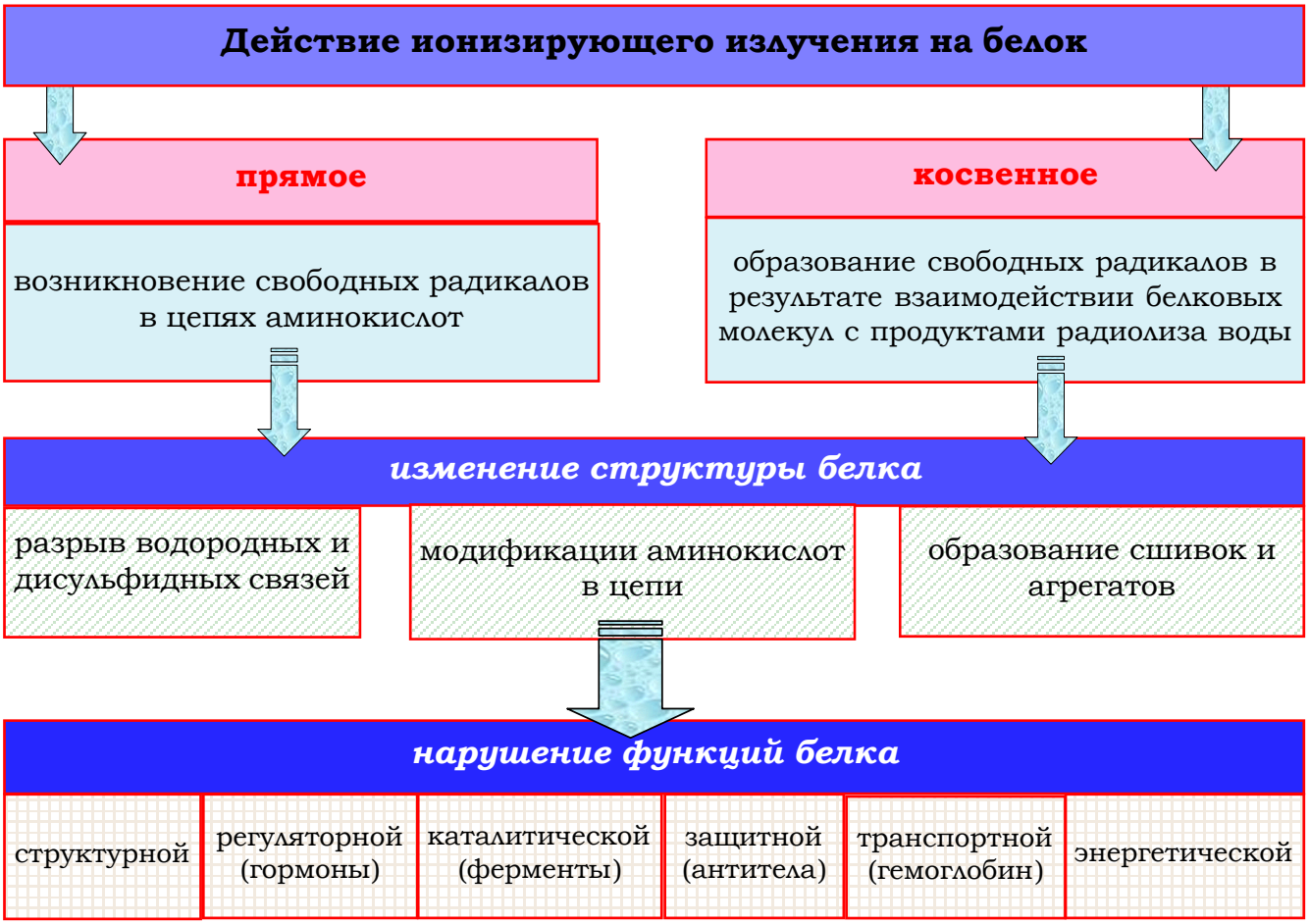
Молекулы белков отличаются огромным разнообразием. Последствия их облучения зависят от:

- типа облучаемого белка,
- вида и энергии излучения,
- продолжительности облучения.

▶ Работа с текстом учебного пособия

Рассмотрите схему «Действие ионизирующего излучения на белки». По ходу объяснения переносите в тетрадь на печатной основе информацию об особенностях действия ионизирующего излучения на клеточные белки.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



2. Действие ионизирующего излучения на липиды

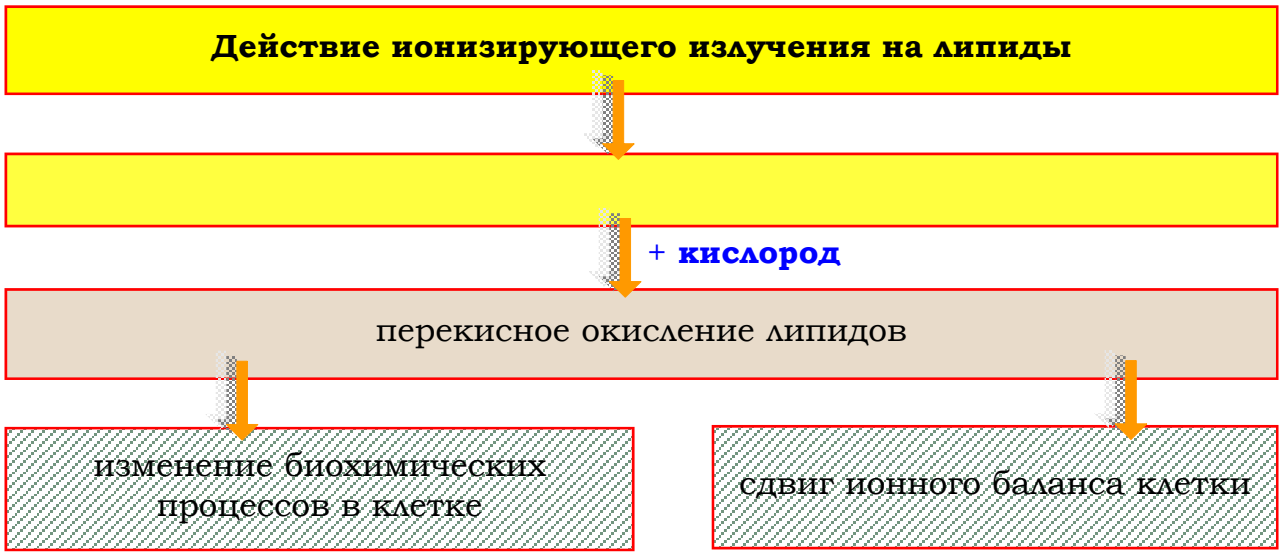
Липиды – жироподобные органические вещества, нерастворимые в воде. Они являются основой клеточных мембран, а также играют роль запасных питательных веществ в организме, накапливаясь в отдельных частях тела.

Многие процессы клеточного метаболизма происходят именно в мембранах . Поэтому перекисное окисление *липидов* , вызванное облучением, влечет за собой изменение биохимических процессов в клетке, а нарушение целостности наружной мембраны – к сдвигу ионного баланса клетки.

▶ Работа с текстом учебного пособия

Рассмотрите схему «Действие ионизирующего излучения на липиды». Перенесите в тетрадь на печатной основе информацию об особенностях действия ионизирующего излучения на клеточные липиды.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



3. Действие ионизирующего излучения на углеводы

Углеводы (сахара) – источник энергии в организме. Как энергетический резерв они запасаются в организме человека в виде гликогена. Общая формула *углеводов* может быть представлена в виде $C_n(H_2O)_m$. Большинство природных углеводов — производные циклических форм моносахаридов.

Под действием излучения возможен отрыв атома водорода от молекулы *углевода*. При этом образуются свободные радикалы, а затем перекиси . В результате облучения из продуктов распада *углеводов* возможен синтез органического вещества, которое тормозит синтез ***ДНК*** и *белка* и подавляет деление клеток.

Разрушение *углеводов* сокращает запасы веществ , являющихся источниками энергии в организме, что может отразиться на функционировании многих жизненно важных систем организма.

4. Действие ионизирующего излучения на различные органеллы клетки

Биологические молекулы образуют различные клеточные структуры и органеллы. Изменения, возникающие в этих молекулах под действием ионизирующего излучения, могут приводить к повреждению клеточных мембран, ядра, митохондрий, лизосом, рибосом и, в итоге, нарушают функционирование клетки.

▶ Работа с текстом учебного пособия

Рассмотрите схему «Действие ионизирующего излучения на различные клеточные структуры и органеллы». Перенесите в тетрадь на печатной основе информацию об особенностях действия ионизирующего излучения на клеточные структуры и органеллы.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Работа со схемой:



На приведенной схеме показаны основные виды нарушений, которые могут возникать в результате действия ионизирующего излучения на различные составляющие клетки. Рассмотрим, к каким последствиям для клеток в целом может привести облучение.

5. **Действие ионизирующего излучения на клетки**

Клетка – мельчайшая структурно-функциональная единица всех живых организмов, наделенная всеми основными признаками живой материи. В организме человека можно выделить множество видов клеток, которые выполняют самые разнообразные функции.

Различают клетки половые и соматические (клетки тела). Число хромосом в половых клетках в два раза меньше, чем в соматических. Деление клеток обеспечивает непрерывное течение жизненного процесса.

Период существования клетки от момента ее образования путем деления материнской клетки до собственного деления или смерти называют *клеточным циклом* или *жизненным циклом клетки*.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

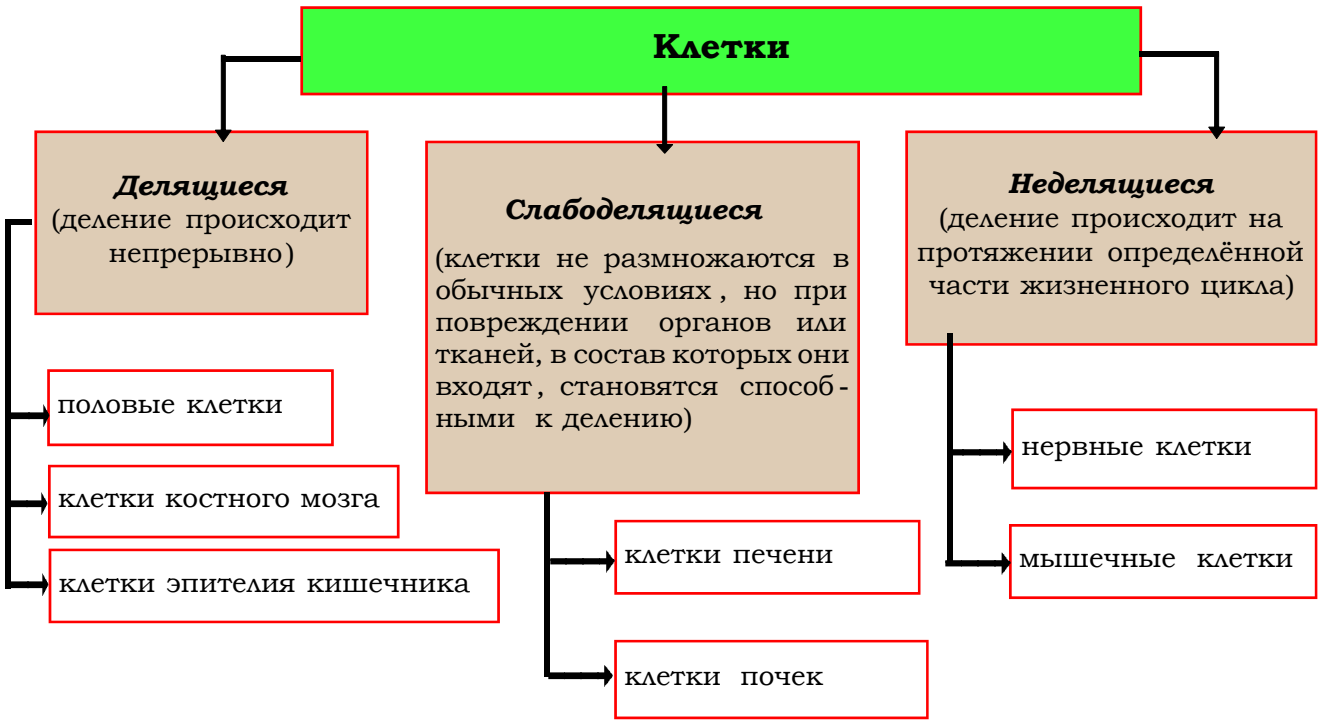
Основные стадии клеточного цикла

Стадия клеточного цикла	Описание
Интерфаза	В интерфазе происходят процессы, связанные с *ростом клетки, ее подготовкой к делению и репликация* ***ДНК***. Продолжительность интерфазы составляет до 90 % продолжительности всего клеточного цикла. В *делящихся клетках* – это часть клеточного цикла между двумя последовательными митозами. В *неделящихся клетках* (например, нейронах) — это период от последнего митоза до смерти клетки.
Митоз	Способ деления соматических клеток. В результате митоза образуются две дочерние клетки, причем в каждой из них имеется точно такой же набор хромосом, как в родительской клетке, т. е. обеспечивается *равномерное распределение хромосом между двумя дочерними клетками*.

▶ Работа с текстом учебного пособия

Рассмотрите схему «Типы клеток организма». По ходу объяснения переносите в тетрадь на печатной основе информацию о различных типах клеток организма человека.

По способности делиться все клетки организма человека делят на *делящиеся, слабоделящиеся* и *неделящиеся.*



На ранней стадии развития организма все клетки способны к делению. В процессе развития организма возникают различия между клетками, и часть клеток утрачивает способность делиться. Дифференцирование клеток

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

приводит к возникновению специализированных клеток, из которых формируются специализированные ткани и органы.

Чувствительность клеток к ионизирующему излучению различна, но все они наиболее восприимчивы (радиочувствительны) в период деления.

Делящиеся клетки менее устойчивы к действию ионизирующего излучения, чем неделящиеся.

Следовательно, растущая ткань (детский организм) или ткань с высокой скоростью клеточного деления, более чувствительна к ионизирующему излучению по сравнению с другими тканями.

Как уже отмечалось, степень повреждения клетки зависит как от величины поглощенной дозы, так и от ее распределения во времени.

Если при кратковременном облучении клетки поглощенная доза значительна (до *10 Грей*), в ее органеллах наблюдаются существенные изменения.

При хроническом (длительном) облучении такой же дозой наносимый клетке ущерб будет меньшим. Особенно это касается делящихся клеток.

Возможные виды реакции клеток на облучение

Митотическая (репродуктивная) ***гибель клеток***

Утрата клетками способности к размножению

Основная причина митотической гибели клеток – повреждение ее хромосомного аппарата, приводящее к нарушению синтеза ***ДНК***.

При большой дозе облучения, равной 1 Гр, в каждой клетке человека возникает до 1 000 однонитевых и до 100 двунитевых разрывов.

Радиационный блок митозов

Временная задержка деления клетки

Длительность задержки зависит от величины поглощенной дозы. На каждый Грей поглощенной дозы клетка отвечает задержкой митоза на 1 час. С увеличением дозы облучения увеличивается продолжительность деления каждой клетки. Длительность интерфазы увеличивается, что создает благоприятные условия для работы системы восстановления ***ДНК***.

В то же время, задержка деления приводит к тому, что клетки, находившиеся при облучении в интерфазе, не делятся в нужный момент.

При наступлении фазы митоза часть клеток не способна разделиться. В результате, объем клеточного материала увеличится, и образуются гигантские клетки. Из-за нарушения механической прочности мембран и изменения питания они, как правило, гибнут.

Другая часть облученных клеток, вступив в фазу митоза, способна делиться. Однако, после каждого процесса деления часть клеток может погибать. Чем больше митозов, тем больше число погибших клеток.

Клетки, которые сохранили способность к делению после 5 и более делений, считают выжившими.

Интерфазная гибель клеток

Гибель клеток в интерфазе до вступления в митоз

Для большинства соматических клеток человека гибель клеток в интерфазе регистрируется после облучения дозой в десятки и сотни Грей.

Лимфоциты, относящиеся к радиочувствительным клеткам, гибнут при значительно меньших дозах.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Еще в начале XX века французские исследователи И. Бергонье и Л. Трибондо доказали, что ионизирующее излучение тем сильнее действует на клетки, чем интенсивнее они делятся и чем менее они дифференцированы.

Нарушения у делящихся клеток могут проявляться как непосредственно после облучения, так и по прошествии значительного периода времени после облучения.

Таким образом, в результате облучения клетки возможны следующие варианты:

- полное выживание клетки без всяких последствий,
- сохранение живой, но измененной клетки,
- гибель клетки.

В целом, степень воздействия ионизирующего излучения на клетки зависит от:

- дифференцированности клеток,
- способности клеток к делению,
- вида и энергии излучения,
- продолжительности облучения,
- состояния систем репарации ДНК,
- активности ферментов, перерабатывающих продукты радиолиза,
- интенсивности окислительно-восстановительных процессов.

IV. **Задание на дом**. Подготовиться к письменному опросу по теме.

Урок 3. Действие ионизирующего излучения на ткани, органы и системы органов человека

Задачи: продолжить формирование знаний учащихся об особенностях действия ионизирующего излучения на ткани, органы и системы органов.

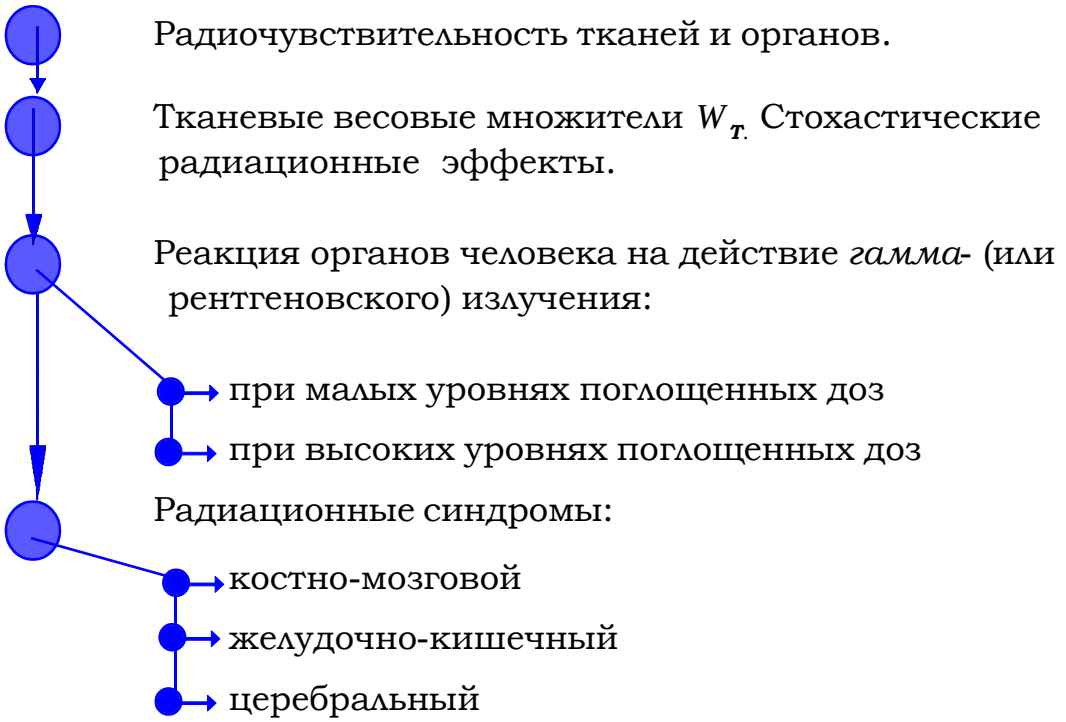
Оборудование: таблицы: «Строение клетки», «Тканевые весовые множители, W_T», «Органы пищеварения», «Строение кости», «Реакция органов человека на действие *гамма-* (или рентгеновского) излучения», схемы «Строения молекулы ***ДНК***», «Действие ионизирующего излучения на белки», «Действие ионизирующего излучения на нуклеиновые кислоты», «Радиационные синдромы».

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Ход урока

I. **Организационный момент**

II. **Опорные точки урока**



III. Письменный контроль знаний по теме : «Действие ионизирующего излучения на биологические молекулы и клетки»

Работа по вариантам на 20-25 **минут**.

Вариант I

Задание 1. Отметьте этапы, которые не относятся к этапам процессов, происходящих в клетках в результате действия ионизирующего излучения на живую материю:

а) физический;

б) физико-химический;

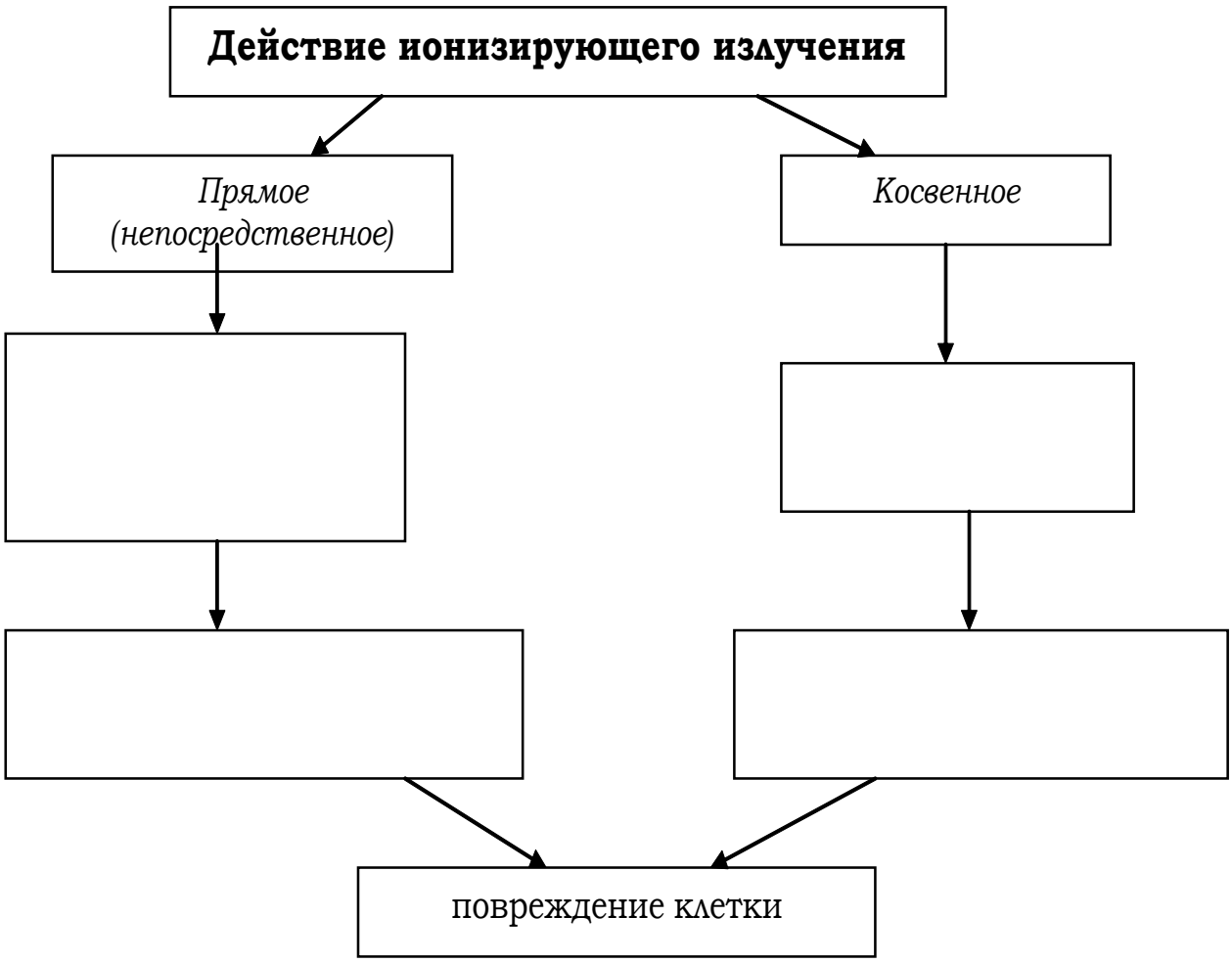
в) генетический;

г) химический;

д) молекулярно-биологический.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Задание 2. Используя знания о действии ионизирующего излучения на клетки живых организмов, заполните пропуски в таблице.



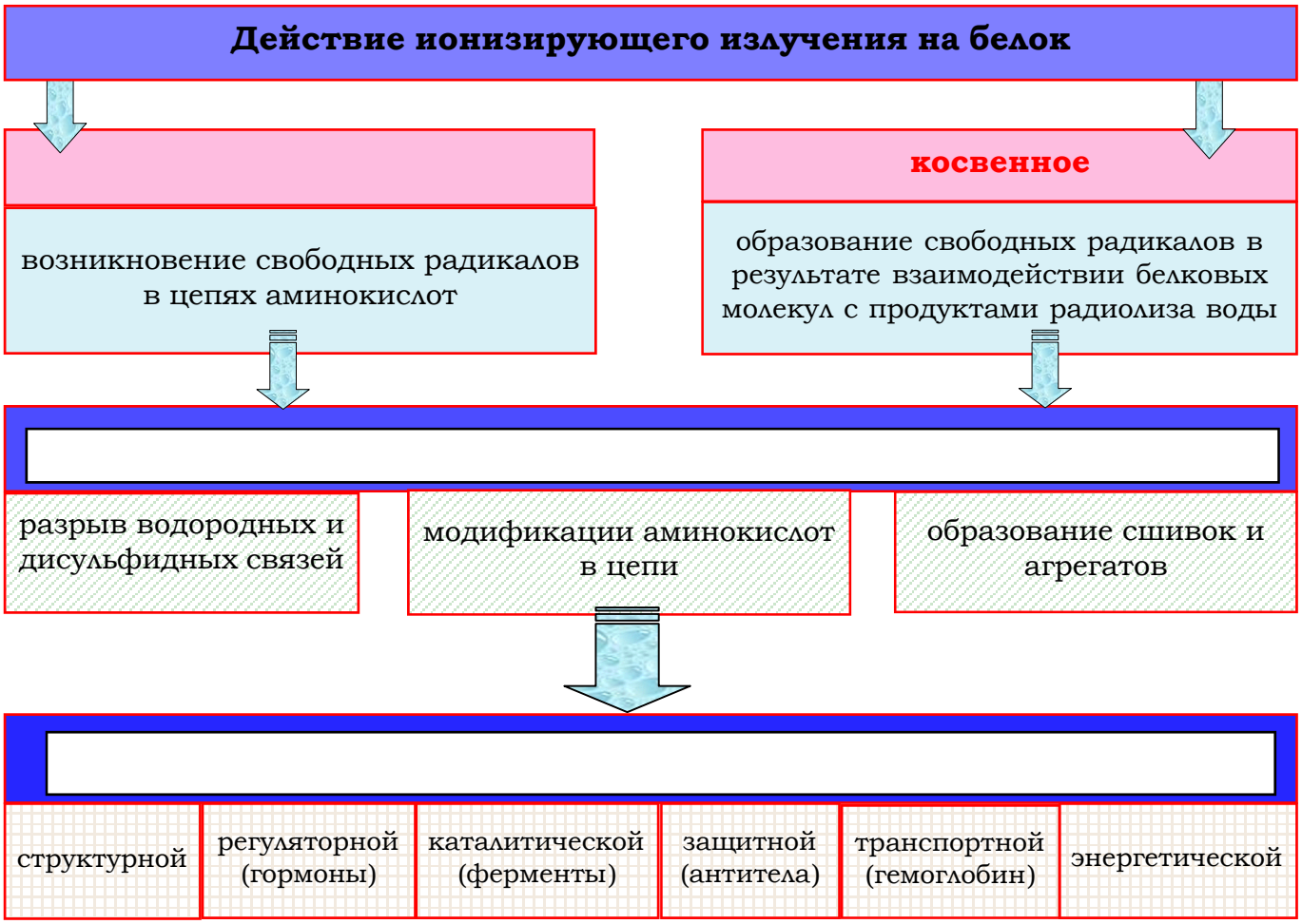
Задание 3. Укажите правильную последовательность указанных ниже процессов, протекающих при облучении организма электромагнитными видами ионизирующего излучения (рентгеновским и *гамма*-излучением).

1. Химические повреждения биологических молекул в результате их ионизации и возбуждения (прямое действие излучения)
2. Перераспределение энергии. Ионизация и возбуждение молекул.
3. Поглощение энергии электромагнитного (рентгеновского, *гамма*) и нейтронного излучений.
4. Образование свободных радикалов (косвенное действие излучения).

Ответ: 3, 2, 1, 4.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Задание 4. Используя таблицу, опишите последствия действия ионизирующего излучения на белки в клетке.



Задание 5. Объясните, почему клетки детского организма подвержены действию ионизирующего излучения в большей степени, чем взрослого.

Вариант II

Задание 1. Отметьте клетки, наиболее подверженные действию ионизирующего излучения:

а) клетки костного мозга;

б) мышечные клетки;

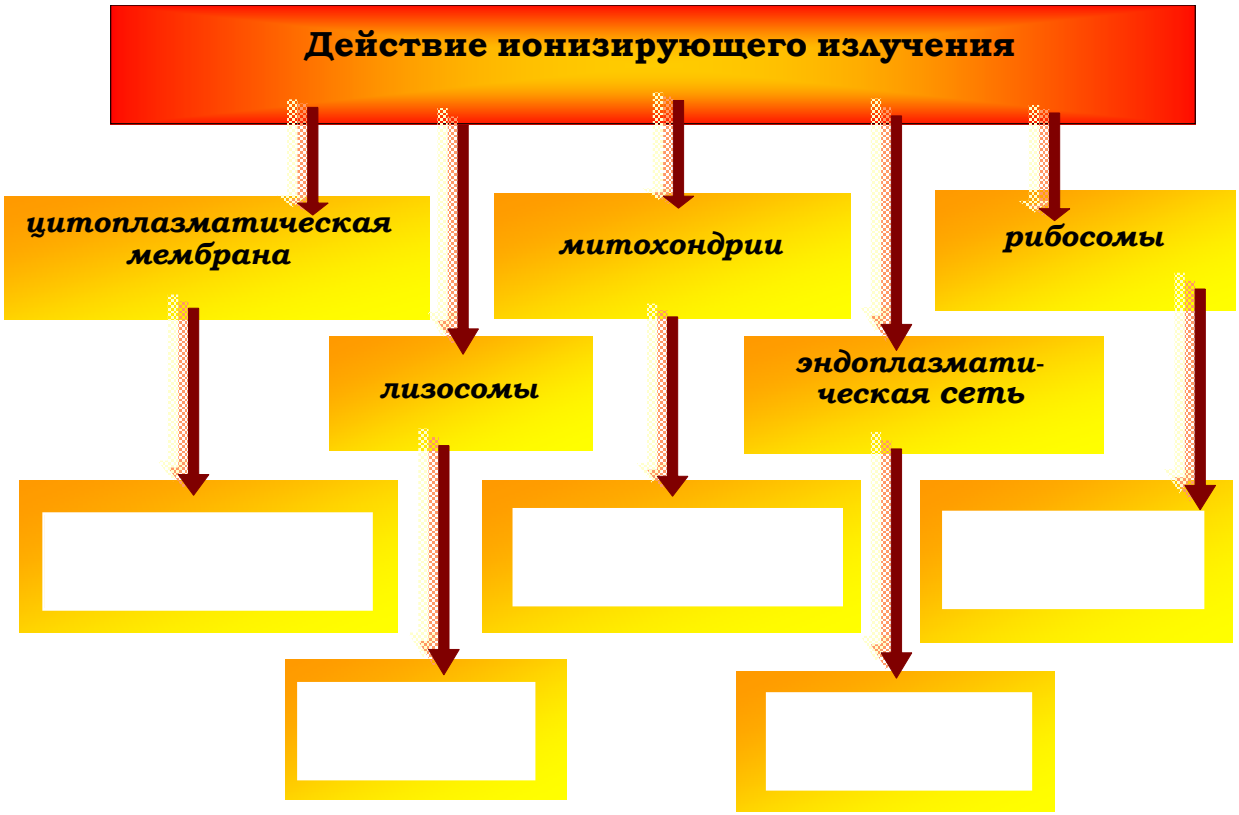
в) половые клетки;

г) нервные клетки;

д) клетки печени и почек.

Задание 2. Используя знания о функциях органоидов в клетке и характере нарушений, вызванных действием ионизирующего излучения, заполните схему:

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



Задание 3. Укажите правильную последовательность указанных ниже процессов, протекающих при облучении организма корпускулярными видами излучения, представленного потоком заряженных частиц (*бета-*, *альфа-*, протонов и других видов заряженных частиц).

1. Поглощение энергии корпускулярного излучения, представленного потоком заряженных частиц.
2. Проявление отдаленных биологических эффектов (возможны: стойкое нарушение физиологических функций организма, соматические эффекты (раковые заболевания), генетические мутации, влияющие на потомство, преждевременная гибель организма).
3. Проявление ранних биологических эффектов (возможны: гибель клеток, временные функциональные нарушения; преждевременная гибель отдельных организмов).
4. Изменения структуры молекул белков, нуклеиновых кислот в процессе обмена веществ (биомолекулярные повреждения).

Ответ: 1, 4, 3, 2.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Задание 4. Используя схему, опишите последствия действия ионизирующего излучения на нуклеиновые кислоты в клетке.



Задание 5. Объясните, почему при хроническом (длительном) облучении ущерб, наносимый клетке, будет меньшим, чем при кратковременном облучении (в случае одинаковой поглощенной дозы).

IV. *Актуализация опорных знаний*

Какие типы тканей выделяют в организме человека?

Ответ: У человека выделяют четыре типа тканей: эпителиальные, соединительные, мышечные ткани и нервную ткань. Ткани образуют органы (сердце, почки, печень, желудок и т. д.). Клетки, находящиеся в составе ткани или органа, зависимы друг от друга и от окружающей среды.

Что такое орган? Система органов?

Ответ: Орган — это часть тела, имеющая определенную форму, строение, определенное месторасположение и выполняющая в организме определенную функцию.
Системы органов (скелетная, пищеварительная, дыхательная и др.) обеспечивают жизнедеятельность организма.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

IV. **Изучение нового материала**

Учитель: Относительную радиационную чувствительность органов или тканей к воздействию ионизирующих излучений учитывают с помощью *тканевых весовых множителей* $W_т$.

Эти множители характеризуют относительный вклад каждого органа или биологической ткани человека в возникновение *стохастических радиационных эффектов* при равномерном облучении всего тела человека, при котором эквивалентная доза для всех органов и биологических тканей организма одинакова. В этом случае сумма тканевых весовых множителей всех органов и тканей человека равна единице.

Стохастические радиационные эффекты проявляются в виде раковых, и генетических заболеваний и наблюдаются при поглощенных дозах менее 1 Гр.

▶ **Рассмотрите таблицу**. Какие органы наиболее подвержены действию ионизирующего облучения? Почему?

Тканевые весовые множители $W_т$

Ткань или орган	Весовой множитель $W_т$
Половые железы	0,20
Красный костный мозг	0,12
Легкие	0,12
Желудок	0,12
Толстый кишечник	0,12
Пищевод	0,05
Печень	0,05
Мочевой пузырь	0,05
Щитовидная железа	0,05
Молочные железы	0,05
Кожа	0,01
Поверхность костей	0,01
Остальные органы	0,05
Все тело	1,00

Ответ: Наиболее чувствительны к действию ионизирующего излучения органы и ткани с интенсивно делящимися клетками. Это органы кроветворения (костный мозг, лимфатические узлы, селезенка) и пищеварения (слизистые оболочки желудка и кишечника), половые железы (семенники и яичники).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

▶ **Рассмотрите таблицу**:

Реакция органов человека на действие *гамма*- (или рентгеновского) излучения

Орган или система органов		Доза	Эффекты
Печень		1 **Гр**	Возникновение хромосомных аберраций в 15 - 20 % клеток. Поскольку клетки печени практически не делятся, возникающие нарушения не ведут к гибели организма
		40 **Гр**	Развитие фиброза печени в течение одного месяца после облучения
Костный мозг		1 **Гр**	Возникновение хромосомных аберраций в 15 - 20 % клеток
Половые железы	***семенники***	0,1 **Гр**	Временная стерильность
		2 **Гр и выше**	Вероятность постоянной стерильности
	яичники	1 - 2 **Гр**	Возникновение временного бесплодия
		2,5 - 6 **Гр**	Развитие стойкого бесплодия
Кожа		5 **Гр** 10 **Гр**	Клетки эпидермиса (верхнего слоя кожи) могут восстанавливать повреждения Необратимые нарушения
Органы зрения		2 **Гр**	Появление воспалительных процессов
		2 - 6 **Гр**	Возникновение катаракты (помутнение хрусталика)
Сердце		5 - 10 **Гр**	Появления изменений в миокарде
		20 **Гр**	Поражение эндокарда и других структур сердца
Почки		30 **Гр**	Развитие нефросклероза
Легкие		50 **Гр**	100 %-ная смертность
Центральная нервная система		100 **Гр**	Гибель клеток

В таблице показано, какие нарушения, в основном, наблюдались при *высоких* уровнях поглощенных доз *гамма*– (или рентгеновского) излучения в результате *однократного* воздействия радиации на организм человека.

▶ «**Какие органы наиболее подвержены действию ионизирующего излучения**? **Почему**?

Ответ: Наиболее чувствительны к действию ионизирующего излучения костный мозг и клетки половых желез (семенников и яичников), так как их клетки постоянно делятся.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Объяснение учителя

Из данных, приведенных в таблице, видно, что при высоких уровнях дозовых нагрузок действие ионизирующего излучения приводит к возникновению значительных нарушений в органах и системах органов. Все наблюдаемые радиационные эффекты являются *детерминированными*. Они неизбежно возникают при указанных уровнях поглощенных доз в случае воздействия *гамма-* (или рентгеновского) излучения (см. раздел 3.1 первого тома пособия).

Радиочувствительность органов и систем органов человека различна. Максимальная радиочувствительность свойственна мужским половым органам. Однократное облучение семенников с поглощенной дозой 0,1 Гр приводит к временной стерильности. При поглощенной дозе от 1 до 2 Гр возможна длительная стерильность с полным восстановлением функции семенников лишь через несколько лет.

Яичники менее чувствительны к воздействию ионизирующего излучения.

Способность костного мозга и других элементов кроветворной системы нормально функционировать значительно снижается при больших поглощенных дозах порядка 1 Гр. Под действием ионизирующего излучения меняется проницаемость мембран эритроцитов (красных кровяных телец) и кровеносных сосудов. В результате может нарушаться поступление кислорода и питательных веществ к клеткам различных тканей, а также удаление из них продуктов обмена. При этом возможны нарушения в развитии эритроцитов или гибель части эритроцитов. Недостаток эритроцитов в организме может приводить к кислородному «голоданию» в тканях и снижению их жизнедеятельности.

При *больших* дозах облучения могут развиваться лейкозы. Подобные заболевания онкологического характера были выявлены у ликвидаторов Чернобыльской аварии (5 – 7 случаев в год на 100 000 человек в первые годы после аварии).

При *малых* дозах облучения (менее 0,2 Гр.) повреждение клеток может и не происходить или может повреждаться лишь небольшая часть клеток, что иногда приводит к возникновению онкологических заболеваний кроветворных органов. Однако подобные заболевания могут и не возникать.

При малых дозах облучения может снижаться сопротивляемость организма к заболеваниям бактериальной и вирусной природы. Это может быть связано с уменьшением содержания или повреждением лейкоцитов и лимфоцитов, что приводит к снижению их способности уничтожать патогенные микроорганизмы.

▶ **Работа с настенным плакатом «Органы пищеварения»**

Объяснение учителя

Среди *органов пищеварения* наибольшей радиочувствительностью обладает тонкий кишечник. Радиочувствительность остальных органов пищеварения снижается в ряду: полость рта – язык – слюнные железы – пищевод – желудок – прямая и ободочная кишка – поджелудочная железа – печень.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Печень более устойчива к действию радиации по сравнению с костным мозгом и кишечником, однако возникшие в ней нарушения сохраняются в течение продолжительного времени. Восстановление клеток печени происходит значительно медленнее, чем клеток костного мозга или кишечника.

Радиочувствительность органов зависит от характера облучения (острое или хроническое, однократное или многократное).

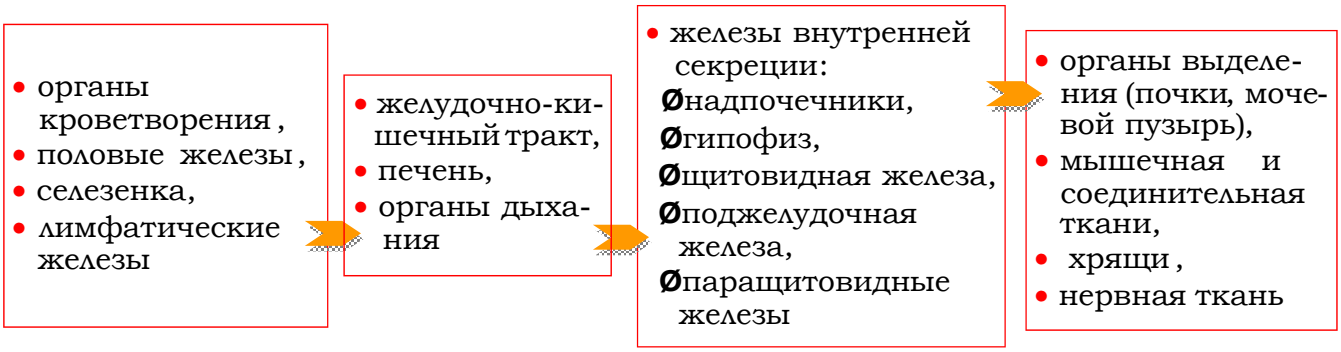
Острое облучение – кратковременное воздействие ионизирующего излучения на биологический объект с поглощением большой дозы излучения. *Хроническое облучение* – продолжительное воздействие ионизирующего излучения на биологический объект. Как правило, подобное облучение происходит при поглощении небольшой дозы излучения (не более 1мГр в год).

Острое облучение вызывает более существенные нарушения в органах и тканях, чем их хроническое облучение с аналогичными поглощенными дозами. Если органы или системы подвергаются облучению в течение длительного промежутка времени, уровни доз, при которых наблюдаются подобные нарушения, значительно выше. В случае хронического облучения организм располагает временем для восстановления поврежденных тканей и органов.

В органах, состоящих, в основном, из неделящихся клеток, радиационные эффекты проявляются через значительный промежуток времени после облучения (отдаленные последствия облучения).

В органах или системах органов, в которых процесс деления клеток протекает интенсивно, поражение заметно уже в короткие сроки после облучения и при более низких уровнях доз.

При воздействии *гамма-* (или рентгеновского) излучения степень поражения органов человека уменьшается в следующей последовательности:



Перенесите в тетрадь на печатной основе эти данные

При достижении определенных уровней доз облучения происходит поражение тех или иных систем организма, которое может приводить к возникновению *радиационных синдромов*.

«*Синдром*» в переводе с греческого означает «заболевание» или стадия заболевания

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Радиационные синдромы

При значительных дозах ионизирующее излучение в разной степени поражает те или иные органы и ткани, но причиной гибели организма может быть поражение даже одного органа, называемого *критическим*.

▶ Работа с текстом учебного пособия

Найдите в тексте определение критического органа и перенесите его в тетрадь на печатной основе.

Критическим является такой жизненно важный орган (ткань или система органов), который при равномерном облучении всего тела является наиболее радиочувствительным и первым повреждается в данном диапазоне доз.

▶ Объяснение учителя

Радиационное поражение критического органа связано с поражением или гибелью определенной части клеток, из которых сформирован этот орган.

При небольших уровнях поглощенных доз, благодаря способности клеток к восстановлению, ткани и органы способны относительно быстро восстанвливать свои функции.

Если нарушения, вызванные облучением, не восстанавливаются, их называют необратимыми. Необратимое поражение *критического* органа (ткани или системы органов) наблюдается, как правило, *при высоких уровнях доз*. Такие нарушения приводят к гибели организма в определенные сроки после облучения.

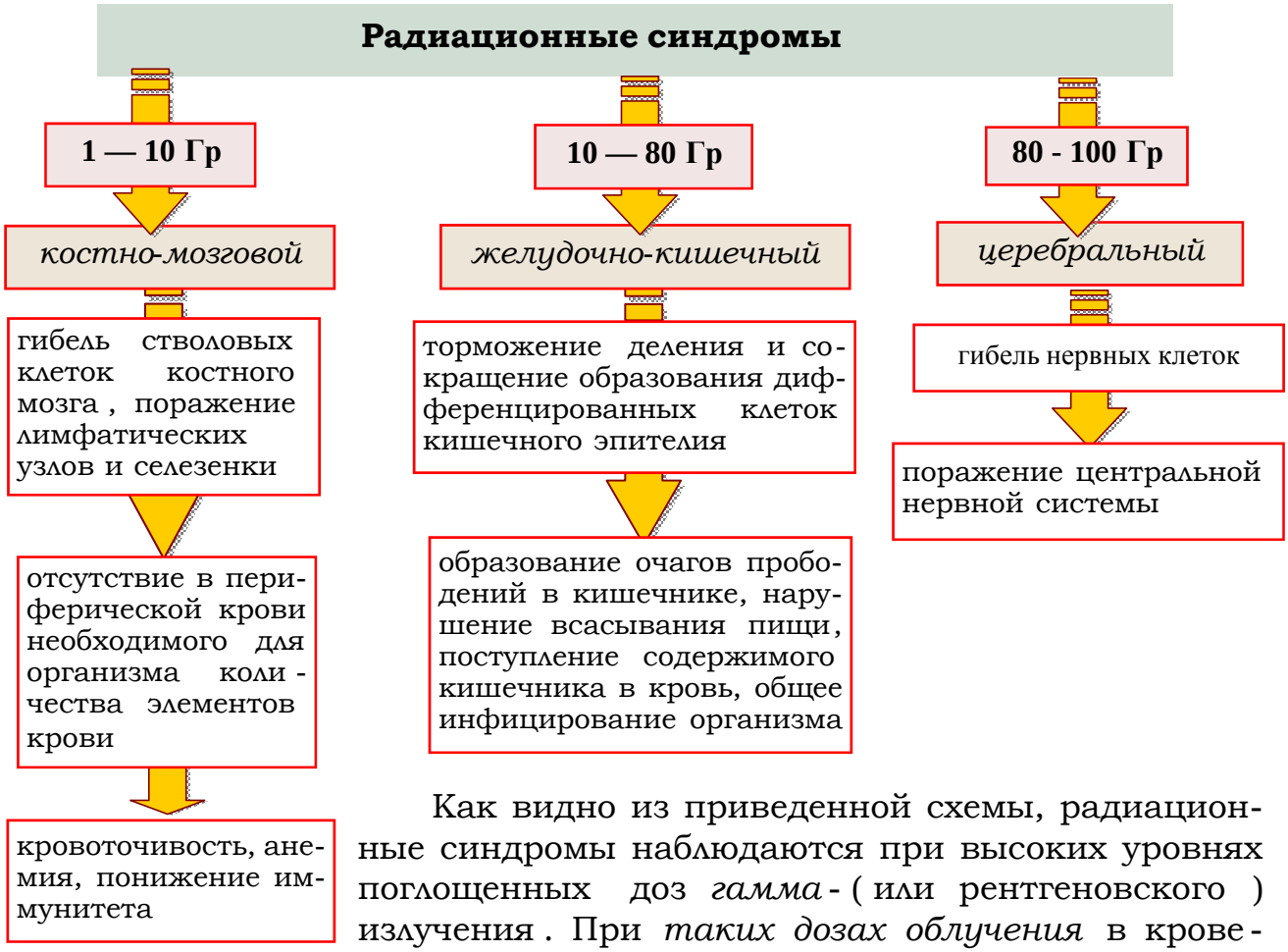
В результате необратимого поражения определенных систем организма развиваются *радиационные синдромы*. Радиационный синдром – это необратимое повреждение жизненно важной системы органов под действием ионизирующего излучения.

При необратимом поражении кроветворной системы развивается *костно-мозговой* (*кроветворный*) синдром, желудка и кишечника — *желудочно-кишечный*, центральной нервной системы — *церебральный*.

Кроветворная система и желудочно-кишечный тракт характеризуются большой скоростью клеточного обновления и поражаются при меньших уровнях поглощенных доз по сравнению с центральной нервной системой, клетки которой не делятся.

Краткая характеристика основных видов радиационных синдромов, которые наблюдаются у человека при определенных уровнях поглощенных доз *гамма-* (или *рентгеновского*) излучения, приведена на следующей схеме.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



Как видно из приведенной схемы, радиационные синдромы наблюдаются при высоких уровнях поглощенных доз *гамма*-(или рентгеновского) излучения. При *таких дозах облучения* в кроветворной и желудочно-кишечной системах развиваются сходные изменения: происходит гибель молодых, делящихся клеток, прекращается клеточное деление и возобновление клеток. Клетки, завершившие свой жизненный цикл, отмирают, и их количество перестает восполняться. В результате, число зрелых клеток сокращается. Однако кроветворная система обладает способностью к регенерации. Поэтому, если доза облучения не вызывает повреждения *всех* стволовых клеток костного мозга, *функции кроветворения восстанавливаются*.

Как правило, радиационные синдромы наблюдаются лишь при высоких уровнях поглощенных доз, которые на практике редко реализуются.

VI. **Задание на дом**: **изучить** § 3. (Задания в тетради на печатной основе даются на усмотрение учителя).

Урок 4. Действие ионизирующего излучения на организм человека

Задачи: продолжить формирование знаний учащихся об особенностях действия ионизирующего излучения на ткани, органы и системы органов человека; выяснить влияние ионизирующего излучения на весь организм человека.

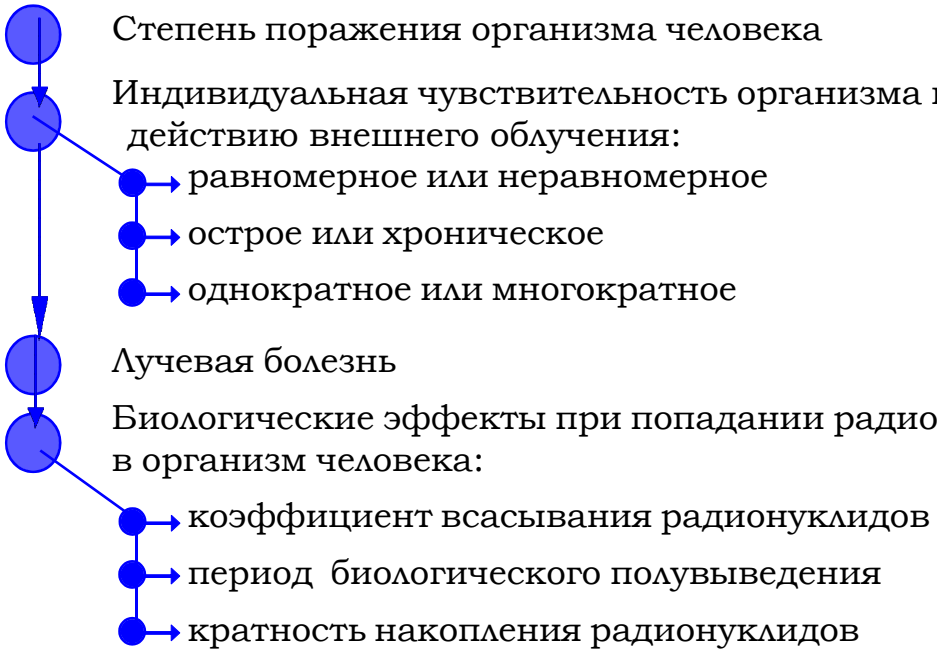
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Оборудование : схемы: « Строение животной клетки », « Тканевые весовые множители W_T», « Органы пищеварения », « Строение кости », «Реакция организма человека на равномерное внешнее облучение», модель строения молекулы ***ДНК***, схемы: «Действие ионизирующего излучения на белки», «Действие ионизирующего излучения на нуклеиновые кислоты», «Радиационные синдромы».

Ход урока

I. **Организационный момент**

II. **Опорные точки урока**



III. **Письменный контроль знаний по теме** : «***Действие ионизирующего излучения на ткани, органы и системы органов человека***»

Работа по вариантам на 20-25 **минут**.

Вариант I

Задание 1. Расположите ниже перечисленные органы в порядке уменьшения степени поражения при действии *гамма-* (или рентгеновского) излучения:

а) половые железы; б) надпочечники; в) нервная ткань; г) органы дыхания; д) поджелудочная железа; ж) селезенка; з) почки.

……

Задание 2. Дайте определение следующим терминам и понятиям:

Малые дозы облучения человека – это……

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Отдаленные последствия облучения – это ……

Равномерное облучение – это ……

Задание 3. Опишите нарушения работы кроветворных органов и органов кровообращения при малых и больших дозах облучения.

Задание 4. Объясните, почему из органов пищеварения наибольшей радиочувствительностью обладает тонкий кишечник.

Задание 5. Опишите последовательность возникновения в организме различных радиационных синдромов под воздействием излучения.

Вариант II

Задание 1. Расположите ниже перечисленные органы в порядке уменьшения степени поражения при действии *гамма-* (или рентгеновского) излучения:
а) костный мозг; б) желудочно-кишечный тракт; в) мышечная ткань; г) печень; д) щитовидная железа; ж) лимфатические железы; з) мочевой пузырь.
……

Задание 2. Дайте определение следующим терминам и понятиям:
Большие дозы облучения человека – это……

Критический орган – это ……

Радиационный синдром – это ……

Задание 3. Опишите нарушения работы пищеварительных органов и половых желез при малых и больших дозах облучения.

Задание 4. Объясните, почему костномозговой (кроветворный) синдром возникает при меньших уровнях поглощенных доз нежели церебральный.

Задание 5. Установите взаимосвязь между скоростью деления клеток органа или ткани и вероятностью возникновения радиационных поражений.

IV. **Постановка учебной задачи**

Сегодня мы познакомимся с условиями, при которых ионизирующее излучение может вызвать поражение всего организма человека.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

V. **Изучение нового материала** (20-25 **минут**)

1. **Степень поражения организма человека**

▶ **Как вы думаете, что может определять степень и характер поражения организма человека?**

Учитель открывает заранее написанный перечень факторов, определяющих степень и характер поражения всего организма человека:

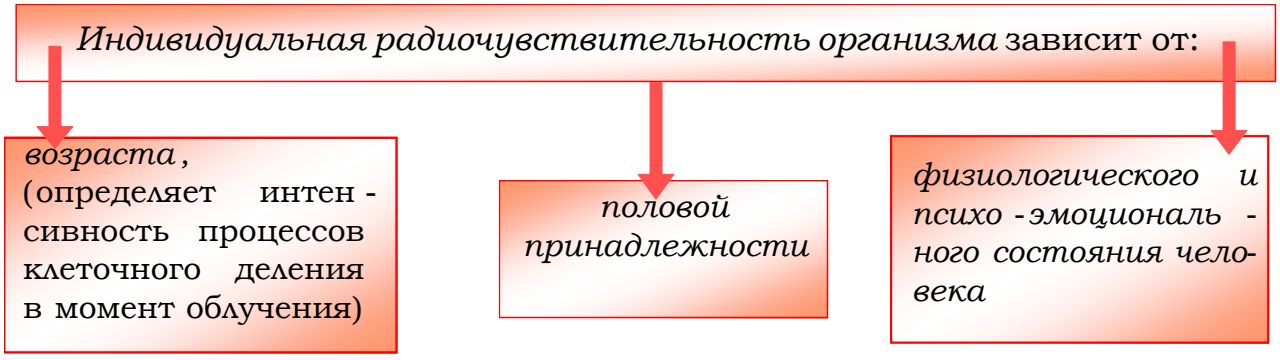
- величина поглощенной дозы,
- продолжительность облучения,
- характер облучения (внешнее или внутреннее),
- радиочувствительность тканей, органов и систем органов, подвергшихся воздействию излучения,
- индивидуальные особенности организма,
- другие факторы.

2. **Индивидуальная чувствительность организма на действие внешнего облучения**

▶ **Работа со схемой**

Организм каждого человека *обладает индивидуальной чувствительностью* к действию ионизирующего излучения.

Обратите внимание, на данной схеме показано, от чего зависит индивидуальная чувствительность организма.



Объяснение учителя

Последствия облучения зависят от радиочувствительности тканей, органов и систем органов, подвергшихся воздействию излучения.

Рассмотрим, как действует ***внешнее облучение*** на организм человека. Различные организмы по-разному реагируют на действие радиации. Поскольку млекопитающие по многим физиологическим параметрам близки человеку, результаты изучения биологических эффектов, вызванных действием ионизирующих излучений на этих животных, представляют чрезвычайную ценность.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Как показали исследования, большинство млекопитающих гибнет при получении поглощенной дозы *гамма-* (или *рентгеновского*) излучения, равной 10 Гр. Однако некоторые организмы (моллюски, дождевые черви, насекомые и др.) могут выжить и при дозах в десятки и даже сотни Грей. И среди млекопитающих есть уникальные виды (например, длиннохвостый суслик и другие грызуны высокогорных пустынь), обладающие высокой устойчивостью к действию радиации. Подобные различия связаны с биологическими особенностями облучаемых организмов.

При ***внешнем воздействии ионизирующего излучения*** последствия облучения человека, помимо перечисленных выше факторов, зависят от характера облучения:

- равномерное или неравномерное,
- острое или хроническое,
- однократное или многократное.

▶ **Работа с таблицей**. Внимательно рассмотрим таблицу:

Реакция организма человека на равномерное внешнее облучение

Поглощенная доза, Гр	Реакция организма
0 - 0,25	Отсутствие явных повреждений
0,2 - 0,5	Возможное изменение состава крови
0,5 - 1	Изменения в крови, усталость, слабая тошнота
1 - 2	Изменения в составе крови, рвота, явные патологические изменения. Развитие легкой степени лучевой болезни
2 - 4	Кровоизлияния. Временная стерильность
3 - 5	Тяжелая степень лучевой болезни. Смертность приближается к 50 %
6	Повреждения центральной нервной системы. Смертность приближается к 100 %
> 8	Смерть практически неизбежна

▶ **Как Вы думаете, почему реакция организма на внешнее облучение при дозе до 1 Гр сопровождается тошнотой, усталостью?**

Примерный ответ. Под действием ионизирующего излучения меняется проницаемость мембран эритроцитов (красных кровяных телец) и кровеносных сосудов. В результате, может нарушаться поступление кислорода и питательных веществ к клеткам различных тканей, а также удаление из них продуктов обмена. Недостаток эритроцитов в организме приводит к кислородному «голоданию» организма.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

3. **Лучевая болезнь**

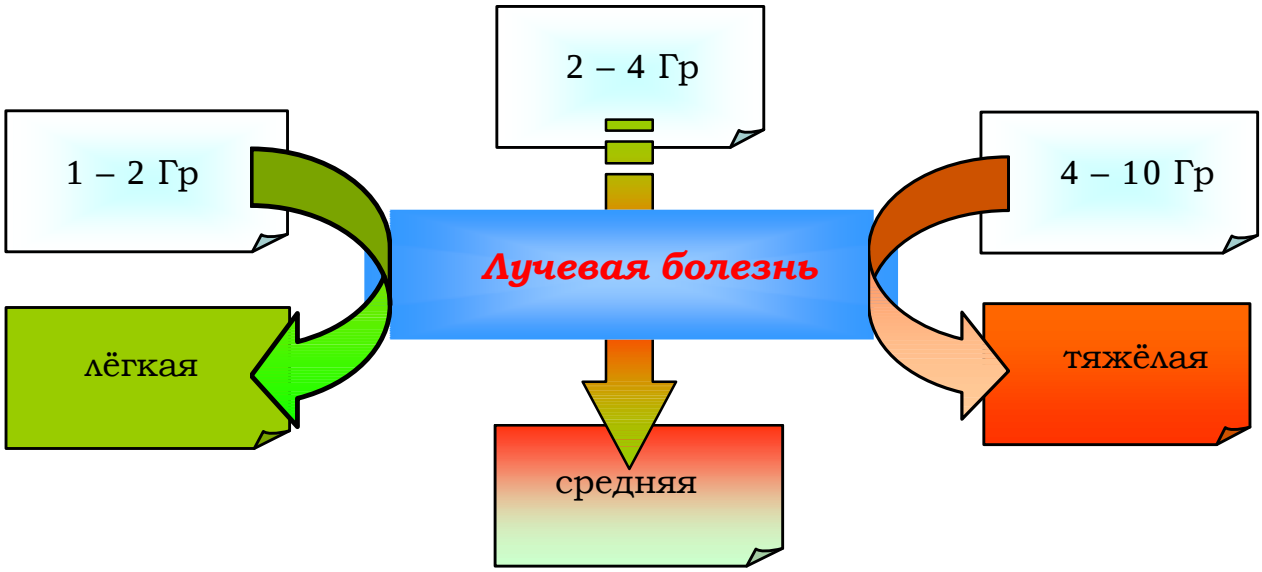
Большие дозы ионизирующего излучения приводят к лучевой болезни.

Лучевая болезнь — это комплексная реакция организма на большие дозы ионизирующего излучения.

Лучевая болезнь может быть *острой и хронической. Острая лучевая болезнь*, например, может возникнуть как реакция организма на действие ионизирующего излучения в больших дозах — от 1 до 10 Гр и более при *однократном равномерном* внешнем облучении.

▶ **Заполните пропуски в схеме**: «**Лучевая болезнь**», **помещенной в тетради на печатной основе**.

В зависимости от величины поглощенной дозы она может протекать в различной форме и по степени тяжести делится на легкую, среднюю и тяжелую, что отражает следующая схема.



При поглощенных дозах менее 1 Гр отмечаются нарушения в отдельных органах и системах организма . При дозах выше 10 Гр развивается крайне тяжелая форма болезни с очень быстрым течением и обычно завершается гибелью организма. Подобные условия облучения могут возникать при ядерных взрывах и тяжелых ядерных авариях.

4. **Биологические эффекты при попадании радионуклидов в организм человека**

Вспомните, что такое внутреннее облучение.

Примерный ответ. Внутреннее облучение вызывают радионуклиды, попавшие в организм

- *с пищей и водой,*
- *с вдыхаемым воздухом,*
- *через кожу.*

После всасывания в кровь радионуклиды разносятся по всему организму и в результате обменных процессов выводятся из организма.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

▶ Объяснение учителя

Внутреннее облучение человека происходит при попадании источника излучения внутрь организма.

Если в организм попадает *гамма*-излучающий радионуклид, то значительная часть энергии излучения из-за большой проникающей способности *гамма*-квантов остается непоглощенной и выносится за пределы организма.

Бета- и альфа-излучение обладают низкой проникающей способностью, поэтому практически вся энергия *альфа- и бета*-частиц поглощается в организме. При этом поглощение энергии *альфа*-частиц происходит в очень ограниченном объеме ткани.

Попавшие в организм (инкорпорированные) радионуклиды могут накапливаться в каком-либо органе. В этом случае *критическими* являются органы, избирательно накапливающие радионуклиды.

▶ Определим по каким же параметрам оценивают опасность радиоактивных частиц в организме?

Опасность радиоактивных веществ оценивают по следующим параметрам:

- *величине коэффициента всасывания радионуклида в кровь (в легких, в кишечнике и через кожу),*
- *продолжительности периода полувыведения,*
- *кратности накопления радионуклида в том или ином органе или ткани (или во всем организме).*

Все перечисленные параметры необходимы для оценки доз облучения органов, тканей, систем органов и организма человека в целом, поскольку от величины этих доз зависит степень повреждения организма.

1) **Коэффициент всасывания**, $K_{вс}$

Важным параметром, характеризующим всасывание в кровь радионуклидов, поступивших в организм через органы дыхания, пищеварения или через кожу, является *коэффициент всасывания (резорбции)*, $K_{вс}$.

Различают *коэффициенты всасывания (резорбции)* радионуклидов в кровь:

- в легких,
- в желудочно–кишечном тракте (ЖКТ),
- через кожу.

Коэффициент всасывания (резорбции) – это доля радионуклидов, поступивших в кровь в одном из перечисленных органов или системе органов, от общего количества радионуклидов, поступивших в эти органы.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Небольшая величина коэффициента всасывания радиоизотопа (несколько процентов и менее) при его поступлении в кровь в легких или через кожу свидетельствует о том, что радиоизотоп плохо всасывается в кровь. В этом случае в соответствующем органе (легких, коже) может происходить накопление радиоизотопа, причем тем в большей степени, чем меньше коэффициент его всасывания.

Небольшая величина коэффициента всасывания радиоизотопа (несколько процентов и менее) при его всасывании в кровь в ЖКТ (при поступлении радиоактивных веществ с пищей и водой) означает, что радиоизотоп не накапливается в организме. Он проходит через ЖКТ транзитом и выводится с калом.

Чем выше величина коэффициента $K_{вс}$ радиоизотопа в ЖКТ, тем в большей степени он всасывается в кровь и с кровотоком перераспределяется по организму человека.

Задание на дом: **изучить** § 4.

Урок 5. Пути поступления радионуклидов в организм человека и период биологического полувыведения радионуклидов

Задачи: раскрыть особенности поступления радиоизотопов в организм человека и их действие на организм; дать понятие о периоде биологического полувыведения радиоизотопов.

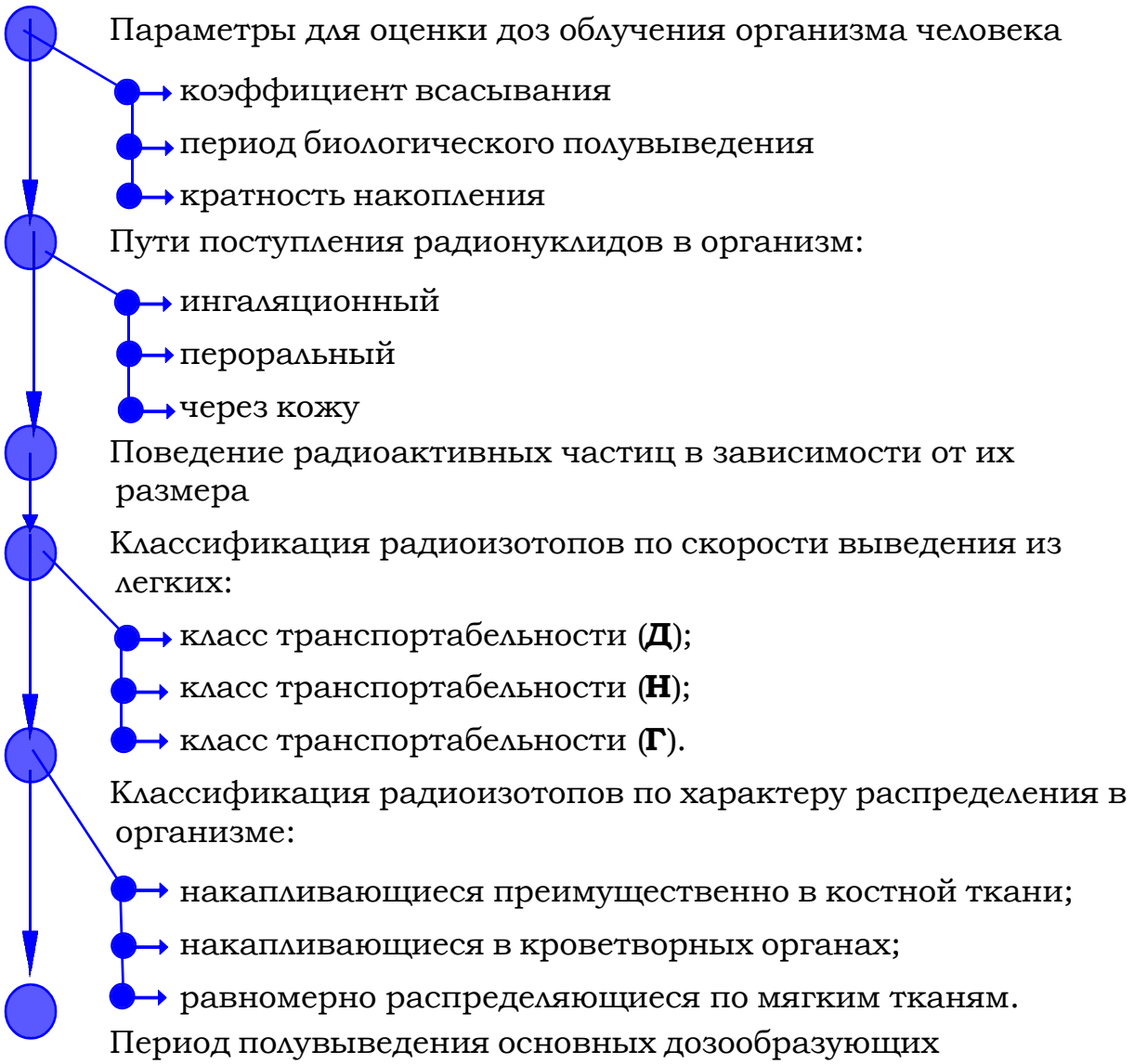
Оборудование : схемы: « Строение животной клетки », « Тканевые весовые множители W_T», « Органы пищеварения », « Строение кости », «Реакция организма человека на равномерное внешнее облучение», схемы: «Действие ионизирующего излучения на белки», «Действие ионизирующего излучения на нуклеиновые кислоты», «Радиационные синдромы», модель строения молекулы ***ДНК***.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Ход урока

I. **Организационный момент**

II. **Опорные точки урока**



III. **Изучение нового материала**

1. **Параметры для оценки доз облучения организма человека**

Вспомните, что такое период биологического полувыведения радиоизотопа и какова его продолжительность.

Ответ: Период биологического полувыведения ($T_б$) – это промежуток времени, в течение которого активность накопленного в организме (или в отдельном органе) радиоизотопа сокращается наполовину в результате естественных биологических процессов.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Величина этого периода может составлять от нескольких часов до сотен и тысяч лет, т. е. значительно превышать продолжительность жизни человека. *Например, период биологическогополувыведения* ^{137}Cs у человека меняется от *30* ***суток*** — в детском возрасте до *90* ***суток*** — в преклонном возрасте.

Объяснение учителя

Время, в течение которого органы и ткани подвергаются облучению, зависит не только от величины периода биологического полувыведения. С течением времени содержание попавших в организм радионуклидов уменьшается и в результате их радиоактивного распада.

Снижение содержания радионуклида в организме за счет протекания биологических процессов, способствующих его выведению из организма, и в результате радиоактивного распада радионуклида учитывают с помощью *эффективного периода полувыведения.*

Эффективный период полувыведения – это промежуток времени, в течение которого активность радиоизотопа в организме уменьшается вдвое за счет процессов биологического выведения и радиоактивного распада радиоизотопа:

$$T_{эф} = \frac{T_{1/2} \cdot T_{Б}}{T_{1/2} + T_{Б}}$$

где $T_{эф}$ – эффективный период полувыведения;

$T_{1/2}$ – период полураспада радиоизотопа;

$T_{б}$ – период биологического полувыведения радиоизотопа.

Например, эффективный период полувыведения ($T_{эф}$) для :

^{137}Cs — 70 суток, ^{90}Sr — 18 лет, $^{239,240}Pu$ — до 198 лет.

Чем больше величина эффективного периода полувыведения, тем дольше радионуклид остается в организме и тем больше эффективная доза внутреннего облучения организма.

Для оценки содержания радионуклида в определенном органе (ткани) или в организме в целом используют еще один показатель — *кратность накопления* радионуклидов.

Кратность накопления радионуклида *(**КН**)* — это отношение максимально накопленного количества радионуклидов в органе (ткани) или в организме в целом к количеству радионуклидов , ежесуточно поступающему в организм.

Если кратность накопления превышает единицу *(**КН** > 1)* , в органе (ткани) или в организме в целом происходит накопление радионуклида. При кратности накопления , равной единице *(**КН** = 1),* содержание радионуклидов остается постоянным. При кратности накопления меньше единицы *(**КН** < 1)* радионуклиды выводятся из органа (ткани) или организма.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

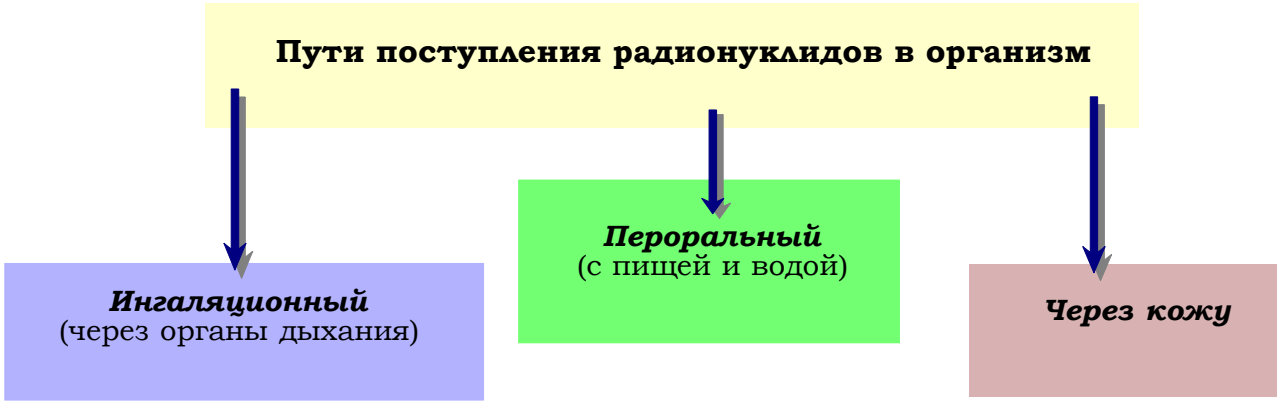
▶ **Как вы думаете, какими путями радионуклиды могут попасть в организм человека?**

Ответ: Радионуклиды могут попасть в организм через органы дыхания, кожу, с пищей и водой.

Верно, радионуклиды могут попасть в организм ингаляционным путем, перорально и через кожу (демонстрируется таблица).

& Работа с текстом учебного пособия

Рассмотрите схему «Пути поступления радионуклидов в организм человека». По ходу объяснения переносите в тетрадь на печатной основе информацию о путях поступления радионуклидов в организм человека.



Рассмотрим подробнее пути поступления радионуклидов в организм.

1. **Ингаляционное поступление**

Поступление радионуклидов в организм ингаляционным путем возможно , если в воздухе присутствуют радиоактивные газы или радиоактивные аэрозоли в виде пыли, тумана, дыма. Из-за большого объема воздуха, проходящего через органы дыхания, этот путь наиболее опасен. Биологические процессы с участием радионуклидов при их поступлении в легкие с вдыхаемым воздухом определяют:

- размеры частиц аэрозолей, с которыми связаны радиоактивные вещества;
- физико-химические свойства аэрозолей и соединений, из которых состоят радиоактивные частицы;
- транспортабельность аэрозолей и соединений радионуклидов в организме.

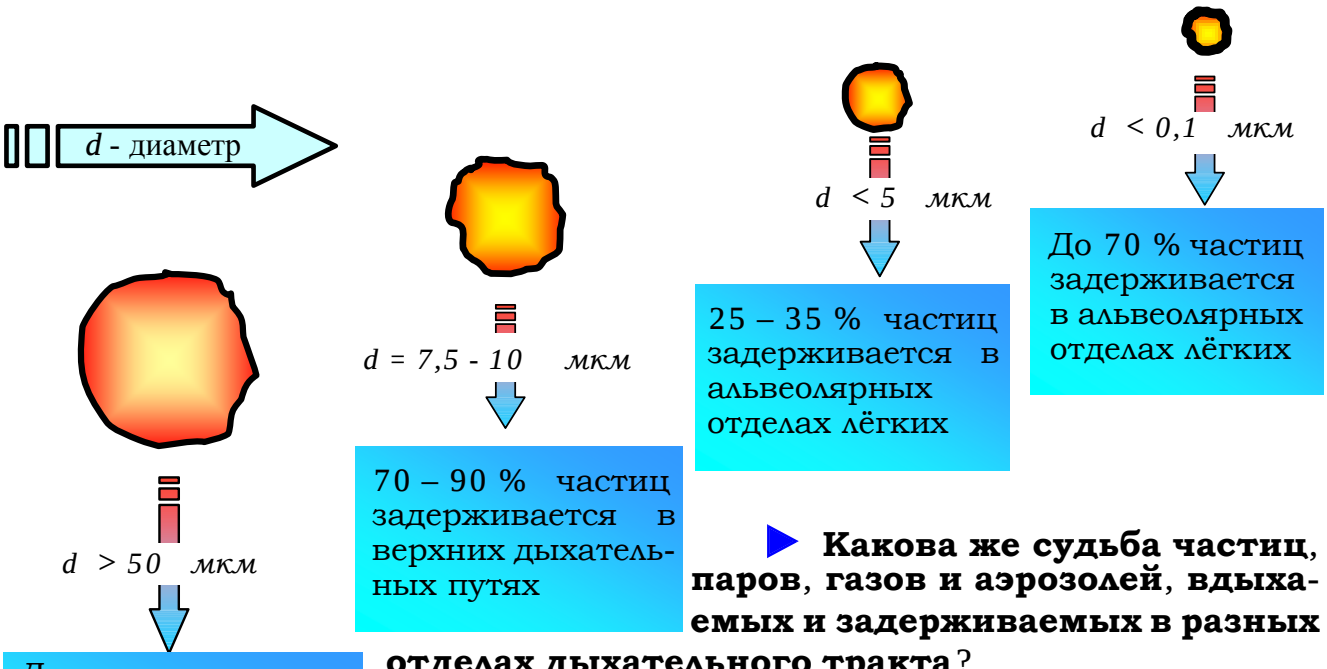
Эти же характеристики определяют пути и скорость выведения радионуклидов из легких.

Работа со схемой

Поведение радиоактивных частиц в зависимости от их размера показано на следующей схеме:

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Поведение радиоактивных частиц в зависимости от их размера



Какова же судьба частиц, паров, газов и аэрозолей, вдыхаемых и задерживаемых в разных отделах дыхательного тракта?

Судьба частиц, паров, газов и аэрозолей, вдыхаемых и задерживаемых в разных отделах дыхательного тракта, неодинакова.

Хорошо растворимые вещества еще в процессе дыхания могут очень быстро проникать в кровь. Широко развитая в органах дыхания сеть капилляров , через которую осуществляется газообмен, способствует этому процессу. Поступление радионуклидов в кровь характеризуют с помощью *коэффициента всасывания (резорбции)*

После проникновения в кровь радионуклиды либо выводятся из организма, либо накапливаются в определенных органах или тканях.

Малорастворимыеи практическинерастворимыевещества из верхних дыхательных путей удаляются вместе со слизью и могут попасть в желудочно-кишечный тракт. Если радиоактивные частицы задерживаются легкими, в этом случае органы дыхания становятся критическими по дозовой нагрузке.

Существует классификация радионуклидов в соответствии со скоростью их выведения из легких (транспортабельностью).

Все радионуклиды и их соединения разделяют по скорости выведения из легких на *три класса — Д, Н* и *Г*, характеристика которых приведена в таблице.

Работа с текстом учебного пособия

Рассмотрите таблицу «Классификация радионуклидов по скорости выведения из легких (транспортабельности)». Обратите внимание на характеристики радионуклидов разных классов транспортабельности и их положение в Периодической системе химических элементов Д.И. Менделеева .

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Классификация радионуклидов по скорости выведения из легких (транспортабельности)

Класс транспор-табельнос-ти	Биологический период полувыведения из легких	Описание
Д	дни	Соединения радионуклидов, у которых коэффициент всасывания в легких максимален: 0,75 (75 %) - 1,0 (100 %). Это соединения элементов главной подгруппы I группы и элементов I, II и, отчасти, III периодов Периодической системы. Соединения этих элементов, как правило, хорошо растворимы и быстро всасываются в кровь. В эту группу входят соединения калия (*K*), цезия (*Cs*), стронция (*Sr*).
Н	недели	Все соединения иттрия (*Y*), кроме оксидов, соединения отдельных представителей лантанидов (оксиды лантана (*La*), соединения гадолиния (*Gd*) и др.
Г	годы	Соединения отдельных представителей лантанидов и актинидов: оксиды церия (***Ce***), урана (*U*), плутония (*Pu*), америция (*Am*) оксиды иттрия (*Y*), соединения циркония (*Zr*) и др.

2. Пероральное поступление радионуклидов в организм человека

Пероральный (с пищей и водой) — второй по значимости путь поступления радионуклидов в организм человека.

Радионуклиды, которые входят в состав хорошо *растворимых* соединений и хорошо всасываются в кровь в легких, хорошо всасываются в нее и в кишечнике. При этом в кишечнике радионуклиды всасываются в кровь даже лучше, чем в легких. Количество радионуклидов, поступающих в кровь в легких, составляет порядка 75 % от количества радионуклидов, поступающих в кровь в кишечнике. Это связано с тем, что в процессе дыхания часть радионуклидов успевает покинуть организм вместе с выдыхаемым воздухом.

Радионуклиды, входящие в состав *малорастворимых* и практически *нерастворимых* соединений, ведут себя иначе. В легких общее количество всасываемых в кровь радионуклидов в десятки и сотни раз больше, чем в кишечнике. И это несмотря на то, что процесс растворения после отложения в верхних дыхательных путях, на слизистой трахеи и средостения протекает очень медленно. Еще медленнее происходит поступление этих радионуклидов в кровеносные сосуды.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Найдите в тексте учебного пособия информацию о том, почему в легких общее количество всасываемых в кровь радионуклидов в десятки и сотни раз больше, чем в кишечнике.

«Большее всасывание в кровь радионуклидов, поступивших через органы дыхания, объясняется тем, что время их пребывания в легких в сотни раз превышает время нахождения радионуклидов в кишечнике».

Объяснение учителя

Радиоактивные вещества, попавшие в организм с продуктами питания, всасываются практически на всем протяжении желудочно-кишечного тракта. Минимальное количество радионуклидов всасывается в желудке, двенадцатиперстной и слепой кишках, максимальное – в тонком кишечнике. Интенсивность всасывания зависит от физиологического состояния организма и химических особенностей радионуклидов (состава, формы соединений и др.).

Работа с Периодической системой Д.И.Менделеева

Полностью всасываются в пищеварительном тракте соединения калия, цезия, элементов II периода (за исключением бериллия). Несколько хуже всасываются соединения кальция, стронция и др. Плохо всасываются соединения трансурановых элементов (урана, плутония, америция).

Соединения радионуклидов, коэффициент всасывания которых в пищеварительном тракте составляет менее 1 % (соединения циркония, ниобия, редкоземельных элементов), очень быстро, в течение 1 – 4 суток, выводятся с калом из организма. Поскольку соединения, содержащие в своем составе эти элементы, непродолжительное время контактируют с организмом (только в период прохождения радионуклидов через желудочно-кишечный тракт), получаемые организмом дозы облучения незначительны. Энергия *альфа*- и *бета*-излучения радионуклидов этой группы поглощается преимущественно содержимым желудочно-кишечного тракта и в значительно меньшей степени — кишечной стенкой.

3. Поступление радионуклидов через кожу

Радионуклиды могут проникнуть в организм через всевозможные ссадины и порезы и даже через неповрежденную кожу.

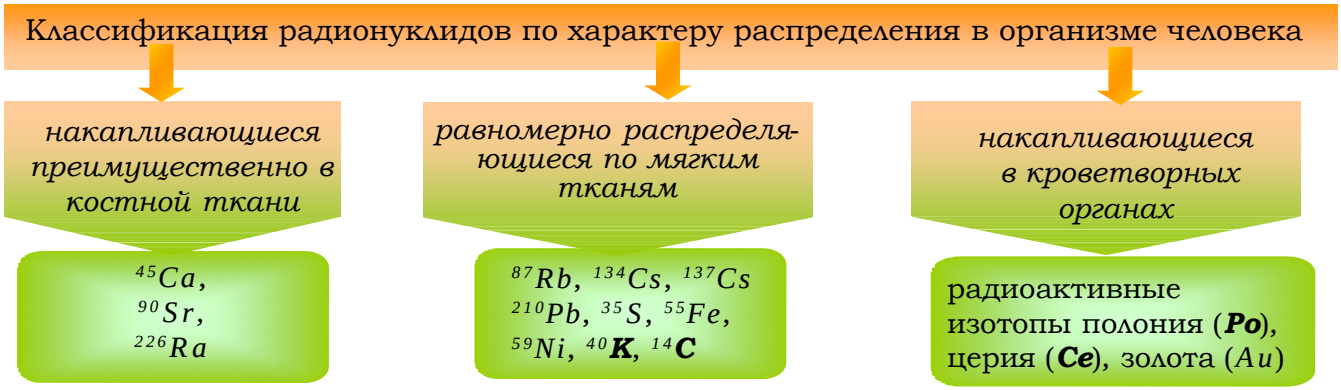
При проникновении радиоактивных веществ через кожу важную роль играют те же факторы, которые определяют проницаемость кишечной стенки и легочной ткани. Различия заключаются лишь в размерах поверхности кожи, более значительной ее толщине и наличии рогового и блестящего слоев эпидермиса.

Если вещество проникло через эти слои, то остальные участки эпидермиса и дермы (слоя, расположенного под эпидермисом) практически не препятствуют дальнейшему продвижению соединений радионуклидов.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Радиоактивные вещества довольно быстро всасываются из кожи в кровь. Скорость их всасывания сравнима со скоростью всасывания в кишечнике. При поверхностном загрязнении радиоактивные вещества попадают в микротрещины, ссадины, потовые, сальные железы или волосяные фолликулы кожи. Там они могут либо достаточно долго оставаться, либо в результате диффузии достигать кровеносных и лимфатических сосудов и с током крови перераспределятся в организме.

Распределение радионуклидов в организме человека



▶ **Работа с таблицей** «Коэффициенты всасывания, периоды полураспада и биологического полувыведения основных дозообразующих радионуклидов чернобыльского выброса»

Изотоп	Коэффициент всасывания		Период полураспада	Период биологического полувыведения
	ЖКТ	легкие		
^{131}I	1,0 (100 %)	0,75 (75 %)	8,0 суток	138 суток
^{137}Cs	1,0 (100 %)	0,75 (75%)	30,17 лет	70 суток
^{90}Sr	0,3 (30 %)	0,45 (45%)	28,5 лет	49,3 года
^{239}Pu	0,002 (0,2 %)	0,25 (25 %)	24 100 лет	до 200 лет
^{241}Am			432,7 года	

При пероральном и ингаляционном поступлении *легко всасывающихся* соединений радионуклидов *кратность накопления* (**КН**) *радионуклидов* в организме одинакова. С уменьшением всасывания кратность накопления радионуклидов при ингаляционном поступлении увеличивается, а при пероральном снижается.

При хроническом пероральном поступлении подавляющее большинство радионуклидов не накапливается в организме (**КН** у них меньше единицы). Высокая кратность накопления в организме характерна для ^{45}Ca, ^{89}Sr, ^{90}Sr и всех изотопов радия (Ra).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

При ингаляционном поступлении радионуклидов в организм человека (особенно при хроническом) поступлении они могут накапливаться в легких. В этом случае кратность накопления радионуклидов в легких может значительно превышать единицу. Самая высокая кратность накопления в легких (108–116) отмечена для оксидов урана (U), плутония (Pu), тория (Th), палладия (Pd) и калифорния (Cf).

Максимальная кратность накопления в отдельном органе зарегистрирована для радиоактивного йода в щитовидной железе, независимо от способа поступления элемента в организм человека.

^{90}Sr в значительной степени накапливается в костной ткани (кратность накопления — 91). ^{137}Cs в небольшой степени накапливается в мышцах (кратность накопления — 2,6).

Кратность накопления радионуклидов в организме в целом или в конкретном органе зависит от периода полураспада и может быть различной для изотопов одного и того же химического элемента. Например, при поступлении в организм радиоактивного йода кратность накопления в щитовидной железе ^{129}I, период полураспада которого составляет $1{,}57 \cdot 10^{7}$ лет, может достигать 3 000, а при поступлении ^{131}I, имеющего период полураспада 8,0 суток, — около 160. Это означает, что ^{129}I значительно в большей степени накапливается в щитовидной железе по сравнению с ^{131}I.

Йод

- при любом поступлении в организм активно накапливается в щитовидной железе
- участвует в тех же метаболических процессах в организме, что и стабильный йод

Стронций

- по химическим свойствам близок к кальцию (является его химическим аналогом)
- при поступлении в организм включается в обмен веществ совместно с кальцием

Цезий

- по своим свойствам близок к калию (является его химическим аналогом)
- хорошо всасывается в кровь независимо от путей поступления в организм
- достаточно равномерно распределяется по различным органам и тканям

Плутоний и америций

- могут поступать в организм как при дыхании, так и через желудочно-кишечный тракт и кожу
- попав в легкие в составе *малорастворимых* радиоактивных частиц, могут оставаться там на долгие годы
- поступив в кровь, в основном, накапливаются в печени и скелете

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Вывод

К основным факторам, влияющим на величину поглощенной дозы, получаемой тканями и органами при внутреннем облучении организма, относятся:

- способ поступления радионуклидов в организм,
- продолжительность поступления радионуклидов,
- распределение радионуклидов в организме,
- время пребывания радионуклидов в организме (продолжительность эффективного периода полувыведения),
- вид ионизирующего излучения, испускаемого при радиоактивном распаде радионуклидов,
- содержание радионуклидов в органе или ткани,
- масса облучаемой ткани,
- отношение массы облучаемой ткани к массе всего тела.

Анализ всех этих факторов позволяет определить дозы облучения отдельных органов и тканей при поступлении радионуклидов в организм с вдыхаемым воздухом, потребляемыми продуктами питания и питьевой водой.

Задание на дом: изучить § 5, подготовить перечень способов, с помощью которых можно уменьшить поступление радионуклидов внутрь организма.

Урок 6. Последствия облучения организма человека

Задачи: показать особенности последствий различных облучений организма человека; раскрыть понятия «детерминированные» и «стохастические эффекты»;

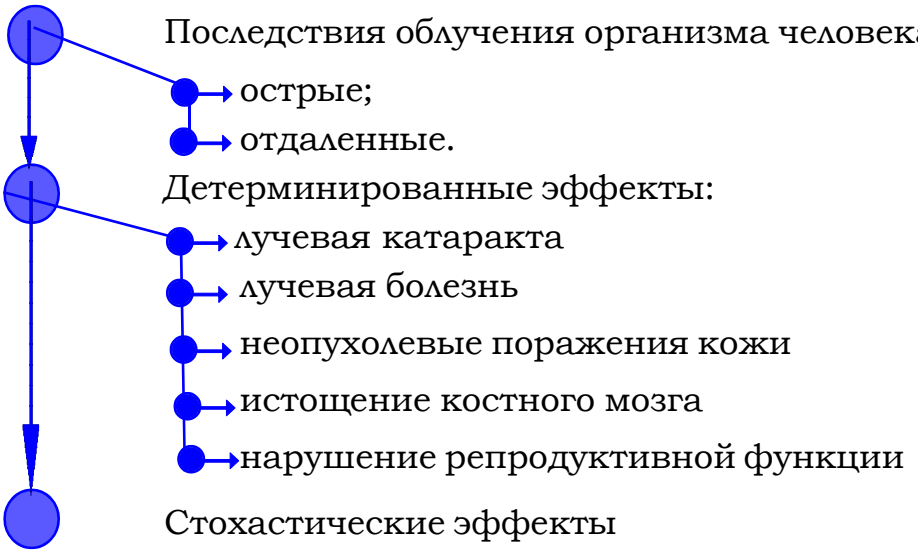
Оборудование : схемы: « Строение животной клетки », « Тканевые весовые множители W_T», « Органы пищеварения », « Строение кости », «Реакция организма человека на равномерное внешнее облучение », «Действие ионизирующего излучения на нуклеиновые кислоты», «Действие ионизирующего излучения на белки», «Радиационные синдромы», модель строения молекулы ***ДНК***.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Ход урока

I. **Организационный момент**

II. **Опорные точки урока**



III. **Тематический контроль знаний**: «**Действие ионизирующего излучения на организм человека. Пути поступления радионуклидов в организм человека и период биологического полувыведения радионуклидов из организма**»

Работа по вариантам на 20-25 **минут**.

Вариант I

Задание 1. Из перечисленного ниже исключите лишнее.

Параметры, необходимые для оценки доз облучения органов, тканей, систем органов и организма человека в целом:

а) величина коэффициента всасывания радиоизтопа в кровь (в легких, кишечнике и через кожу),

б) продолжительность периода полувыведения,

в) время года, когда человек подвергался облучению,

г) кратность накопления радионуклидов в том или ином органе или ткани (или во всем организме).

Ответ: в)

Задание 2. Среди перечисленных радионуклидов выберите те, которые накапливаются преимущественно в мягких тканях:

а) ^{45}Ca, ^{87}Rb, ^{90}Sr, ^{40}**K**, ^{134}Cs, ^{210}Pb, ^{226}Ra, ^{35}S.

Задание 3. Опишите особенности поступления радионуклидов в организм человека ингаляционным путем.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Задание 4. Объясните, почему период биологического полувыведения ^{137}Cs у человека меняется от *30* ***суток*** — в детском возрасте, до *90* ***суток*** — в преклонном возрасте.

Задание 5. Приведите примеры способов снижения поступления радионуклидов внутрь организма.

Вариант II

Задание 1. Из перечисленного ниже исключите лишнее.

Биологические процессы с участием радионуклидов при их поступлении в легкие с вдыхаемым воздухом определяют:

а) размеры частиц аэрозолей, с которыми связаны радиоактивные вещества;

б) форма аэрозольных частиц,

в) физико-химические свойства аэрозолей и соединений, из которых состоят радиоактивные частицы;

г) транспортабельность аэрозолей и соединений радионуклидов в организме.

Ответ: б)

Задание 2. Среди перечисленных радионуклидов выберите те, которые накапливаются преимущественно в костной ткани:

а) ^{45}Ca, ^{87}Rb, ^{90}Sr, $^{40}\boldsymbol{K}$, ^{134}Cs, ^{210}Pb, ^{226}Ra, ^{35}S, ^{55}Fe

Задание 3. Опишите особенности поступления радионуклидов в организме человека пероральным путем.

Задание 4. Объясните, почему скорость всасывания радионуклидов, поступивших через кожу, сравнима со скоростью всасывания их в кишечнике.

Задание 5. Приведите примеры способов снижения внешнего облучения организма человека.

IV. **Постановка учебной задачи**

V. **Изучение нового материала**

▶ **Работа с текстом**

Прочтите текст в учебном пособии. Запишите определения острых и отдаленных последствий. Найдите особенности проявления острых и отдаленных последствий облучения организма человека, в тетради на печатной основе заполните схему: «Последствия облучения организма человека».

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Возможный вариант схемы

Последствия облучения организма человека

Острые последствия	**Отдаленные последствия**
1. Являются результатом кратковременного поглощения большой дозы ионизирующего излучения при облучении значительной части тела или местном облучении критических органов, тканей или систем органов, повреждение которых будет в наибольшей степени влиять на жизнедеятельность организма. 2. Проявляются сразу или в короткие сроки после облучения (в течение нескольких часов, дней, недель) обычно в органах и тканях с *быстро делящимися клетками* и в большинстве случаев приводят к гибели значительного числа клеток. 3. Лучевая болезнь, нарушение репродуктивной функции, истощение красного костного мозга, неопухолевые формы поражения кожи — острые последствия облучения.	Являются результатом *действия ионизирующего излучения* на организм человека в различных дозах. Например, в органах и тканях, сформированных из медленно делящихся и неделящихся клеток, могут проявляться в результате кратковременного поглощения большой дозы ионизирующего излучения. 2. Проявляются через значительный промежуток времени (иногда через 10 – 20 лет) после облучения. 3. Лейкозы, рак молочной и щитовидной желез, легких, кожи — отдаленные последствия облучения

Текст в учебном пособии:

«Действие ионизирующего излучения на организм человека может приводить к *острым* и *отдаленным последствиям*.

Острые последствия являются результатом кратковременного поглощения большой дозы ионизирующего излучения при облучении значительной части тела или местном облучении критических органов, тканей или систем органов, повреждение которых будет в наибольшей степени влиять на жизнедеятельность организма.

Острые последствия облучения проявляются сразу или в короткие сроки после облучения (в течение нескольких часов, дней, недель).

Полученная практически мгновенно большая поглощенная доза (порядка 5 Гр и более) при воздействии ионизирующего излучения на все тело человека с большой степенью вероятности приведет к летальному исходу в течение нескольких недель. Это связано с тем, что подобное облучение приводит к серьезным нарушениям костного мозга и пищеварительной системы.

Усилиями врачей можно спасти жизнь человека, получившего дозу до 5 Гр. Однако, если поглощенная организмом доза достигает нескольких десятков Грей (например, 60 Гр), никакие усилия медицинского персонала не помогут человеку избежать летального исхода.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Острые последствия облучения обычно проявляются в органах и тканях с быстро делящимися клетками и в большинстве случаев приводят к гибели значительного числа клеток.

В органах и тканях, сформированных из медленно делящихся и неделящихся клеток, в результате *кратковременного поглощения большой дозы ионизирующего излучения* происходят изменения, которые могут привести к заболеваниям через значительный промежуток времени (иногда через 10 – 20 лет) после облучения. Подобные эффекты относят к *отдаленным последствиям облучения*.

Отдаленные последствия облучения — это заболевания, вызванные действием ионизирующего излучения на организм и возникающие спустя длительное время после облучения.

Последствием дополнительного облучения организма человека сверх облучения от естественного радиационного фона в обычной среде его обитания, как правило, является сокращение жизни человека. Основанием для такого заключения послужили результаты наблюдений за подопытными животными, которые по многим физиологическим параметрам близки человеку.

Оценка, сделанная на основе результатов исследования подобного эффекта у мышей (с поправкой на особенности организма человека), показала, что при *однократном* внешнем облучении каждые 0,01 Гр поглощенной дозы *гамма*-излучения сокращают жизнь человека на 1 – 15 суток, а при *хроническом* облучении — на 0,08 суток.

Чтобы выяснить, к каким последствиям может приводить действие ионизирующего излучения на человека, проводили медицинские наблюдения в больших группах облученных людей. В основном это были жертвы атомных бомбардировок в Хиросиме и Нагасаки. Наблюдали также за состоянием здоровья шахтеров урановых рудников, жертвами радиационных аварий и катастроф (включая участников ликвидации последствий Чернобыльской катастрофы), больными, которые подвергались терапевтическому облучению, работниками атомной энергетики и промышленности.

Кроме того, проводили радиобиологические исследования животных, которых подвергали облучению в лабораторных условиях. Такие же наблюдения велись в контрольных группах, члены которых не подвергались облучению. По численности и составу группы облученных и необлученных людей или животных были максимально близки. Результаты наблюдений по заболеваемости в тех и других группах сравнивали между собой.

Как показали наблюдения, сокращение жизни, в основном, связано с увеличения частоты заболеваний крови (лейкозов) и раковых заболеваний отдельных органов и тканей. Первое место в этой группе заболеваний занимают лейкозы. Так, при медицинском обследовании выживших после бомбардировок в Хиросиме и Нагасаки, после двухлетнего скрытого (латентного) периода наблюдали развитие лейкозов, а, в среднем, через 6 – 7 лет после облучения регистрировали максимальную частоту лейкозов.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Действие ионизирующего излучения на человека может также вызывать рак молочной и щитовидной желез. Попадание радионуклидов с воздухом в организм человека может приводить к развитию рака легких. Облучение может вызывать и рак кожи. Все эти заболевания, вызванные действием ионизирующего излучения на организм человека, являются *отдаленными последствиями облучения*.

Объяснение учителя

Радиационные эффекты, возникающие в результате действия ионизирующих излучений на организм человека, разделяют на *детерминированные* (предопределенные, закономерные) и *стохастические* (случайные, вероятностные).

Рассмотрим подробнее радиационные эффекты.

Работа с таблицей: «**Виды радиационных эффектов**»

1. ***Детерминированные эффекты***

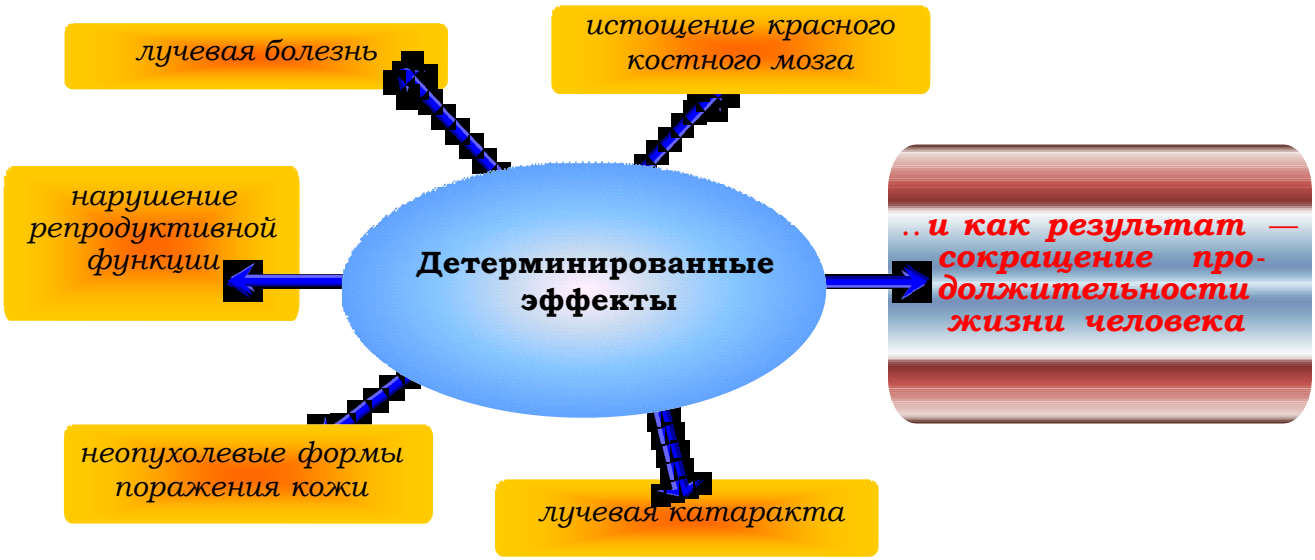
Детерминированные эффекты неизбежно возникают при превышении определенных дозовых уровней и характерны для больших поглощенных доз ионизирующего излучения *(1 Гр и выше)*.

К детерминированным эффектам относятся все острые последствия облучения (радиационные ожоги, лучевая болезнь и др.).

Детерминированные эффекты возникают в том случае, когда количество погибших клеток в отдельном органе или ткани превышает число вновь образующихся. Если серьезно повреждена ткань, играющая важную роль в жизнедеятельности организма, то конечным результатом может стать смерть человека. Детерминированныеэффекты наблюдаются при облучении всего тела человека или локальном облучении критических органов.

Работа со схемой

Рассмотрим, какие нарушения в организме человека могут вызывать детерминированные эффекты:

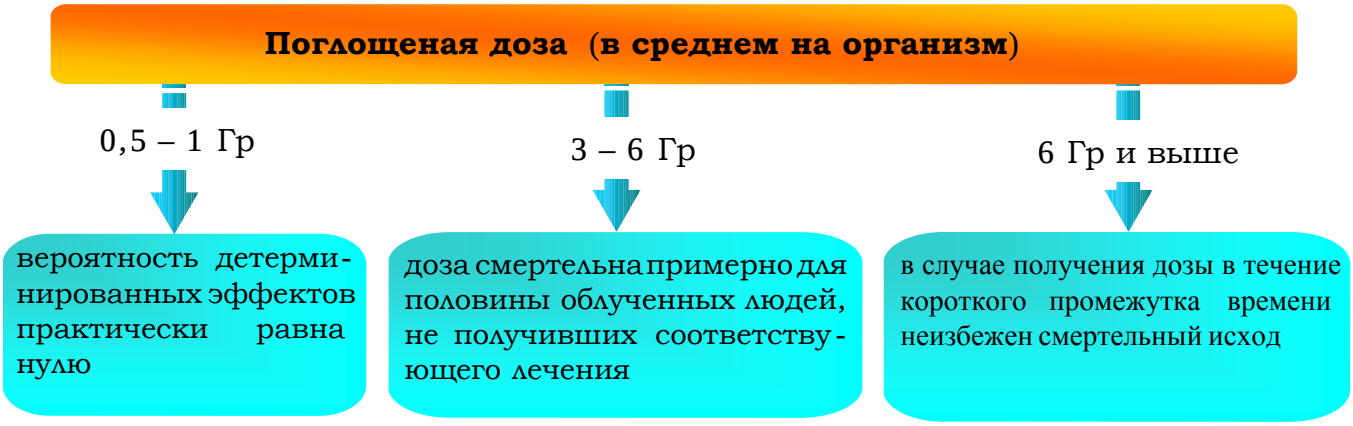


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Каждому человеку свойственна индивидуальная чувствительность к действию ионизирующего излучения.

У людей с неодинаковой радиочувствительностью исходные детерминированные эффекты могут проявляться при разных дозах облучения.

Работа со схемой:



С увеличением дозы облучения вероятность возникновения любого детерминированного эффекта возрастает, а при поглощенной дозе, превышающей определенный пороговый уровень, достигает 100 % для всех облученных лиц.

Если облучение проводится *многократно*, поглощенная доза суммируется, однако величина дозы (порог), при которой вероятность возникновения детерминированного эффекта достигает 100 %, возрастает. Это свидетельствует о том, что за период времени между облучениями организм человека обладает способностью устранять нарушения, вызванные облучением. Благодаря этому организм способен ликвидировать негативные последствия облучения. Правда, компенсация обычно не бывает полной, и после многократного облучения в организме накапливаются необратимые изменения. В результате, человек, получивший большую дозу облучения, спустя некоторое время после выздоровления может вновь заболеть (отдаленные последствия облучения).

К детерминированным эффектам относится и катаракта, вызванная действием ионизирующего излучения на органы зрения (глаза), несмотря на то, что она возникает через продолжительный период времени после облучения. Облучение глазного яблока может привести к повреждению клеточных волокон, составляющих хрусталик. В результате, может произойти помутнение хрусталика и ухудшение зрения.

Возникновение катаракты наблюдается при превышении определенного порогового уровня дозы облучения. При однократном воздействии *гамма*-излучения минимальная доза, вызывающая помутнение хрусталика, составляет 2 Гр. Если получение дозы растянуто во времени, то заболеваемость катарактой сокращается. При поглощенной дозе *гамма*-излучения в 6 Гр катаракта возникает у большинства облученных людей.

В процессе выведения радионуклидов из организма сосуды почек и почечная ткань подвергаются облучению. При больших поглощенных дозах

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

в органах выделения возможно возникновение нефросклероза, когда пораженные участки утрачивают функциональную активность и заменяются соединительной тканью.

Ионизирующее излучение может снижать естественную сопротивляемость организма инфекциям. Основными причинами подавления иммунитета являются радиационное поражение костного мозга и, как следствие, сокращение числа лейкоцитов крови, изменение их свойств. Ослабление иммунитета может наблюдаться и при хроническом облучении малыми дозами. При больших дозах одновременно гибнет большое число клеток, при малых дозах резкого сокращения клеток крови не происходит.

Стохастические эффекты

Стохастические эффекты характерны для средних (*от 0,2 до 1 Гр*) и малых (*менее 0,2 Гр*) поглощенных доз ионизирующего излучения. Они проявляются в виде раковых и генетических (наследственных) заболеваний и могут возникать через значительный период времени после облучения.

Стохастические эффекты — это эффекты, о которых невозможно определенно сказать реализуются они или нет. Можно лишь оценить вероятность их возникновения.

Стохастические эффекты возникают в том случае, когда облученная клетка не гибнет, а *изменяется*. Изменившаяся, но жизнеспособная клетка может дать в результате деления новое поколение измененных клеток. Если эти клетки не будут уничтожены защитной системой организма, то после продолжительного латентного периода может развиться раковое заболевание . При изменениях в половых клетках могут проявиться генетические (наследственные) нарушения.

Латентный (скрытый) период, когда заболевание никаким образом не проявляется, может быть различным. Тяжесть заболевания не зависит от величины полученной дозы, но по мере увеличения дозы возрастает вероятность возникновения заболевания.

Медицинское обследование тех, кто пережил атомные бомбардировки Японии в 1945 году, показало, что ионизирующее излучение обязательно вызывает рак или генетические нарушения в организме человека лишь при эффективных дозах, превышающих 1 Зв.Однако иногда подобные эффекты могут возникать и при значительно меньших дозах.

В настоящее время полагают, что стохастические эффекты (в отличие от детерминированных эффектов) являются *беспороговыми* , т. е. возникают при любых сколь угодно малых дозах облучения. Это означает, что изменения в клеточных структурах, лежащие в основе возникновения злокачественных новообразований и генетических нарушений возможны и при малых дозах облучения.

Закрепление изученного материала

Таким образом, действие ионизирующих излучений на организм человека может приводить к *острым* и *отдаленным последствиям*.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- **Что такое острые последствия облучения организма**?
  Ответ: Острые последствия являются результатом кратковременного поглощения большой дозы ионизирующего излучения при облучении значительной части тела или локальном облучении критических органов человека и проявляются сразу или в течение нескольких часов, дней, недель после облучения.

- **Что такое о*тдаленные* последствия облучения организма**?
  Ответ: Отдаленные последствия — это изменения в организме, вызванные действием на него ионизирующего излучения и возникающие спустя длительное время (иногда через многие годы) после облучения.

- **Что такое *детерминированные эффекты* облучения и когда они возникают**?
  Ответ : Детерминированные эффекты (предопределенные , закономерные) неизбежно возникают при превышении определенных (пороговых) уровней поглощенных доз и приводят к различным заболеваниям (радиационные ожоги, лучевая болезнь, радиационная катаракта и др.). Детерминированные эффекты характерны для больших доз облучения (1 Гр и выше).

- **Приведите примеры *детерминированных эффектов***
  Ответ: К детерминированным эффектам относят все острые последствия облучения. Детерминированным эффектом является и радиационная катаракта, которая возникает через большой период времени после облучения, когда превышен пороговый уровень поглощенной дозы облучения глазного хрусталика.

- **Что такое с*тохастические эффекты* и когда они возникают**?
  Ответ: Стохастические эффекты (случайные, вероятностные) проявляются в виде раковых и генетических заболеваний и могут возникать через значительный период времени после облучения. Подобные эффекты не являются неизбежными. Можно говорить лишь о вероятности их проявления в течение жизни человека. Стохастические эффекты могут и вовсе не проявиться. Они характерны для средних (от 0,2 до 1 Гр) и малых (менее 0,2 Гр) поглощенных доз ионизирующего излучения)

Задание на дом: изучить § 6, одному из учащихся поручается подготовить выступление о последствиях облучения населения при взрыве атомных бомб в Хиросиме и Нагасаки.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Урок 7. Принципы радиационной безопасности

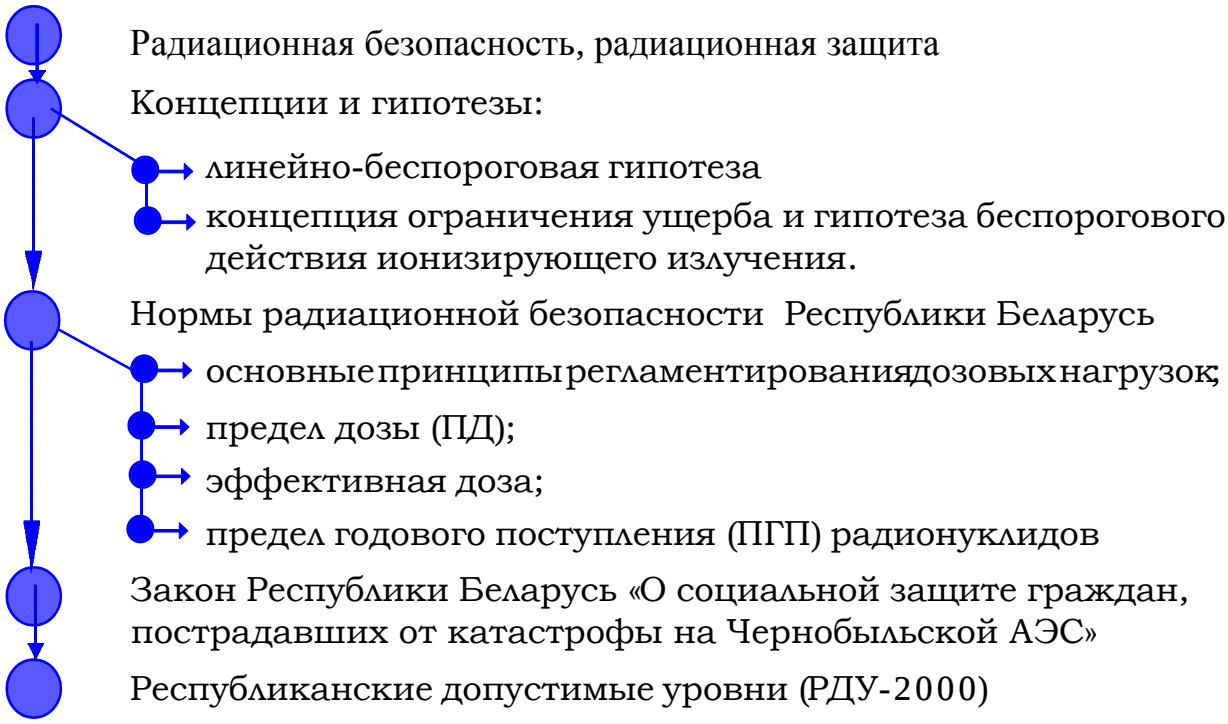
Задачи: раскрыть понятие «радиационная безопасность»; познакомить с некоторыми известными концепциями и гипотезами радиационной безопасности; дать представление о нормах радиационной безопасности.

Оборудование : таблицы : « Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов в пищевых продуктах и питьевой воде», «Реакция организма человека на равномерное внешнее облучение», схемы: «Основные принципы регламентирования дозовых нагрузок», « Радиационные синдромы».

Ход урока

I. **Организационный момент**

II. **Опорные точки урока**



▶ Вступительное слово учителя

На протяжении всей истории существования человека как биологического вида его организм постоянно подвергался воздействию ионизирующих излучений естественного происхождения. За сотни тысяч лет пребывания на Земле человек приспособился к жизни в подобных условиях, и его организм выработал определенные механизмы защиты от естественной радиации.

Однако за относительно короткий период жизни в «атомном» веке, организм человека не успел приспособиться к действию повышенных доз ионизирующих излучений. Поэтому искусственно созданные человеком источники ионизирующего излучения, которые широко используются в

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

современной жизни, могут представлять определенную опасность для здоровья и жизни людей. Использование человеком подобных источников требует постоянного совершенствования средств и способов защиты от их излучений.

III. **Постановка учебной задачи**

Сегодня мы познакомимся с понятием «радиационная безопасность», основными ее принципами, известными гипотезами и концепциями, нормами радиационной безопасности Республики Беларусь.

IV. **Изучение нового материала**

▶ **Работа с текстом учебного пособия**

● **Найдите в тексте, чем определяется радиационная безопасность населения?**

«***Радиационная безопасность*** населения определяется степенью защищенности настоящего и будущего поколений людей от вредного для их здоровья действия ионизирующего излучения».

● **Что является главной целью радиационной безопасности и какими путями эта цель достигается?**

«***Главной целью*** радиационной безопасности является охрана здоровья людей (включая и тех, кто работает с источниками ионизирующих излучений) от вредного воздействия ионизирующего излучения. Эта цель достигается путем введения определенных пределов (норм) на облучение людей, выше которых не допускается использование источников излучения».

● **Чем же обеспечивается радиационная безопасность?**

«***Радиационная безопасность*** может быть обеспечена комплексом научно обоснованных мероприятий, защищающих человека и объекты окружающей среды от вредного воздействия ионизирующего излучения».

● **Что такое радиационная защита?**

«***Радиационная защита*** — это комплекс методов и средств, направленных на обеспечение безопасных условий труда и жизни людей в условиях возможного воздействия ионизирующего излучения».

▶ **Найдите в тексте учебного пособия и запишите в тетрадь на печатной основе цели радиационной защиты.**

«**Цели радиационной защиты**:

- предупредить возникновение *детерминированных эффектов* путем поддержания доз ниже соответствующих пороговых уровней,
- обеспечить приемлемые меры для уменьшения вероятности возникновения *стохастических радиационных эффектов* при осуществлении *необходимых* видов деятельности, которые могут привести к облучению».

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Объяснение учителя

(При объяснении используется схема предполагаемой линейной зависимости вероятности возникновения раковых заболеваний от величины эффективной дозы, принятой в настоящее время Международной комиссией по радиологической защите — МКРЗ. См. Приложение VI).

В конце 70-х годов XX века в основу радиационного нормирования была положена *концепция ограничения вероятности преждевременной смерти вследствие возникновения стохастических радиационных эффектов*. Эта концепция опиралась на гипотезу о *беспороговом* действии излучения, т. е. представлении об отсутствии в области малых доз определенного уровня дозы, ниже которого стохастические радиационные эффекты не возникают. Эта гипотеза допускает возникновение стохастических радиационных эффектов при любых сколь угодно малых дозах облучения.

При *больших* дозах облучения в организме человека одновременно гибнет большое число клеток, и это стимулирует процесс размножения неповрежденных клеток. Однако ускоренное размножение клеток увеличивает опасность развития раковых заболеваний.

При *малых* дозах в короткие сроки после облучения ускоренного размножения клеток не происходит. Вместе с тем, с уменьшением эффективной дозы и ее мощности опасность возникновения раковых заболеваний не устраняется, *увеличивается лишь скрытый период до проявления заболевания*, и заболевание может не проявиться за оставшуюся часть жизни человека.

В настоящее время установлено, что вероятность возникновения *стохастических радиационных эффектов* зависит от величины дозы облучения. Однако до сих пор достоверно не известно, как вероятность возникновения стохастических эффектов облучения зависит от величины поглощенной дозы в диапазоне *малых* доз.

Для описания этой зависимости Международной комиссией по радиологической защите (МКРЗ) была предложена так называемая, *линейно-беспороговая гипотеза* возникновения стохастических радиационных эффектов. Согласно этой гипотезе, существует линейная зависимость между вероятностью возникновения *стохастических радиационных эффектов* и величиной эффективной дозы облучения человека (линейная модель) вплоть до уровня доз, получаемых жителями Земли от естественного радиационного фона.

(Демонстрируется схема предполагаемой линейной зависимости вероятности возникновения раковых заболеваний от величины эффективной дозы).

При уровне эффективной дозы облучения от естественного радиационного фона (в среднем 2,4 мЗв в год), вероятность возникновения раковых заболеваний у людей равна 25 %. Ниже этого уровня находится область значений доз, где не известно, как вероятность возникновения раковых заболеваний зависит от величины эффективной дозы облучения человека.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

В 2000 году НКДАР (Научный комитет по действию атомной радиации, образованный Генеральной Ассамблеей ООН в 1955 году) проанализировал все имеющиеся данные по биологическим эффектам при низких дозах ионизирующего излучения. Комитет пришел к заключению, что *линейно-беспороговая гипотеза* является наиболее научно обоснованной современной гипотезой, которая согласуется с имеющимися данными по возникновению раковых заболеваний у человека.

По характеру представленной на схеме линейной зависимости, построенной на основе данных, которые получены при *средних* и *высоких* эффективных дозах, можно оценивать вероятность возникновения раковых и генетических заболеваний при облучении в области *малых* доз.

В тоже время количество данных в области малых доз до сих пор остается ограниченным, и, по мнению НКДАР, существующие неопределенности не позволяют считать, что линейная зависимость имеет место абсолютно во всех случаях.

Так, при облучении организма *альфа*-частицами линейная модель позволяет адекватно оценивать риск возникновения раковых заболеваний у человека.

В случае же *бета*- и *гамма*-излучений линейная модель, по-видимому, ведет к завышенной оценке риска для большинства видов рака у человека. Однако эта модель может быть использована для определения верхнего предела риска возникновения раковых заболеваний в результате воздействия *бета*- и *гамма*-излучений.

С 90-х годов XX века в основу нормирования положена *концепция ограничения ущерба* в результате возникновения *стохастических радиационных эффектов*, которая также опирается на гипотезу о беспороговом действии ионизирующего излучения.

▶ **Найдите в тексте, что такое ущерб и как его определяют?**

«Ущерб» — это сложное понятие, которое в данном случае рассматривается только как вред, нанесенный здоровью людей и их потомству в результате облучения».

● **Запишите в тетрадь на печатной основе, что учитывает ущерб и в чем его выражают.**

«Ущерб учитывает:

- вероятность возникновения радиационных эффектов,
- степень тяжести радиационных эффектов,
- время их проявления.

Ущерб выражают количеством лет полноценной жизни человека, утраченных в результате заболевания или преждевременной смерти, вызванных облучением».

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Что учитывают при определении ущерба?

При определении ущерба учитывают:

- «вероятность преждевременной смерти в результате смертельного рака за оставшееся время жизни человека (это время зависит от возраста человека);
- вероятность тяжелого генетического нарушения, которое приводит к преждевременной гибели потомков облученных людей в первых двух поколениях;
- вероятность несмертельных (излечиваемых) случаев рака».

Объяснение учителя

Сведения о стохастических эффектах облучения получены в результате обследования:

- людей, переживших ядерные атаки в Хиросиме и Нагасаки,
- пациентов, подвергшихся облучению при лечении и диагностике,
- групп лиц, подвергшихся облучению во время работы.

Выступление учащегося с опережающим заданием

«При исследовании отдаленных последствий облучения человека самой многочисленной наблюдаемой группой была группа лиц, пострадавших от атомных бомбардировок в Японии. Она включала 280 000 человек.

Более 50 лет назад при взрыве атомных бомб в Хиросиме и Нагасаки люди, находившиеся неподалеку от места взрыва, в доли секунды получили смертельные дозы в тысячи Зиверт. Около 90 тыс. людей, находившихся вдали от места взрыва, получили дозу до 1 Зв и выжили. Их до сих пор наблюдают в японских клиниках . У многих из них обнаружены радиационные ожоги, катаракты, поражения половой системы. Однако до настоящего времени не было зарегистрировано ни одного случая появления генетических дефектов в последующих поколениях.

Тем не менее, окончательные выводы делать еще рано, поскольку генетические изменения могут накапливаться в виде мутаций, усиливаясь с каждым новым поколением. В конце концов, их непрерывное накопление может привести к такому сочетанию мутантных генов, которое проявится в виде генетических нарушений в последующих поколениях».

Объяснение учителя

Нормы радиационной безопасности в Республике Беларусь.

При разработке и утверждении норм радиационной безопасности Национальная комиссия по радиационной защите (НКРЗ) Республики Беларусь исходила из принятых международных норм по радиационной безопасности и основных принципов радиационной защиты. При этом учитывался опыт стран, достигших высокого уровня радиационной защиты населения, и отечественный опыт. Основой радиационного нормирования является регламентирование дозовых нагрузок.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Работа со схемой «Основные принципы регламентирования дозовых нагрузок»



Нормы радиационной безопасности в Республике Беларусь установлены для *персонала* и *населения*.

Персонал —

- профессиональные работники, постоянно или временно работающие с источниками ионизирующего излучения,
- лица по условиям работы находящиеся в зоне воздействия ионизирующих излучений.

Население — все лица, включая персонал, вне работы с источниками ионизирующего излучения.

Для каждой из этих категорий облучаемых лиц установлен *предел дозы облучения*

Предел дозы (ПД) — величина годовой эффективной или эквивалентной дозы техногенного облучения, которая не должна превышаться в условиях нормальной работы источников ионизирующего излучения.

При соблюдении предела годовой дозы предотвращается возникновение детерминированных эффектов, а вероятность стохастических эффектов сохраняется на приемлемом уровне.

При установлении предела дозы выбирается такой уровень эффективной дозы, при котором равномерное облучение тела человека (с одинаковой эквивалентной дозой во всех органах и тканях) не может вызвать неблагоприятных изменений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами

- для персонала — в течение 50 лет трудовой деятельности,
- для населения — в течение 70 лет жизни.

При этом пределы доз (**ПД**) не должны быть превышены ни в одном критическом органе организма человека.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Эффективная доза облучения не должна превышать:

- для *населения*:
  - *1 мЗв в год*,
  - *70 мЗв* — за период жизни *70 лет*;
- для *персонала* в нормальных условиях эксплуатации источников ионизирующего излучения:
  - *20 мЗв в* год,
  - *1 000 мЗв* — за период трудовой деятельности *50 лет*

дополнительно к эффективной дозе облучения от естественного радиационного фона.

Поступление радионуклидов внутрь организма человека нормируют с помощью такой характеристики, как *предел годового поступления радионуклидов*.

Предел годового поступления (ПГП) радионуклидов — это суммарная активность радионуклидов (в Беккерелях), поступление которых в организм условного человека в течение года может привести к получению эффективной дозы, равной пределу годовой дозы.

Пределы годового поступления радионуклидов устанавливают на основе принятых в стране пределов доз. В нашей стране пределы годового поступления радионуклидов в организм человека с пищевыми продуктами для *населения* составляют:

77 кБк — для ^{137}Cs
13 кБк — для ^{90}Sr
2,4 кБк — для $^{239+240}Pu$
2,7 кБк – для ^{241}Am

Согласно закону Республики Беларусь «О социальной защите граждан, пострадавших от катастрофы на Чернобыльской АЭС», на территории, где трудовая деятельность не требует никаких ограничений, средняя годовая эффективная доза облучения населения может превышать соответствующую дозу облучения от естественного радиационного фона не более, чем на *1 мЗв*.

В настоящее время на территории нашего государства действуют «*Республиканские допустимые уровни (РДУ-2000)*», регламентирующие содержание радионуклидов цезия и стронция в продуктах питания и воде.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Работа с таблицей

Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов в пищевых продуктах и питьевой воде

(А — удельные активности продуктов по соответствующему радионуклиду, А, Бк/кг или Бк/л)

Наименование продукта	А, Бк/кг(л)
Для ^{137}Cs	
Вода питьевая	10
Молоко и цельномолочная продукция	100
Молоко сгущенное и концентрированное	200
Творог и творожные изделия	50
Сыры сычужные и плавленые	50
Масло коровье	100
Мясо и мясные продукты, в том числе: • говядина, баранина и продуты из них • свинина, птица и продукты из них	 500 180
Картофель	80
Хлеб и хлебобулочные изделия	40
Мука, крупы, сахар	60
Жиры растительные	40
Жиры животные и маргарин	100
Овощи и корнеплоды	100
Фрукты	40
Садовые ягоды	70
Консервированные продукты из овощей, фруктов и ягод садовых	74
Дикорастущие ягоды и консервированные продукты из них	185
Грибы свежие	370
Грибы сушеные	2500
Специализированные продукты детского питания в готовом для употребления виде	37
Прочие продукты питания	370
Для ^{90}Sr	
Вода питьевая	0,37
Молоко и цельномолочная продукция	3,7
Хлеб и хлебобулочные изделия	3,7
Картофель	3,7
Специализированные продукты детского питания в готовом для употребления виде	1,85

Примечания:

1. Для продуктов питания, потребление которых составляет менее 5 кг/год на человека (специи, чай, мед и др.), допустимые уровни содержания радионуклидов в 10 раз выше, чем для прочих пищевых продуктов.

2. Для колбасных, мясных изделий и мясных консервов, в рецептуры которых входит конина, мясо диких животных, установлены такие же допустимые уровни содержания радионуклидов, как для говядины.

3. Для макаронных изделий установлены допустимые уровни содержания радионуклидов такие же, как для хлеба и хлебобулочных изделий.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Целью регламентирования содержания радионуклидов в продуктах питания и воде является снижение дозы внутреннего облучения населения республики.

Для лиц, проживающих на одной и той же загрязненной территории, дозы облучения могут быть различными в зависимости от возраста, образа жизни и т. д. Поэтому при радиационном контроле оценка эффективной дозы облучения населения , проживающего в загрязненной зоне , проводится по группе лиц, которые могут получить *максимальную дозу* облучения. Дозовые нагрузки, получаемые всем населением рассматриваемой зоны, характеризуют с помощью этой *максимальной дозы*. При этом годовая эффективная доза облучения населения не должна превышать установленного предела. Если среднегодовая доза облучения населения превышает установленные пределы доз, на радиоактивно загрязненной территории должны проводиться защитные мероприятия, вплоть до отселения людей.

Чтобы ограничить облучение населения от промышленных источников ионизирующего излучения, предпринимают меры, обеспечивающие:

- сохранность источников излучения,
- контроль над их применением.

При облучении населения в процессе проведения медицинских исследований контроль доз является обязательным.

Дозы облучения населения от совместного воздействия всех *природных источников излучения* не нормируют . Не нормируют также дозы, получаемые от космического излучения на поверхности Земли и создаваемые природным калием при внутреннем облучении, на которые практически невозможно влиять.

Однако вводят ограничения на облучение населения от отдельных видов природных источников излучения(например, радона).

Установленные нормы позволяют оценивать существующий уровень радиационной безопасности. Кроме того, нормирование служит основой для принятия мер, обеспечивающих создание условий, при которых радиационное воздействие на человека будет ниже допустимого уровня.

& Найдите в тексте и запишите в тетрадь на печатной основе, содержание каких природных источников излучения в различных объектах подвергается нормированию.

«*Нормируется*

§ содержание радона и продуктов его распада в помещениях жилого и производственного назначения,

§ удельная активность

Ø строительных материалов,

Ø фосфорных удобрений,

Ø мелиорантов в отношении некоторых природных радионуклидов (^{238}U или ^{226}Ra, ^{232}Th)».

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Установленные нормы позволяют оценивать существующий уровень радиационной безопасности. Кроме того, нормирование служит основой для принятия мер, обеспечивающих создание условий, при которых радиационное воздействие на человека будет ниже допустимого уровня.

Задание на дом. Повторить весь пройденный материал.

Урок 8. Итоговая контрольная работа

Контролируемый материал:

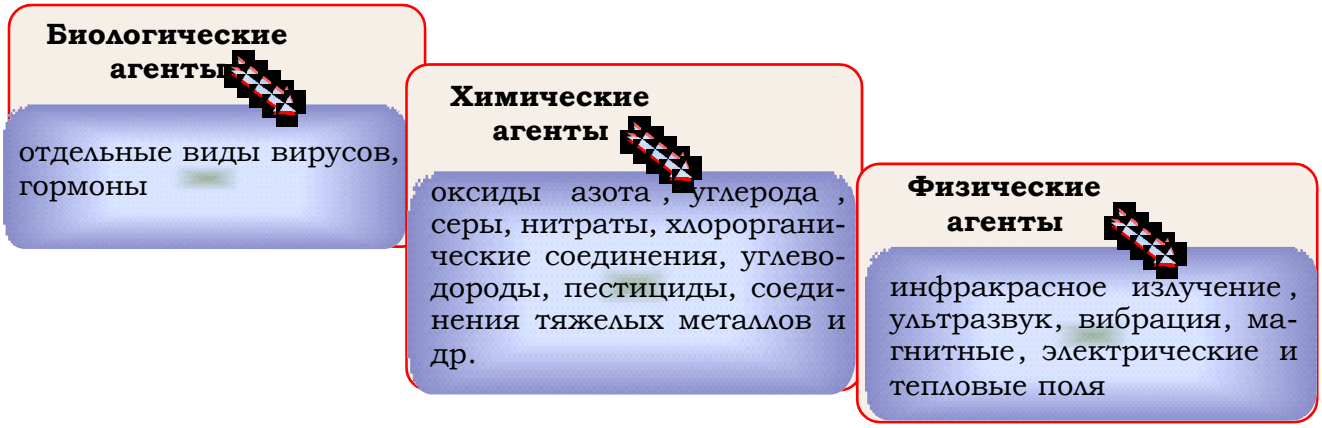
- Энергия солнечного излучения и излучения земных радионуклидов поддерживает биологический круговорот вещества и обеспечивает функционирование биосферы планеты.
- Ионизирующее излучение способно вызывать нарушения структуры биологических молекул в клетках, из которых сформированы ткани, органы человека, препятствуя их нормальному функционированию.
- В процессе эволюции на клеточном уровне в организмах выработались механизмы защиты от повреждающего действия естественных излучений. Дополнительное облучение, связанное с поступлением в окружающую среду радионуклидов искусственного происхождения, увеличивает вероятность возникновения радиационных эффектов , проявляющихся в виде различного рода заболеваний.
- Степень повреждения организма зависит от величины дозы и характера облучения.
- С целью уменьшения негативных последствий действия ионизирующего излучения на организм человека устанавливают верхний предел *эффективной дозы облучения* дополнительно к облучению от естественного радиационного фона. В Республике Беларусь величина этой *эффективной дозы составляет:*
  - Ø *1* ***мЗв в год***,
  - Ø *70* ***мЗв — за период жизни 70 лет***.
- На основе установленной величины предела годовой эффективной дозы регламентируют пределы годового поступления радионуклидов в организм человека с продуктами питания, водой и вдыхаемым воздухом.
- Регламентировано содержание *радионуклидов цезия и стронция* в продуктах питания и воде («*Республиканские допустимые уровни*»), что является основой

Ø контроля радиологического качества пищевых продуктов;

Ø снижения эффективной дозы внутреннего облучения людей за счет потребления пищевых продуктов и питьевой воды.

- Радиационное воздействие может сочетаться с воздействием фических, химических и биологических агентов.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



Сочетание радиационного и других факторов может ослаблять (антагонизм) или усиливать (синергизм) воздействие ионизирующего излучения на организм человека.

Вариант I

Задание 1. Дайте определение следующим терминам и понятиям:

1) Период биологического полувыведения — это.....
Примеры:.....

2) Предел годового поступления (ПГП) радионуклида — это.....
Примеры:.....

3) Отдаленные последствия облучения — это .....
Примеры:.....

4) Косвенное действие ионизирующего излучения на биологические объекты .....
Примеры:.....

Задание 2. Кратко опишите возникновение и проявление *стохастических радиационных эффектов* при равномерном облучении всего тела человека.
С какой целью вводятся нормы радиационной безопасности?

Задание 3. Составьте свою схему: «Действие ионизирующего излучения на клетки живых организмов».

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Вариант II

Задание 1. Дайте определение следующим терминам и понятиям:

1) Эффективный период полувыведения — это .....
Примеры.....

2) Прямое действие ионизирующего излучения на биологические объекты .....
Примеры:.....

3) Острые последствия облучения .....
Примеры:.....

4) Радиационный синдром — это .....
Примеры:.....

Задание 2. Кратко опишите возникновение и проявление *детерминированных радиационных эффектов* при облучении организма человека.

Задание 3. Составьте свою схему: «Действие ионизирующего излучения на ткани, органы и системы органов человека».

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Приложение VI
Иллюстрации к разделу 13.5

ДЕВЯТЫЙ КЛАСС

Схема строения животной клетки

Плазматическая мембрана

Состоит из двойного слоя липидов с погруженными в него белками. Функции: защита клетки, осуществление избирательной регуляции обмена веществ между клеткой и внешней средой, обеспечение контакта между соседними клетками

Пиноцитозные пузырьки

Одномембранные цистерны. Функции: накопление воды и других неорганических веществ, осморегуляция

Цитоплазма

Все содержимое клетки, заключенное между плазматической мембраной и ядром

Эндоплазматический ретиликум (ЭР)

Система уплощенных мембранных мешочков – цистерн, полостей, трубочек. На шероховатом ***ЭР*** расположены рибосомы. В его цистернах изолируются синтезированные на рибосомах белки. Функции: транспорт синтезированных белков, синтез липидов и стероидов

Центриоль

Система микротрубочек, построенных из белковых субъединиц. Функции: участие в образовании цитоскелета, веретена деления клетки, ресничек и жгутиков

Комплекс Гольджи

Система плоских одномембранных цистерн, расширенных на концах, и пузырьков, отцепляющихся или присоединяющихся к цистернам. Функции: накопление, преобразование белков и липидов, синтез полисахаридов, образование секреторных пузырьков, выведение веществ за пределы клетки, образование лизосом

Вакуоль

Одномембранные цистерны. Функции: накопление воды и других неорганических веществ, осморегуляция

Митохондрия

Представляет собой двухмембранную структуру; внутренняя мембрана образует складки – кристы. Содержит кольцевую ***ДНК***, рибосомы, множество ферментов. Функции: осуществление кислородного этапа клеточного дыхания

Рибосома

Место синтеза белков из аминокислот. В состав рибосом входят две субъединицы (большая и малая), состоящие из ***рРНК*** и белков. Функция: сборка белковых молекул

Ядро

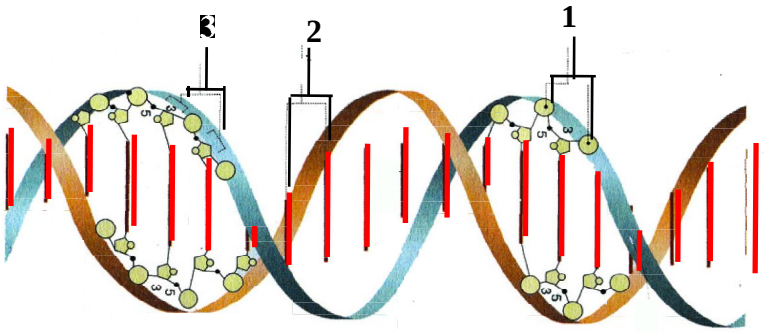
Округлое образование, которое ограничено от цитоплазмы ядерной оболочкой, состоящей из двух мембран. Внутри ядра находятся хромосомы, состоящие преимущественно из ***ДНК*** и белка. Функции: хранение и передача дочерним клеткам генетического материала в неизменном виде, регуляция клеточной активности

Лизосома

Одномембранные пузырьки, содержащие гидролитические ферменты. Функции: внутриклеточное переваривание, расщепление повреждённых органелл, отмерших клеток органов

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Схема строения сегмента молекул ДНК



1- фосфаты; 2- азотистые основания; 3- дезоксирибоза

Типичный состав животной клетки

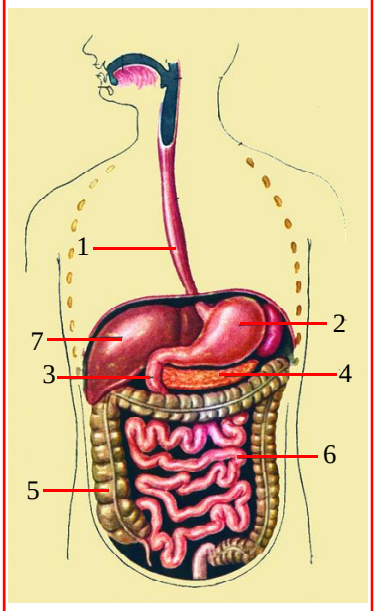


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Состав крови

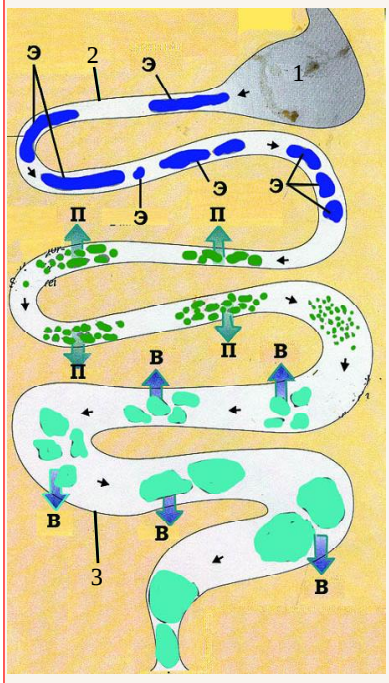


Пищеварительная система



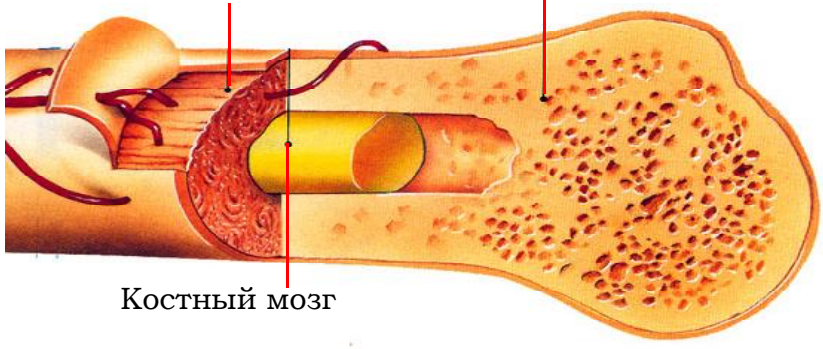
1 - Пищевод
2 - Желудок
3 - Двенадцатиперстная кишка
4 - Поджелудочная железа
5 - Толстая кишка
6 - Тонкая кишка
7 - Печень

Схема прохождения пищи через желудочно-кишечный тракт



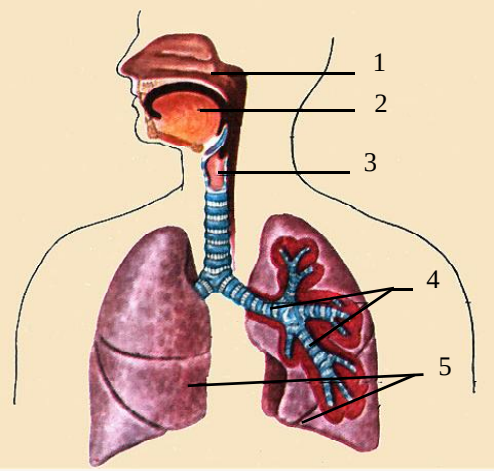
1 — Желудок
2 — Тонкий кишечник
3 — Толстый кишечник
Э — Энзимы, перерабатывающие пищу
П — Питательные вещества, всасываемые в кровь в тонком кишечнике
В — Вода,всасываемая в кровь в толстом кишечнике

Строение кости



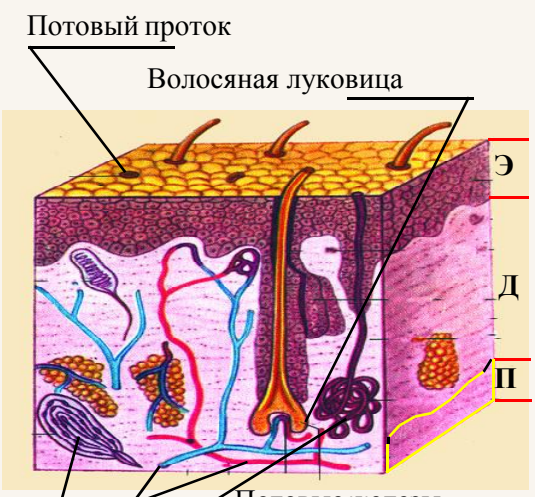
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Система органов дыхания



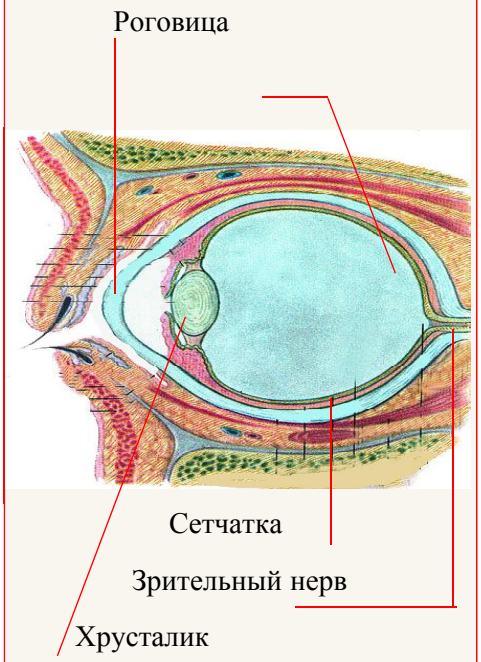
1 — Полость носа
2 — Полость рта
3 — Гортань
4 — Бронхи
5 — Легкие

Строение кожи человека

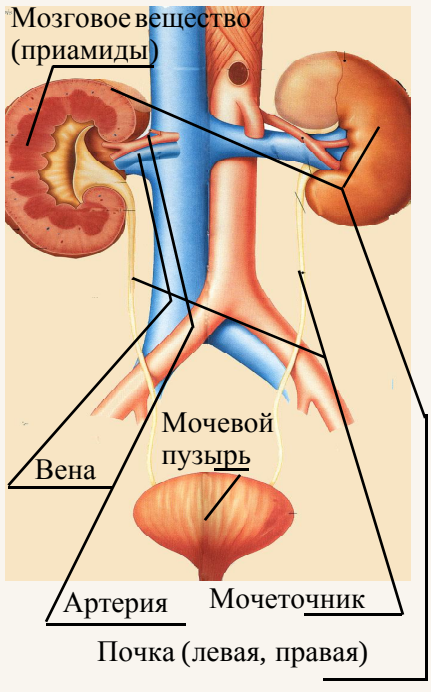


Э — Эпидермис
Д — Дерма
П — Подкожный слой

Строение глаза



Органы выделения



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Реакция организма человека на действие ионизирующего излучения в больших дозах

Ядерные взрывы, аварии → Равномерное внешнее облучение → *Первичная реакция*: тошнота, рвота, общая слабость, головные боли, потливость, сонливость

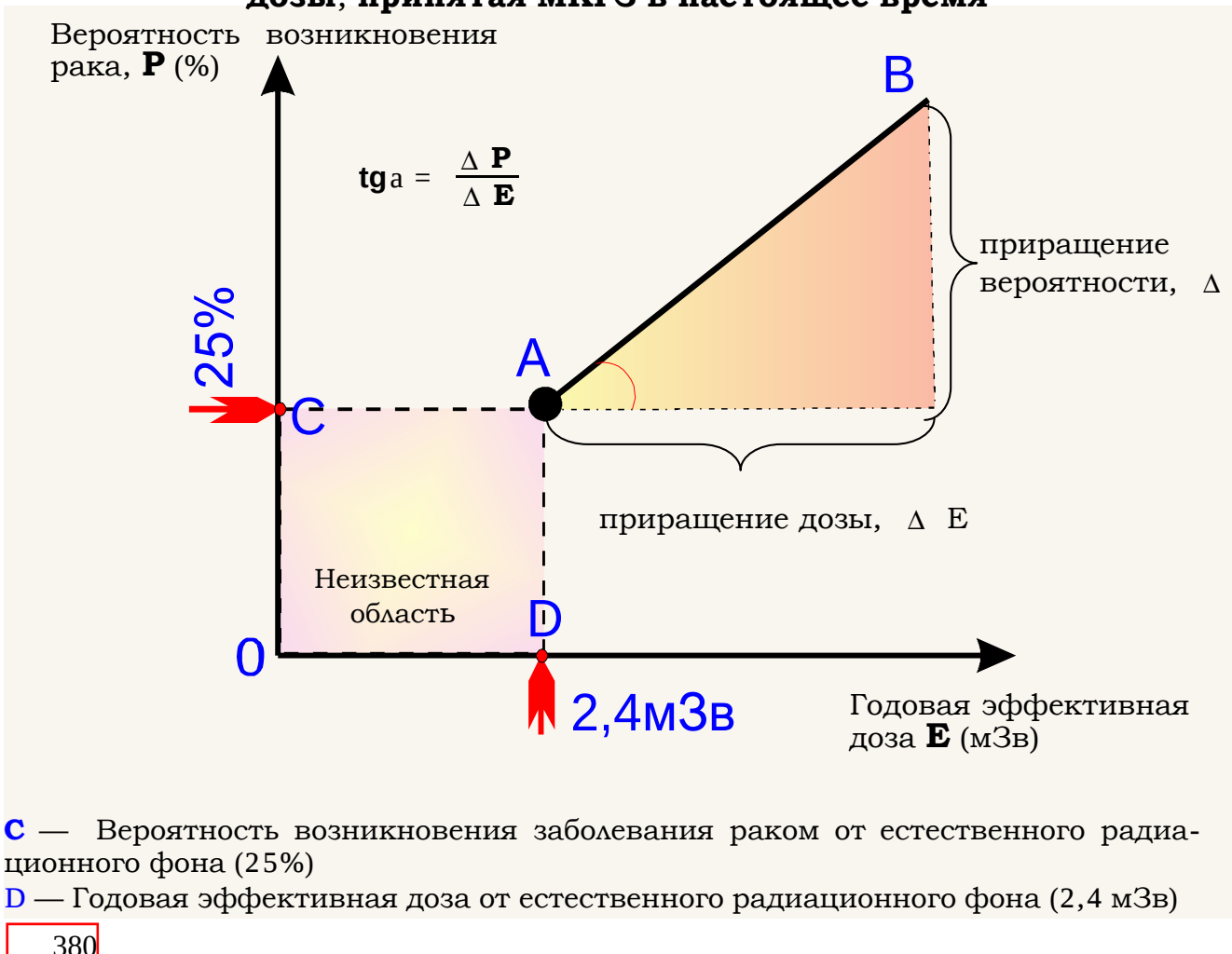
Фаза клинического благополучия: исчезновение всех симптомов. Изменения состава крови и костного мозга.

Фаза выраженных клинических последствий: резкое ухудшение самочувствия, слабость, повышение температуры, кровоизлияния, поражение кишечника, снижение содержания лейкоцитов и лимфоцитов в крови, анемия, ослабление иммунитета, возникновение воспалительных процессов.
Данная фаза продолжается от одной до трех недель.

Стадия раннего восстановления (в случае благоприятного исхода)

Возможность отдалённых последствий облучения

Предполагаемая линейная зависимость вероятности возникновения раковых заболеваний от величины эффективной дозы, принятая МКРЗ в настоящее время



C — Вероятность возникновения заболевания раком от естественного радиационного фона (25%)

D — Годовая эффективная доза от естественного радиационного фона (2,4 мЗв)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

13.6 Десятый класс

Урок 1. Использование радиоактивных изотопов и других источников ионизирующего излучения в медицине

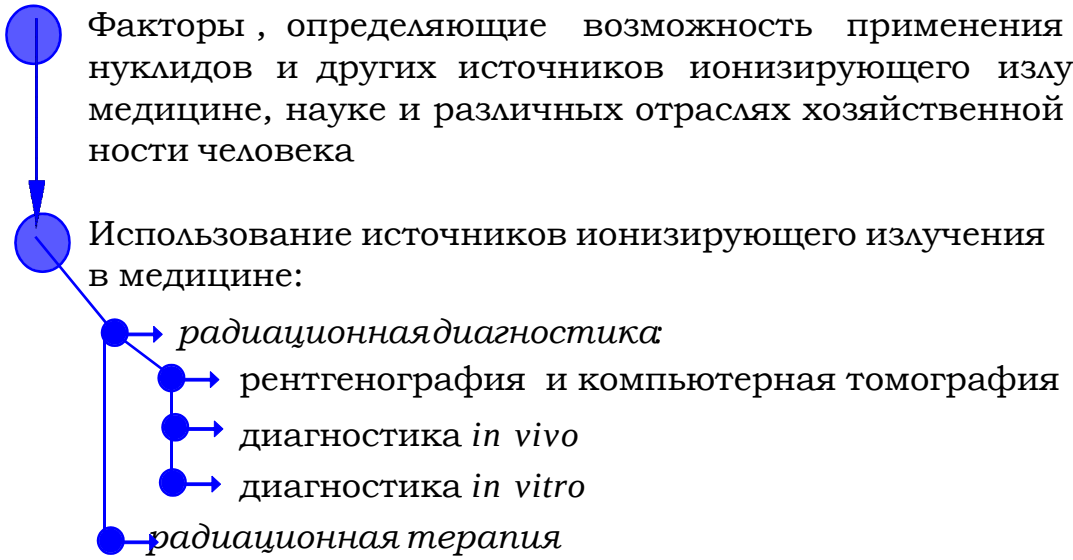
Задачи: сформировать знания учащихся о применении радионуклидов и других источников ионизирующего излучения в медицине; раскрыть, на чем основано их использование.

Оборудование: плакаты: «Основные виды ионизирующего излучения», «Компьютерная томография».

Ход урока

I. **Организационный момент**

II. **Опорные точки урока**



III. **Актуализация опорных знаний**

Фронтальная беседа по базовым вопросам.

- **Вспомните, чем радиоактивные изотопы отличаются от стабильных?**
  Примерный ответ: При одинаковом количестве протонов в ядре изотопы одного и того же химического элемента отличаются количеством нейтронов в составе атомных ядер. При этом стабильные изотопы имеют устойчивые ядра, а нестабильные изотопы — ядра, которые самопроизвольно распадаются с испусканием в окружающую среду энергии в виде ионизирующего излучения.
- **Как ведут себя в химических реакциях стабильные и радиоактивные изотопы одного и того же химического элемента?**
  Примерный ответ: В химических реакциях стабильные и радиоактивные изотопы одного и того же химического элемента ведут себя одинаково.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- **В чем отличие радиоактивных изотопов от стабильных изотопов одного и того же химического элемента**?
  Примерный ответ. В отличие от стабильных, радиоактивные изотопы элементов в процессе радиоактивного распада испускают характерное для них ионизирующее излучение.

- **С какими видами ионизирующего излучения вы уже знакомы**?
  Примерный ответ. Альфа-излучение — поток положительно заряженных частиц, каждая из которых состоит из двух протонов и двух нейтронов (ядра атома гелия). Бета-излучение — поток свободных быстро движущихся электронов. Гамма-излучение — электромагнитные волны с длиной волны (l) менее 0,2 нм ($0{,}2 \cdot 10^{-9}$ м). Рентгеновское излучение — электромагнитные волны с длиной волны $10^{-8} – 10^{-12}$ м. К ионизирующим излучениям относятся также поток свободных нейтронов и поток любых заряженных ядерных частиц (протонов , дейтронов — ядер тяжелого изотопа водорода дейтерия ^{2}D и др.)

- **Как Вы думаете, от чего зависят нарушения, возникающие в тканях или органах человека при облучении**?
  Примерный ответ. Эти нарушения зависят от вида ионизирующего излучения, величины поглощенной дозы, вида облучаемой ткани или органа, а также от продолжительности и характера облучения (однократное или многократное, равномерное или неравномерное).

IV. **Постановка учебной задачи**

Сегодня и на ближайших уроках мы познакомимся с применением источников ионизирующего излучения в медицине, различных отраслях промышленности, научных исследованиях, в сельском хозяйстве.

V. **Изучение нового материала** (лекция с элементами самостоятельной работы с учебником)

▶ **Работа с таблицей** «Факторы , определяющие возможность применения радионуклидов и других источников ионизирующего излучения».

Найдите в таблице учебного пособия , какие особенности ионизирующего излучения определяют возможность применения радионуклидов и других источников ионизирующего излучения в медицине, научных исследованиях и различных отраслях хозяйственной деятельности человека.

Учащиеся зачитывают:

«Факторы, определяющие возможность применения радионуклидов и других источников ионизирующего излучения:

- одинаковые химические свойства стабильных и радиоактивных изотопов;

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- определенная продолжительность и постоянство периода полураспада конкретного радиоизотопа;
- определенный вид излучения, испускаемого при радиоактивном распаде каждого радиоизотопа;
- наличие приборов, регистрирующих предельно малые количества радионуклидов по их излучению;
- различная степень поглощения излучения в средах разного состава и плотности;
- высокая проникающая способность *гамма-* и рентгеновского излучений.

Особенности радионуклидов позволяют с высокой точностью определять их количество и местонахождение. Особенности ионизирующего излучения позволяют изменять физические и химические свойства веществ при облучении.

Учитель

На этом уроке мы расширим знания о применении радионуклидов и других источников ионизирующего излучения в медицине.

Изучение материала по применению источников ионизирующего излучения в медицине проводится в виде конференции, где предоставляется возможность выступить учащимся, получившим опережающее задание подготовить выступления по темам:

1. *Рентгенография.*
2. *Компьютерная томография.*
3. *Радиоизотопная диагностика.*
4. *Радиационная терапия.*

С короткими сообщениями выступают учащиеся, получившие опережающее задание.

Дополнительные материалы к уроку приведены в Приложении VII.

I. **Подведение итогов урока и задание на дом**: изучить § 1, ответить на вопросы в конце параграфа; подготовить краткие сообщения к уроку — конференции (по темам плана следующего урока).

Урок 2. Использование источников ионизирующего излучения в научных исследованиях и промышленности

Задачи: сформировать знания учащихся о применении источников ионизирующего излучения в науке и различных отраслях промышленности

Оборудование плакаты: «Основные виды ионизирующего излучения», «Использование источников ионизирующего излучения в промышленности».

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Ход урока

I. **Организационный момент**

II. **Опорные точки урока**



III. **Постановка учебной задачи**. На этом уроке мы познакомимся с применением источников ионизирующего излучения в различных научных исследованиях, а также в самых разнообразных отраслях производства: химической и горнодобывающей промышленности , строительстве , машиностроении , металлургии , целлюлозно -бумажной , стекольной промышленности и т. д.

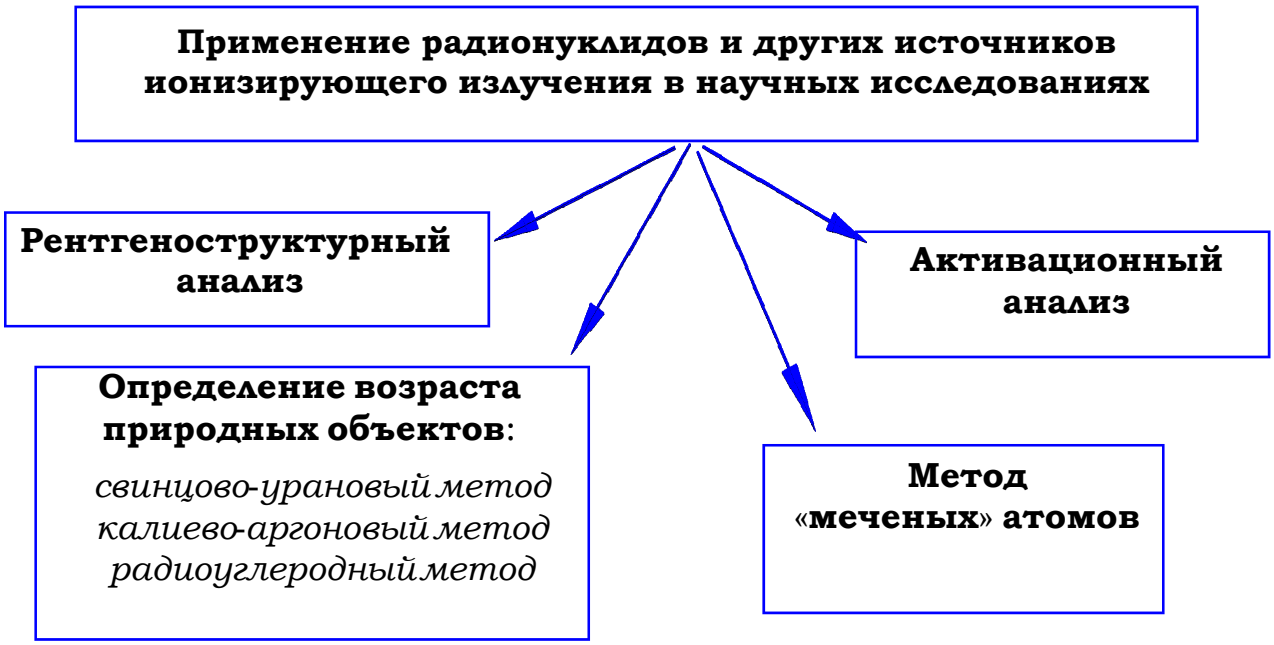
▶ **Учитель**:

Химическое сходство стабильных и радиоактивных изотопов химического элемента и высокая чувствительность методов определения радионуклидов по испускаемым ими ионизирующим излучениям позволяют использовать их для изучения поведения атомов химических элементов в различных процессах.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Примерами использования естественных и искусственно созданных человеком источников ионизирующего излучения в научных исследованиях являются рентгеноструктурный и активационный анализы, определение возраста природных образований, а также метод «меченых» атомов.

▶ **Во время объяснения учитель на доске, а учащиеся в тетрадях строят схему**:



IV. **Изучение нового материала**

Учитель (лекция с элементами самостоятельной работы с учебником)

Рентгеноструктурный анализ широко используется для определения особенности структуры кристаллических веществ не только в научных исследованиях, но и в промышленности, например, в металлургии.

Широкое применение в геологии, геохимии, космохимии получил метод *активационного анализа*. В его основе лежит способность стабильных атомов под воздействием определенных видов излучения превращаться в радиоактивные атомы, которые при распаде испускают излучение, характерное для каждого вида радиоактивного изотопа. Например, при воздействии *гамма*-излучения ядра стабильных атомов золота становятся радиоактивными и испускают *гамма*-кванты определенной энергии, которые можно регистрировать с помощью приборов и судить о содержании золота в породе.

Метод *активационного анализа* позволяет определить содержание золота, серебра, алюминия, меди, кремния и других элементов в породах.

По содержанию долгоживущих радионуклидов естественного происхождения и продуктов их распада определяют *возраст природных образований*. В этом случае радионуклиды используют в качестве «геологи-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

ческих часов». Для определения возраста природных образований используются *свинцово-урановый, калиево-аргоновый, радиоуглеродный* и другие методы.

Радиоактивные изотопы, используемые для изучения поведения атомов химических элементов в различных процессах, называют *радиоактивными индикаторами*, а метод, основанный на их применении, — *методом «меченых» атомов*.

Метод «меченых» атомов находит широкое применение в научных исследованиях в физике и химии, биохимии, фармакологии и токсикологии, микробиологии, иммунологии, вирусологии, физиологии, экологии и других областях. Об этом свидетельствуют данные таблицы «Применение метода «меченых» атомов».

Работа с текстом учебного пособия

Рассмотрите таблицу «Применение метода «меченых» атомов». Обратите внимание на то, для чего может быть использован метод «меченых» атомов в различных областях науки.

Применение метода «меченых» атомов

Область науки	**Что исследуется?**
Химия Физика	§ Строение химических соединений § Механизмы и скорость химических реакций § Растворимость веществ § Процессы испарения, диффузии, сорбции
Биохимия	§ Обмен веществ в живом организме § Строение и механизмы синтеза белков, нуклеиновых кислот, жиров и углеводов § Скорость протекания биохимических реакций
Физиология	§ Процессы кровообращения, всасывания питательных веществ из желудочно-кишечного тракта, перераспределения различных соединений по организму § Выявление роли микроэлементов в физиологических процессах
Фармакология и токсикология	§ Механизмы всасывания лекарственных препаратов, токсических веществ и их накопление в различных органах и тканях
Микробиология, иммунология и вирусология	§ Биохимические особенности жизнедеятельности микроорганизмов § Механизмы протекания ферментативных и иммунологических реакций
Экология	§ Процессы миграции веществ в экосистемах

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Учитель

Изучение нового материала по применению источников ионизирующего излучения в различных отраслях производства пройдет в форме конференции «Использование источников ионизирующего излучения в промышленности». В работе конференции примут участие специалисты разных отраслей промышленного производства. В программу конференции включены следующие доклады:

1. Контроль толщины различных материалов
2. Определение уровня жидкости в резервуаре и утечки токсичных и ядовитых веществ.
3. Контроль производственных и технологических процессов.
4. Синтез новых веществ.
5. Изменение структуры и свойств материалов.

Программа конференции вывешивается на доске, выбирается председатель из числа учащихся, который ведет конференцию.

▶ **Оформление кабинета**. На развороте доски написана тема урока и развешены плакаты (даны в Приложении VII).

Дополнительные материалы к уроку приведены в Приложении VII.

V. **Подведение итогов урока и задание на дом**: изучить § 1, ответить на вопросы в конце параграфа; подготовить краткие сообщения к уроку-конференции (по темам плана следующего урока).

Урок 3 Использование источников ионизирующего излучения в промышленности (продолжение) и в сельском хозяйстве

Задачи: продолжить знакомство с применением радионуклидов и других источников ионизирующего излучения в промышленности; сформировать знания учащихся о применении источников ионизирующего излучения в различных отраслях сельского хозяйства.

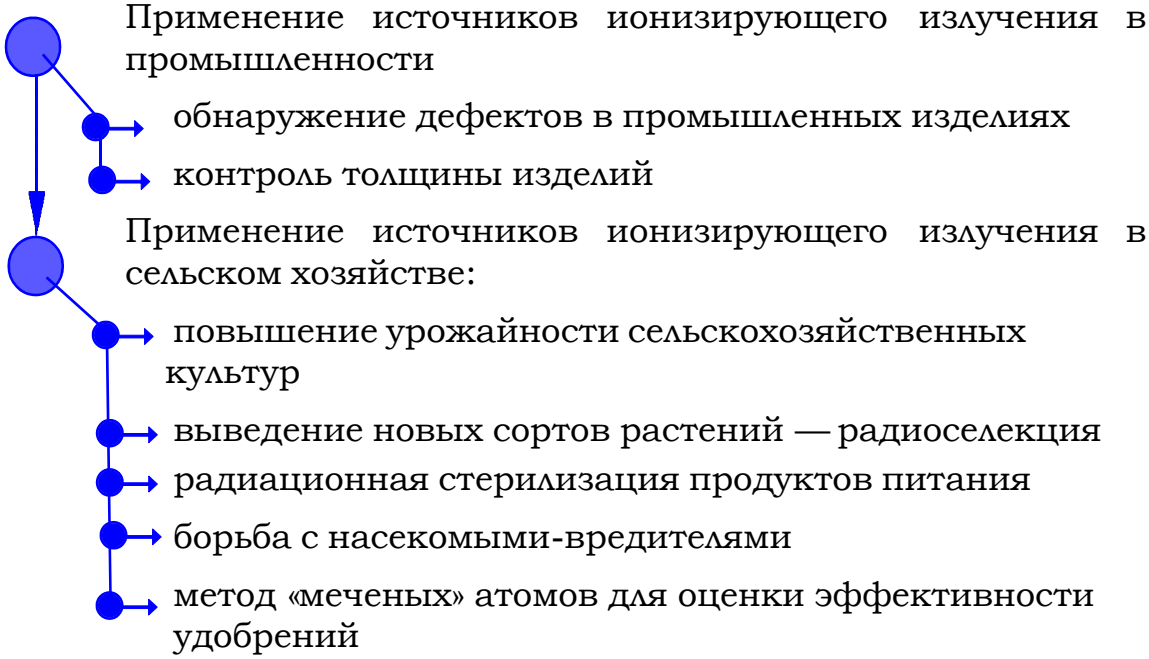
Оборудование плакаты: «Основные виды ионизирующего излучения», «Использование источников ионизирующего излучения в промышленности».

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Ход урока

I. **Организационный момент**

II. **Опорные точки урока**



III. **Постановка учебной задачи**. Сегодня мы продолжим знакомство с применением радионуклидов и других источников ионизирующего излучения в промышленности и узнаем об их использовании в различных отраслях сельского хозяйства.

▶ **Учитель** : «Изучение нового материала пройдет в форме конференции на тему: « Использование источников ионизирующего излучения в промышленности и сельском хозяйстве . В программу конференции включены доклады специалистов из разных отраслей промышленности и сельского хозяйства.

Темы докладов:

- Обнаружение дефектов в промышленных изделиях.
- Контроль толщины изделий.
- Применение источников ионизирующего излучения для повышения урожайности сельскохозяйственных культур.
- Выведение новых сортов растений посредством радиоселекции.
- Радиационная стерилизация продуктов питания.

Дополнительные материалы для подготовки докладов к выступлениям на конференции приведены в Приложении VII.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Ведущий (**учитель**) *дополняет выступления докладчиков.*

В сельском хозяйстве источники ионизирующего излучения используют не только для внешнего облучения объектов. Чтобы повысить эффективность использования удобрений и урожайность сельскохозяйственных культур нужно знать особенности усвоения растениями питательных элементов, поступающих из удобрений. Для решения таких задач и для других целей применяют метод «меченых» атомов. Этот метод основан на одинаковом поведении радиоактивных и нерадиоактивных изотопов химического элемента в различных процессах. Добавляя к изучаемому веществу небольшое количество такого же или близкого по химическим свойствам вещества, но содержащего радиоактивный изотоп химического элемента, поведение которого интересует, можно детально проследить, как перераспределяется этот элемент в той или иной системе, как меняется его состояние, в состав каких соединений он входит. Все это можно установить по излучению радиоактивного изотопа путем измерения его интенсивности.

Особенно широко используют метод «меченых» атомов в агротехнике. С его помощью изучают:

- распределение элементов питания в растительных и животных организмах;
- влияние удобрений на развитие растений в зависимости от состава, формы и сроков их внесения.

Например, чтобы выяснить, из каких фосфорных удобрений фосфор лучше усваивается растениями, удобрения «помечают» радиоактивным фосфором, добавляя в них *бета*-излучающий изотоп ^{32}P. Исследуя затем содержание изотопа ^{32}P в растениях , подкормленных разными удобрениями, можно судить о количестве фосфора, усвоенного ими из разных удобрений и выбирать наиболее эффективное удобрение для подкормки растений.

IV. **Подведение итогов урока и задание на дом**: изучить § 2 и ответить на вопросы в конце параграфа.

Урок 4. Реакции ядерного деления — источник энергии для получения тепловой и электрической энергии на АЭС

Цель урока: сформировать представление учащихся о реакциях ядерного деления, познакомить с условиями протекания цепной реакции ядерного деления.

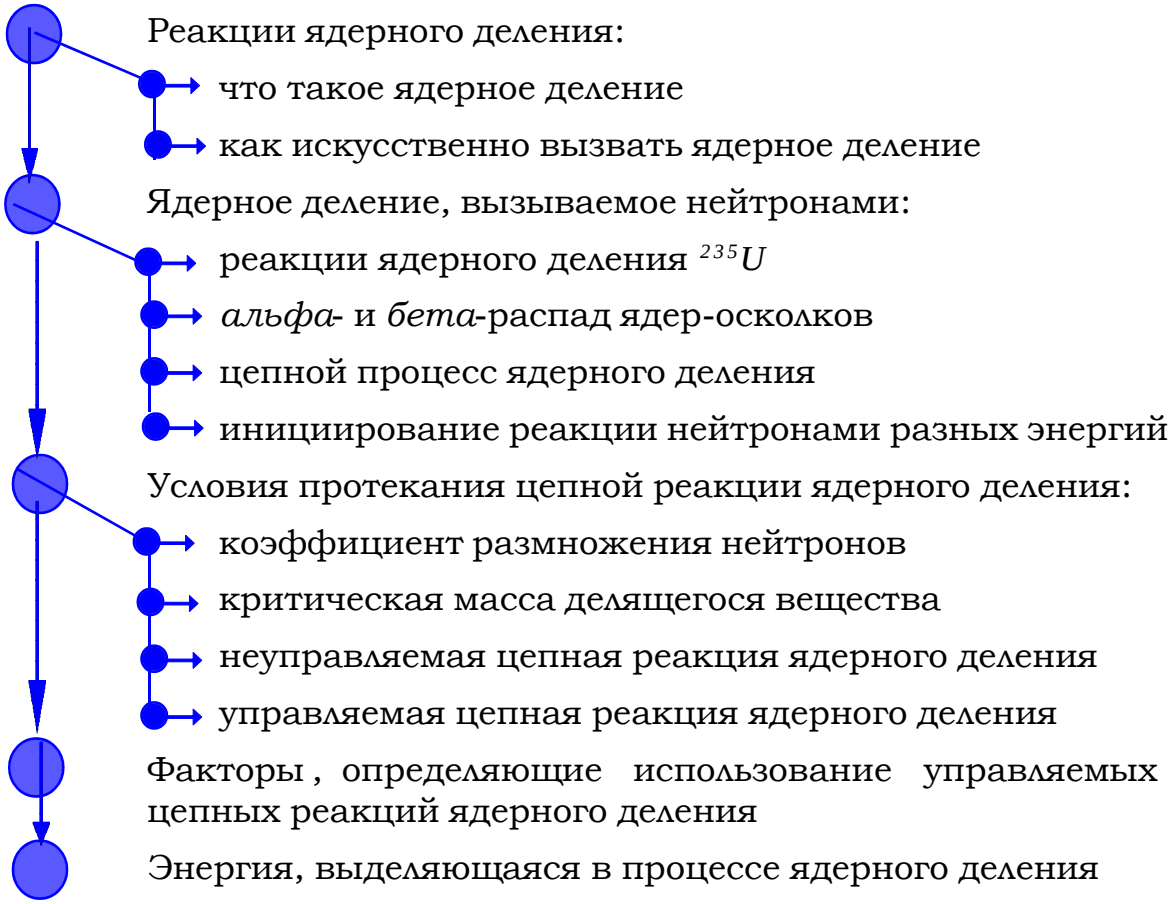
Оборудование: схемы: «Цепной процесс ядерного деления урана», «Основные виды ионизирующего излучения»; плакат «Продукты деления урана».

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Ход урока

I. **Организационный момент**

II. **Опорные точки урока**



III. **Постановка учебной задачи**. Чтобы лучше узнать об источниках энергии, используемых на атомных электростанциях для получения тепловой и электрической энергии, рассмотрим реакции ядерного деления, в которых освобождается огромное количество энергии; познакомимся с излучениями, сопровождающими подобные ядерные превращения, условиями их протекания, возможностью регулирования цепного процесса ядерного деления, что позволяет использовать его в энергетике для получения тепла и света.

IV. **Изучение нового материала** проводится в виде лекции в соответствии с опорными точками урока.

Материал лекции

Возможность практически использовать энергию ядерных превращений для получения тепловой и электрической энергий появилась только после открытия реакции *деления тяжелых атомных ядер*, при осуществлении которой выделяется намного больше энергии, *чем при альфа*- и *бета*-распадах радионуклидов.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Способность ядра делиться зависит от соотношения кулоновских сил отталкивания положительно заряженных протонов и ядерных сил связывания нуклонов (протонов и нейтронов) в ядре, которые действуют лишь на очень близком расстоянии и не зависят от заряда нуклонов.

В ядрах тяжелых нуклидов с атомными номерами более 83 силы кулоновского отталкивания протонов возрастают настолько, что ядра становятся крайне неустойчивыми. Подобные ядра подвержены *альфа*-распаду, при протекании которого освобождается ядерная энергия до ~ 10 МэВ на один *альфа*-распад. Однако в некоторых случаях тяжелому ядру вместо *альфа*-распада энергетически выгоднее разделиться на два или несколько ядер меньших размеров. В процессе такого ядерного превращения выделяется значительно больше энергии — до ~ 200 МэВ на каждый акт ядерного деления.

Деление атомного ядра — это вид ядерной реакции, в результате которой тяжелое атомное ядро делится на более легкие ядра, называемые осколками деления.

Существует *критический размер* атомного ядра, при достижении которого ядро становится способным к самопроизвольному (спонтанному) делению. Критический размер характерен для атомных ядер, содержащих ~ 110 – 120 протонов. Подобные сверхтяжелые ядра практически мгновенно делятся и не могут существовать в природных условиях. Несмотря на то, что постоянно проводятся эксперименты по их искусственному получению, до сих пор Периодическая система завершается элементом с атомным номером 109.

Критического размера могут достигать тяжелые ядра и с меньшим количеством протонов, если они получают дополнительное количество энергии и переходят в возбужденное состояние. Возбуждение атомных ядер приводит к увеличению их размеров.

Получить дополнительную энергию, необходимую для возбуждения, тяжелые ядра с размером меньше критического могут при захвате ядерной частицы или кванта электромагнитного излучения.

Некоторые виды ядер (^{235}U, ^{238}U, ^{232}Th и др.) приобретают способность делиться при облучении нейтронами, протонами, дейтронами (ядрами изотопа водорода дейтерия — ^{2}D), *альфа*-частицами, *гамма*- и даже рентгеновскими лучами.

Из всех реакций ядерного деления наиболее широкое применение нашла реакция деления, вызываемая *нейтронами*. Это связано с тем, что при столкновении с тяжелыми положительно заряженными ядрами не имеющим заряда нейтронам не приходится преодолевать кулоновское отталкивание протонов, входящих в состав ядер. Им легче проникать в ядра атомов тяжелых элементов и вызывать их деление.

Ядро, поглотившее нейтрон, переходит в возбужденное состояние. Оно увеличивается в размере, меняет форму и может разделиться. Чаще

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

всего в процессе деления ядро тяжелого элемента распадается на 2 ядра-осколка разной массы. Гораздо реже образуется 3 или 4 осколка деления.

В процессе ядерного деления и других ядерных превращений, которые сопровождают деление тяжелых ядер, образуется множество разнообразных продуктов.

Примером реакции ядерного деления является расщепление ^{235}U на ядро криптона (^{92}Kr) и бария (^{141}Ba):

$$^{235}\mathrm{U} + {}^{1}\mathrm{n} = {}^{92}\mathrm{Kr} + {}^{141}\mathrm{Ba} + 2\,{}^{1}\mathbf{n} + g$$

Однако это не единственный способ деления ^{235}U. В результате деления ^{235}U образуются и другие осколочные ядра элементов с атомными номерами от 30 (цинк) до 65 (тербий).

Часть ядер ^{235}U и ядер других тяжелых элементов, присутствующих в ядерном горючем и образующихся в результате захвата свободных нейтронов тяжелыми атомными ядрами, подвергается не только делению, но и *альфа*- распаду. Например,

$$^{235}\mathrm{U} \rightarrow {}^{4}\mathbf{He} + {}^{231}\mathrm{Th}$$

$$^{238}\mathrm{U} \rightarrow {}^{4}\mathbf{He} + {}^{234}\mathrm{Th}$$

$$^{235}\mathrm{U} + {}^{1}\mathrm{n} \rightarrow {}^{236}\mathrm{U} \rightarrow {}^{4}\mathbf{He} + {}^{232}\mathrm{Th} \rightarrow {}^{4}\mathbf{He} + {}^{228}\mathrm{Ra}\ldots$$

Ядра-осколки, которые образуются при делении ядер тяжелых элементов, как правило, содержат избыточные нейтроны и поэтому неустойчивы (радиоактивны). Такие атомные ядра переходят в устойчивое состояние путем последовательных *бета*-распадов, причем цепочка *бета*-распадов продолжается до образования стабильных атомных ядер. Поэтому в реакции ядерного деления образуется множество разнообразных атомных ядер, как неустойчивых (радиоактивных), так и устойчивых (стабильных).

Процессы ядерного деления, ядерных превращений осколков деления и других продуктов сопровождаются также выделением энергии в виде *гамма*-излучения.

Каждый акт деления ядер ^{235}U происходит с освобождением 2 – 3 нейтронов. Эти нейтроны могут взаимодействовать с другими ядрами ^{235}U и, в свою очередь, вызвать их деление. В результате, число ядерных делений возрастает и становится возможным протекание *цепной реакции* ядерного деления (см. Приложение VII).

Если бы процесс деления протекал в таких условиях, когда каждый образующийся нейтрон вызывал бы деление нового тяжелого ядра, то через пятьдесят последовательных ядерных делений, вместо одного нейтрона, начавшего процесс деления, образовалось бы около 10^{25} свободных нейтронов.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

В действительности, не все свободные нейтроны способны вызывать деление тяжелых ядер.

- Только нейтроны определенных энергий могут приводить к делению ядер. Например, ядра ^{238}U могут делиться только при взаимодействии с быстрыми нейтронами, энергия которых выше 1 100 эВ, тогда как ядра ^{235}U могут делиться при взаимодействии с медленными (так называемыми *тепловыми*) нейтронами, энергия которых ниже 1 эВ.
- Часть нейтронов может захватываться атомными ядрами, не способными к делению, но присутствующими в том месте, где протекает реакция деления.
- Часть нейтронов вылетает за пределы пространства, где возможны столкновения с ядрами, способными делиться.

Область пространства, где происходит цепная реакция ядерного деления, называют активной зоной.

На развитие цепной реакции ядерного деления влияют:

- количество нейтронов, освобождающихся при каждом ядерном делении;
- размеры активной зоны;
- количество столкновений свободных нейтронов с тяжелыми ядрами, которые приводят к ядерному делению;
- количество столкновений свободных нейтронов с неделящимися ядрами примесей.

Для поддержания цепной реакции необходимо, чтобы, в среднем, по крайней мере один нейтрон, образовавшийся в процессе деления, вызывал расщепление другого тяжелого ядра.

О возможности протекания цепной реакции деления можно судить по величине *коэффициента размножения нейтронов* (***K***).

Коэффициент размножения нейтронов — это отношение количества нейтронов, освобождающихся при ядерных делениях на определенном этапе развития цепного процесса, к количеству нейтронов, освобождающихся при ядерных делениях на предыдущем этапе.

- Если $K < 1$, то цепная реакция ядерного деления невозможна;
- при $K = 1$ возможна *самоподдерживающаяся* цепная реакция деления, которая протекает с постоянной скоростью;
- если $K > 1$, то число свободных нейтронов и число актов деления возрастает с каждым новым поколением нейтронов, освобождающихся при делении ядер. Это приводит к быстрому развитию цепного процесса деления, который протекает с нарастающей скоростью.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Таким образом, цепная реакция ядерного деления возможна лишь при условии $K \geq 1$. Такие условия реализуются только в том случае, когда масса делящегося вещества не ниже определенной величины.

Минимальная масса делящегося вещества, при которой возможно развитие цепной реакции ядерного деления, называется критической массой делящегося вещества.

Следовательно, обязательным условием для осуществления *цепной* реакции ядерного деления, является достижение критической массы делящегося вещества.

Если масса делящегося вещества *меньше критической* (*подкритическая*), освобождающиеся в процессе деления нейтроны могут вылетать за пределы делящегося вещества прежде, чем сталкиваться с другими ядрами, способными делиться. В этом случае количество нейтронов, покидающих делящееся вещество, превосходит количество нейтронов, освобождающихся в новых актах деления, и *цепная реакция ядерного деления прекращается.*

Если масса делящегося вещества *больше критической* (*надкритическая*), число нейтронов в последующих актах деления быстро увеличивается, и процесс *деления развивается лавинообразно*. Подобный процесс характеризуется большим коэффициентом размножения нейтронов и завершается *мощным взрывом* с выделением огромного количества энергии. В этом случае реакция ядерного деления является *неуправляемой (нерегулируемой).*

Реакция подобного типа лежит в основе действия ядерного оружия.

Управление цепной реакцией ядерного деления заключается в *регулировании скорости ее протекания*, т. е. в *регулировании числа актов ядерного деления в единицу времени.*

Управляемая цепная реакция деления осуществляется в специальных устройствах — ядерных реакторах, где поддерживаются условия, при которых коэффициент размножения нейтронов (**K**) равен единице. Реакцию этого типа используют для получения энергии в промышленных масштабах.

Ядерная энергия выделяется при любом самопроизвольном ядерном распаде. Однако для получения тепловой и электрической энергии в промышленных масштабах используют лишь *управляемые цепные реакции ядерного деления.* Это связано с тем, что

- в результате реакции деления выделяется значительно больше энергии, чем при самопроизвольном ядерном распаде;

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- при проведении реакции деления в специально сконструированных устройствах количество свободных нейтронов и их энергию можно регулировать;
- поддерживая количество вызывающих деление нейтронов на определенном уровне, можно сохранять *цепной* характер процесса, т. е. его непрерывное протекание;
- ядерная энергия, выделяющаяся в результате процесса деления, может быть преобразована в тепловую энергию, которую можно использовать для получения электрической энергии.

Способностью спонтанно (самопроизвольно) делиться при захвате *тепловых* нейтронов обладают ядра урана (^{233}U, ^{235}U), плутония (^{239}Pu) и некоторых других трансурановых элементов, т. е. элементов расположенных в Периодической системе химических элементов за ураном.

В конечном итоге, управление цепной реакцией деления сводится к регулированию коэффициента размножения нейтронов, т. е. поддержанию в активной зоне реакции определенного количества нейтронов, способных вызывать ядерное деление.

В результате реакции деления ядро атома тяжелого элемента распадается на ядра-осколки, которые уносят основную часть энергии, выделяющейся в процессе деления. Например, осколки деления ^{235}U обладают кинетической энергией $(E_к) \sim 200$ *МэВ* на каждый акт ядерного деления.

Ядра-осколки в столкновениях с другими ядрами, присутствующими в активной зоне, где протекает реакция ядерного деления, передают им часть своей энергии. При этом кинетическая энергия осколков ($\boldsymbol{E_к}$) преобразуется в тепловую энергию ($\boldsymbol{E_т}$).

Энергия, выделяющаяся в процессе ядерного деления, включает:

- кинетическую энергию осколков ядерного деления;
- энергию *гамма*-излучения, сопровождающего деление ядер;
- кинетическую энергию нейтронов, освобождающихся в результате ядерного деления;
- энергию *гамма-*, *бета-* и *альфа*-излучений, сопровождающих распад осколков деления и ядерные превращения исходных и промежуточных продуктов реакций, протекающих наряду с реакцией ядерного деления.

Ядерную энергию, освобождающуюся в процессе управляемой цепной реакции ядерного деления, можно преобразовать в тепловую энергию, которую затем использовать для получения электрической энергии.

Наличие критической массы необходимое, но не достаточное условие для осуществления реакции деления с целью получении энергии. Не умея управлять цепной ядерной реакцией деления, вместо тепла и электрической энергии можно получить атомную бомбу.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

V. **Закрепление изученного материала**

Проверка знаний по теме: "Реакции ядерного деления" проводится в виде фронтальной беседы по следующим вопросам:

- Назовите причины самопроизвольного (спонтанного) ядерного деления.
- Каким способом можно получить тяжелые ядра критического размера, содержащие менее 110 протонов?
- Опишите, как протекает реакция ядерного деления ^{235}U.
- Каков источник *альфа-* и *бета-*излучений при осуществлении реакции ядерного деления?
- Какова сущность цепного процесса ядерного деления?
- Какой энергией должны обладать нейтроны, чтобы стала возможной цепная реакция ядерного деления ^{235}U и ^{238}U?
- При каких условиях протекает цепная реакция ядерного деления?
- Что такое коэффициент размножения нейтронов и какую роль он играет при протекании реакции ядерного деления?
- Что такое *критическая масса* делящегося вещества?
- Чем отличается управляемая цепная реакции ядерного деления от неуправляемой?
- Перечислите факторы, способствующие использованию управляемых цепных реакций ядерного деления в энергетике.
- Из чего состоит энергия, выделяющаяся в процессе ядерного деления?

Задание на дом: изучить § 3, ответить на вопросы в конце параграфа.

Урок 5. Получение тепловой и электрической энергии на атомных электростанциях. Перспективы развития ядерной энергетики

Цель урока: расширить знания учащихся о работе атомных электростанций; показать преимущества и недостатки АЭС; познакомить с перспективами развития ядерной энергетики.

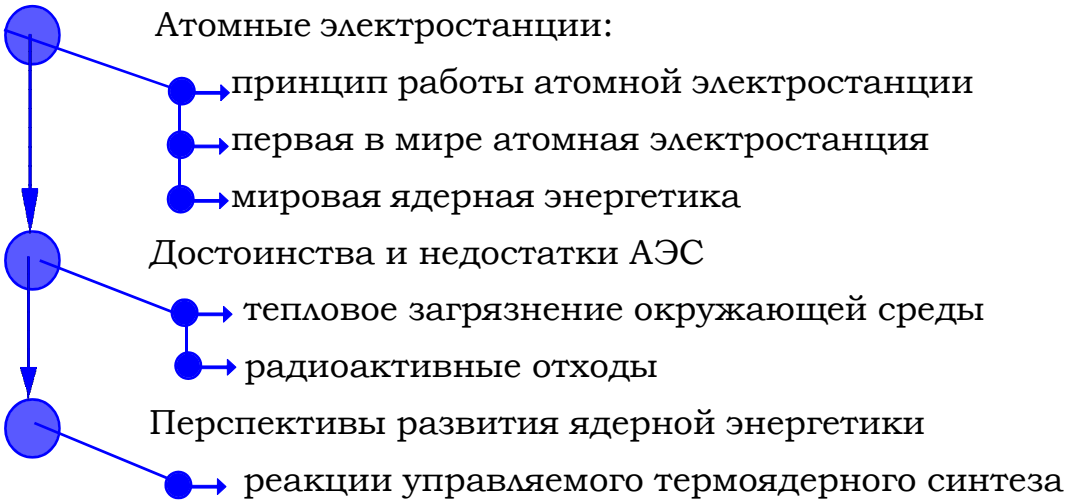
Оборудование: схемы: «Цепной процесс ядерного деления урана», «Работа атомной электростанции»; «Гетерогенный ядерный реактор»; «Синтез ядер гелия из ядер дейтерия», «Синтез ядер гелия из ядер дейтерия и трития».

Ход урока

I. **Организационный момент**

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

II. **Опорные точки урока**



III. **Постановка учебной задачи**. На основе представления о реакциях ядерного деления и о том, каким образом можно регулировать скорость ее протекания, перейдем к изучению вопроса о практическом использовании ядерной энергии, освобождающейся при осуществлении управляемой цепной реакции ядерного деления; рассмотрим устройство и принцип работы атомных электростанций (АЭС); обсудим их достоинства и недостатки, познакомимся с перспективами развития ядерной энергетики, как это видится с позиции сегодняшнего дня.

IV. **Изучение нового материала**

Работа с текстом учебного пособия. Найдите в тексте учебного пособия информацию о том, какое направление развития энергетики на современном этапе является приоритетным.

«При современном уровне потребления энергии, невосполняемые запасы органического топлива (угля, нефти, природного газа, торфа, сланцев) интенсивно сокращаются. Энергетические установки, потребляющие возобновляемые ресурсы — энергию солнца, ветра, воды (гидроэнергию), тепловую энергию земных недр (геотермальную) и другие виды энергии, пока не могут решить энергетическую проблему в глобальном масштабе. Если человечество не освоит альтернативные источники энергии, его ожидает энергетический голод. Одной из современных отраслей энергетики является ядерная энергетика, основанная на использовании энергии ядерных превращений для получения тепла и электроэнергии на атомных электростанциях (АЭС)».

▶ **Объяснение учителя**

В отличие от тепловой электростанции, где получают тепловую энергию в результате сжигании органического топлива, а затем эту энергию преобразуют в электрическую энергию, на АЭС используют энергию, освобождающуюся при осуществлении *управляемой цепной реакции деления атомных ядер тяжелых элементов*. Эту реакцию проводят в специальных устройствах — ядерных реакторах. Энергия, выделяющаяся в процессе деления ядерного «горючего», преобразуется в

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

ядерном реакторе в тепловую энергию, которая идет на нагревание воды и ее превращение в пар. Водяной пар находится под давлением и подается по трубам в помещение, где находится турбина, связанная с генератором электрического тока. Пар поступает на лопасти турбины и заставляет турбину вращаться. Во время вращения турбины генератор вырабатывает электрический ток, который по проводам поступает потребителям.

Работа с текстом учебного пособия. Где была построена первая в мире атомная электростанция, и какова была ее мощность?

«*Первая в мире атомная электростанция*, созданная в г. Обнинске Калужской области в 1954 году, стала символом новой эры в истории человечества. Ее мощность была всего 5 МВт (*1 МВт = 1•10 ^{6} Вт*)».

Учитель

Мощность современных атомных электростанций достигает нескольких гигаватт (ГВт). 1 ГВт = 1•10^{9} Вт. В некоторых странах, таких как Бельгия, Франция и Литва более половины общего количества вырабатываемой электроэнергии (60 – 82 %) приходится на долю атомных электростанций.

Работа с текстом учебного пособия: Найдите в тексте учебного пособия информацию об уровне развития мировой ядерной энергетики в конце XX века.

«Об уровне развития мировой ядерной энергетики в конце XX века можно судить по данным, представленным в учебном пособии на диаграмме «Относительное количество электроэнергии, вырабатываемой АЭС, и количество энергетических блоков АЭС в разных странах" (см. Приложение VII).

Рассмотрите диаграмму, какова же доля электроэнергии, вырабатываемой АЭС, в общем объеме ее производства в таких странах, как Швеция, Украина, Япония? Сколько энергетических блоков АЭС в этих странах? Есть ли атомные электростанции на территории Республики Беларусь?

Объяснение учителя

На территории Республики Беларусь нет атомных электростанций. Однако вблизи ее границ располагается четыре АЭС: Игналинская в Литве, которую предполагается вывести из эксплуатации в ближайшее время, Чернобыльская (выведена из эксплуатации в 2000 году) и Ровенская в Украине, Смоленская в России.

После Чернобыльской катастрофы до 2006 года в Республике Беларусь действовал мораторий на строительство АЭС. Однако уже сейчас, анализируя перспективы использования различных источников энергии, рассматривают и возможности строительства АЭС в нашей стране.

Работа с текстом учебного пособия. Найдите в тексте учебного пособия информацию о достоинствах и недостатках АЭС. Отметьте в тетради *основные достоинства и недостатки АЭС*.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

«При нормальной работе атомные электростанции значительно (*примерно в 100 раз*) меньше загрязняют окружающую среду по сравнению с тепловыми электростанциями . Например , современная тепловая электростанция мощностью 1 ГВт в течение года потребляет около 3 млн. тонн угля и значительное количество атмосферного кислорода для его сжигания. Такая станция ежегодно в процессе работы выбрасывает в атмосферу около 165 тыс. тонн различных отходов. Вместе с ними в окружающую среду попадают и естественные радионуклиды (члены естественных радиоактивных семейств, ^{40}K и др.), которые содержатся в каменном угле. После сжигания топлива они концентрируются, в основном, в шлаке и золе , которые попадают в атмосферу с газообразными продуктами горения и оседают на землю в окрестности тепловой электростанции, загрязняя почву, растительность и водную среду.

В отличие от тепловых электростанций АЭС не потребляют атмосферный кислород (O_2), и в процессе их работы не образуются оксиды углерода, азота и серы, которые могут вызывать кислотные дожди.

Достоинством АЭС является и сравнительно небольшой объем необходимого ядерного горючего . Например , АЭС мощностью 1 ГВт потребляет за год *100 тонн ядерного топлива*, в то время как тепловая электростанция такой же мощности — *~ 3 млн. тонн угля*.

Вместе с тем, ядерной энергетике свойственны и определенные недостатки. Только часть энергии, освобождающейся в цепных реакциях ядерного деления, используется для получения электрической энергии на АЭС. До 70 % тепловой энергии, выделяющейся в ядерном реакторе, поступает в окружающую среду. Поэтому при работе АЭС возникают проблемы, связанные с тепловым загрязнением окружающей среды.

Чтобы уменьшить потери тепла и сократить тепловое загрязнения окружающей среды в процессе работы АЭС , в настоящее время разрабатываются способы эффективного его использования. Одним из перспективных направлений является создание при атомных станциях агробиологических и рыбоводческих комплексов, где тепло АЭС, ранее поступавшее в окружающую среду, используется для поддержания работы теплиц, производства рыбной и другой продукции.

При работе АЭС возникают также проблемы, связанные с необходимостью перерабатывать радиоактивные отходы, а также хранить их длительное время и/или изолировать и помещать в недоступное место (захоранивать). В связи с этим большое внимание уделяется усовершенствованию существующих и разработке новых, более совершенных методов переработки радиоактивных отходов и их изоляции в течение длительного времени, вплоть до полного распада радионуклидов.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Подобно другим видам промышленного производства , ядерная энергетика является потенциально опасной для человека и окружающей среды. На существующих предприятиях ядерной энергетики по тем или иным причинам неоднократно возникали аварийные ситуации с выбросом радиоактивных веществ в окружающую среду.

Предотвращение загрязнения окружающей среды радиоактивными отходами является одной из важнейших проблем ядерной энергетики».

▶ **Что же требуется предпринимать при работе АЭС для предотвращения загрязнения окружающей среды радиоактивными продуктами аварийных выбросов? Запишите в тетрадь.**

«Для безаварийной работы АЭС требуется обеспечить:
- надежность ядерных реакторов и систем их защиты;
- подготовку квалифицированных специалистов;
- соблюдение обслуживающим персоналом правил техники безопасности.

Ошибки и просчеты в работе персонала АЭС, нарушения ими правил безопасной работы недопустимы, так как могут привести к разгерметизации активной зоны реактора, выбросу радиоактивных веществ в окружающую среду и дополнительному облучению людей».

▶ **Объяснение учителя**

Каковы же перспективы развития ядерной энергетики? Есть ли у нее будущее?

Человечество не может себе позволить отказаться от развития ядерной энергетики. Такой вывод сделан большинством ученых на основе анализа общей энергетической ситуации, сложившейся в современном мире. Потребности человечества в электроэнергии неуклонно возрастают.

Критически оценивая возможности и опасности атомной энергетики, приходится признать, что было бы весьма неразумно отказываться от использования атомной энергии.

Освоение энергии, выделяющейся в процессе ядерного деления — это лишь один из способов обеспечения человечества необходимой энергией. Ученые продолжают поиски новых, более совершенных и безопасных методов получения ядерной энергии.

Перспективы развития атомной энергетики большинство специалистов связывает с освоением ядерной энергии, выделяющейся при синтезе легких атомных ядер.

Человечество уже вплотную приблизились к осуществлению *управляемой реакции термоядерного синтеза.*

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Реакции термоядерного синтеза

Новый способ основан на использовании энергии, выделяющейся при слиянии ядер легких элементов , расположенных в самом начале Периодической системы, в ядра более тяжелых элементов. Примером реакции такого типа является так называемый *дейтерий – тритиевый топливный цикл*, т. е. синтез гелия (^{4}***He***) из изотопов водорода дейтерия (^2D) и трития (^{3}***T***) при температуре порядка 10^8 К.

$$^2\text{D} + {}^3\mathbf{T} \rightarrow {}^4\mathbf{He} + {}^1\text{n} + \text{E}$$

Еще более перспективен для получения энергии *дейтерий - дейтериевый цикл*, основанный на реакции синтеза гелия (^{4}***He***) из ядер дейтерия (^2D).

$$^2\text{D} + {}^2\text{D} \rightarrow {}^4\mathbf{He} + \mathbf{E}$$

Чтобы начать процесс термоядерного синтеза, необходимо огромное количество энергии , однако , энергия , выделяющаяся в результате осуществления подобной ядерной реакции (***E***), значительно превосходит первоначальные энергетические затраты.

Например, при ядерном синтезе 1 кг гелия (^{4}***He***) из дейтерия (^2D) выделяется $35{,}6 \cdot 10^{26}$ МэВ энергии. Чтобы получить такую энергию, нужно сжечь около 13 600 т бензина. Для сравнения, в реакции ядерного деления 1 кг ^{235}U, выделяется примерно в 7 раз меньше энергии, чем при синтезе 1 кг гелия из дейтерия.

Реакции термоядерного синтеза гелия непрерывно происходят на Солнце и других подобных ему звездах, являясь основным источником их энергии.

Освоение энергии термоядерного синтеза позволит значительно повысить энерговооруженность человечества . Решить проблему *управляемого термоядерного синтеза* — это значит научиться управлять процессами, происходящими в высокотемпературной *плазме* на основе элементов , расположенных в самом начале Периодической системы химических элементов Д.И. Менделеева (в первую очередь, водорода, а в перспективе и гелия).

Плазма — это особое физическое состояние вещества, существующее при температуре ~ $10^6 – 10^9$ К. В этом состоянии атомы вещества полностью или частично утрачивают электроны. Ядра, ионы и электроны движутся с огромной скоростью. В состоянии *плазмы* находится большая часть вещества во Вселенной (звезды , галактические туманности , межзвездная среда).

Плазмой можно управлять с помощью электрических и магнитных полей.

Термоядерная энергетика более безопасна по сравнению с ядерной энергетикой, основанной на делении тяжелых ядер. В термоядерном реак-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

торе в принципе невозможны неконтролируемые ускорения процессов, приводящие к катастрофическим разрушениям. Намного ниже и радиационная опасность.

V. **Заключение**

Развитие атомной энергетики является лишь одним из способов обеспечения мировых потребностей в энергии. В перспективе развитие энергетики предполагает освоение различных источников энергии. Использование новых и сравнительно безопасных методов получения ядерной энергии поможет успешно решить проблему обеспечения человечества необходимой энергией.

Дополнительные материалы к уроку приведены в Приложении VII.

VI. **Задание на дом**. Изучить § 5, ответить на вопросы в конце параграфа.

Урок 6. Ядерный топливный цикл. Проблема радиоактивных отходов

Цель урока: расширить представление о ядерном топливном цикле; познакомить в общих чертах с основными методами переработки радиоактивных отходов.

Оборудование: схемы: «Цепной процесс ядерного деления урана», «Работа атомной электростанции », таблица : « Способы обращения с радиоактивными отходами в зависимости от их агрегатного состояния».

Ход урока

I. **Организационный момент**

II. **Опорные точки урока**

- Ядерный топливный цикл на основе ^{235}U
- Влияние предприятий ядерного топливного цикла на окружающую среду
- Проблема радиоактивных отходов
- Обращение с радиоактивными отходами:
  - переработка радиоактивных отходов в зависимости от их агрегатного состояния
  - изоляция и помещение радиоактивных отходов в труднодоступное место (локальный и региональный подходы)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

III. **Тематический контроль по теме**: « **Атомные электро - станции**» (30 – 35 минут).

Вариант I

1. Найдите правильные ответы и подчеркните буквы, которыми они обозначены.

   «При работе АЭС возникают следующие проблемы:

   а) тепловое загрязнение окружающей среды;

   б) значительный расход кислорода для сжигания топлива;

   в) необходимость переработки высокоактивных отходов и их длительного хранения и/или захоронения;

   г) выброс в атмосферу большого количества веществ, способных причинить ущерб, как человеку, так и среде его обитания.

   Ответ: а), в)

2. Каковы достоинства атомной энергетики?
3. Изложите принцип работы атомной электростанции.
4. Объясните сущность реакции термоядерного синтеза.
5. Как вы думаете, целесообразно ли отказываться от разработки новых, более безопасных способов получения ядерной энергии?

Вариант II

1. Найдите правильные ответы и подчеркните буквы, которыми они обозначены.

   Преимущества традиционных тепловых электростанций:

   а) в каменном угле не содержатся естественные радионуклиды;

   б) отсутствие теплового загрязнения окружающей среды;

   в) незначительный расход кислорода для сжигания топлива;

   г) не нужно перерабатывать высокоактивные отходы и длительно их хранить и/или захоранивать.

   Ответ: г)

2. Перечислите недостатки атомной энергетики
3. Опишите, как протекает цепная реакция деления урана.
4. Какие ядерные реакции протекают на Солнце и подобных ему звездах?
5. Почему термоядерные реакции более перспективны для получения энергии по сравнению с цепными реакциями деления тяжелых атомных ядер?

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

IV. **Постановка учебной задачи**: ядерная энергетика — это не только атомные электростанции; поэтому сегодня мы познакомимся с основными элементами ядерного топливного цикла и важнейшей проблемой, которую приходится решать современной ядерной энергетике, — проблемой утилизации радиоактивных отходов.

V. **Изучение нового материала проводится в форме лекции** (10 – 15 минут).

▶ **Объяснение учителя**

Ядерная энергетика — это не только атомные электростанции, составляющие лишь верхушку айсберга обширной отрасли энергетического производства. Его подводная часть — это добыча и обогащение урановых руд, получение ядерного топлива, его транспортировка и использование на АЭС, а также регенерация отработанного ядерного топлива на специальных заводах, хранение и захоронение радиоактивных отходов.

Радиоактивные отходы — побочные продукты, образующиеся на всех стадиях получения, использования и регенерации ядерного топлива, с содержанием радионуклидов выше установленных норм.

Весь процесс получения тепловой и электрической энергии на атомных электростанциях от разработки урановой руды до утилизации радиоактивных отходов называют ядерным топливным циклом (ЯТЦ).

Типичным примером ядерного топливного цикла является ядерный топливный цикл на основе ^{235}U, схема которого приведена на плакате. (Демонстрирует плакат «Схема ядерного топливного цикла на основе ^{235}U», см. Приложение VII).

Как полагают специалисты МАГАТЭ, обширные территории земного шара (не менее 12 млн. км^2), которые расположены преимущественно в развивающихся странах, являются перспективными в отношении обнаружения в них урана и в будущем могут быть использованы для его добычи.

Минеральное сырье, которое в настоящее время используют для добычи урана, обычно содержит всего от 0,1 до 3,0 % урана. Согласно расчетам специалистов МАГАТЭ, производство урана в 2000 году составляло 35 – 55 тысяч тонн.

Добычу урановой руды осуществляют подземным (*шахтным*) и открытым (*карьерным*) способами. В последние годы, при добыче урановой руды в шахтах, начали применять методы подземной переработки руды с концентрированием урановой породы непосредственно в местах ее добычи.

Переработка урановой руды включает следующие операции:

- отделение пустой породы, не содержащей урана;

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- извлечение урана из руды и получение уранового концентрата — определенного химического соединения урана, состав которого зависит от способа извлечения урана;
- очистка уранового концентрата от примесей.

Выбор способа извлечения урана и очистки полученного соединения определяется составом руды. В процессе очистки отделяются сопутствующие элементы и накопившиеся продукты распада природных радиоактивных изотопов урана.

На большинстве атомных станций используют уран, в котором содержание делящегося изотопа ^{235}U гораздо выше (до 2 %), чем в природном уране (0,7 %).

Природный уран — это смесь трех изотопов урана:

^{238}U — 99,28 %

^{235}U — 0,71 %

^{234}U — 0,006 %.

На обогатительных заводах увеличивают концентрацию изотопа урана ^{235}U в полученном веществе до необходимой величины.

Обогащенный уран поступает на завод по изготовлению тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов). ТВЭЛ является важнейшей частью ядерного реактора (см. Приложение VII). В составе ТВЭЛов в ядерный реактор вводится ядерное топливо. Именно в ТВЭЛах протекает процесс ядерного деления и от них отводится тепло, в которое преобразуется освобождающаяся в делящемся материале ядерная энергия.

Чаще всего уран поступает на завод в виде таблеток, спрессованных из порошка UO_2. При изготовлении ТВЭЛов эти таблетки помещают в специальную металлическую оболочку цилиндрической формы. В качестве оболочки используются материалы, которые слабо поглощают нейтроны, сохраняют механическую прочность и геометрические размеры изделия при воздействии высоких температур, нейтронного и мощного *гамма*-излучения. Полученные тепловыделяющие элементы могут объединять в пакеты, кассеты и блоки, содержащие десятки ТВЭЛов.

Заключительная часть ядерного топливного цикла включает:

- хранение отработанного топлива,
- транспортировку отработанного топлива от АЭС на радиохимические заводы для его переработки,
- переработку отработанного топлива с целью его регенерации (восстановления),
- хранение и/или захоронение радиоактивных отходов.

Существующие способы регенерации позволяют восстанавливать до 90 % урана, а также извлекать плутоний, который, наряду с другими продуктами, содержится в отработанных ТВЭЛах. Ежегодно из ТВЭЛов из-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

влекают около 20 т плутония. Большая часть получаемого плутония используется для изготовления ядерного оружия.

В процессе добычи и переработки урановой руды, получения ядерного топлива, производства электроэнергии на атомных электростанциях и регенерации отработанного топлива образуются радиоактивные отходы и отходы, которые не считают радиоактивными.

Побочные вещества, образующиеся в процессе любого вида деятельности, которые обладают низкой активностью и не требуют обработки, отличной от обработки обычных нерадиоактивных отходов, не считают радиоактивными отходами.

Влияние предприятий ядерного топливного цикла на окружающую среду

Функционирование предприятий ядерного топливного цикла (ЯТЦ) может оказывать влияние на окружающую среду, вызывая ее химическое, тепловое и радиоактивное загрязнение.

При нормальной работе ядерного реактора *радиоактивные вещества* находятся внутри реактора и *не выделяются* в окружающую среду в опасных количествах.

Химическое загрязнение окружающей среды возможно при переработке руды и отработанного ядерного топлива, поскольку на этих этапах используется большое количество токсичных химических веществ.

Тепловое загрязнение биосферы происходит вследствие неполного преобразования на атомных электростанциях тепловой энергии в электрическую. В результате, до 70 % тепловой энергии, выделившейся в реакторе, поступает в окружающую среду.

Радиоактивное загрязнение биосферы радионуклидами *природного происхождения* может происходить при добыче и переработке урановой руды. Источниками радиоактивного загрязнения являются урановые рудники и заводы по переработке урановой руды. Образующиеся на производстве радиоактивные отходы, содержащие полоний (***Po***), радий (Ra) и другие радионуклиды могут попасть в окружающую среду в результате ветровой и водной эрозии, при этом в атмосферу также выделяется газообразный радон (Rn).

Перевозка урановой руды, уранового концентрата, и оксида урана не представляет особой опасности для окружающей среды. Урановые руды характеризуются низким содержанием урана, поэтому их перевозят в обычных самосвалах и вагонах. Обогащенные руды и урановые концентраты, содержащие уран в более высоких концентрациях, перевозят в специальных контейнерах.

Для защиты персонала и окружающей среды ядерное топливо транспортируют на АЭС в виде ТВЭЛов в специальных контейнерах.

В процессе работы атомных электростанций в ядерных реакторах образуется большое количество *радиоактивных веществ искусственного происхождения*. В процессе работы ядерного реактора могут быть утечки *газообразных продуктов деления*, таких как криптон, ксенон, йод и др.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

При нормальной работе АЭС выбросы радионуклидов в окружающую среду незначительны, однако в аварийных ситуациях радиоактивные вещества, содержащиеся в реакторе, могут представлять большую опасность для окружающей среды.

Высокой радиационной опасностью характеризуются все операции ЯТЦ с отработанным ядерным топливом, поэтому при обращении с ним предпринимаются особые меры безопасности.

Отработанное топливо в течении 3 – 4 лет выдерживают на АЭС в специальных бассейнах-хранилищах для снижения радиоактивности в результате распада короткоживущих радионуклидов. Затем отработанное топливо поставляют на перерабатывающий завод в специальных защитных контейнерах из нержавеющей стали.

Срок службы ядерного реактора ограничен (~ 20 –40 лет), потому что со временем физические свойства конструкционных материалов, из которых изготовлен реактор, изменяются в результате постоянного воздействия ионизирующего излучения. Когда реактор выводят из эксплуатации, ядерное топливо из него извлекают, а сам реактор консервируют (оставляют в нерабочем состоянии) или демонтируют.

Таким образом, на этапах, связанных с добычей, обогащением, переработкой урановой руды, получением ядерного топлива, работой ядерного реактора и процессом регенерации ядерного топлива, радионуклиды могут попадать в окружающую среду. Радиационная безопасность при работе предприятий ЯТЦ обеспечивается путем изолирования представляющих опасность радиоактивных веществ от биосферы на всех стадиях топливного цикла.

В настоящее время АЭС ежегодно производят около 250 ГВТ электрической энергии, что составляет около 20 % ее мирового производства. При этом индивидуальные дозы облучения людей в результате производства электроэнергии на всех действующих в мире АЭС незначительны и составляют для жителя Земли, в среднем, менее 0,001 мЗв в год.

Проблема радиоактивных отходов

Учитель. Найдите в пособии информацию о том, как подразделяются радиоактивные отходы в зависимости от удельной радиоактивности и от агрегатного состояния.

«В зависимости от удельной радиоактивности отходы подразделяются на 3 категории:

- *низкой активности* — менее $3{,}7 \cdot 10^5$ Бк/кг (л),
- *средней активности* — $3{,}7 \cdot 10^5$ - $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Бк/кг (л),
- *высокой активности* — более $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Бк/кг (л).

Отходы *низкой* и *средней активности* образуются при добыче и переработке урановой руды, а отходы *высокой активности* — при работе АЭС и регенерации отработанного топлива на радиохимических заводах.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

В зависимости от агрегатного состояния отходы подразделяют на:

- *газообразные*,
- *жидкие*,
- *твердые*.

Учитель (продолжает объяснение)

Для хранения и транспортировки *радиоактивные отходы* переводят в удобную для этого форму.

Что же при этом делают с радиоактивными отходами? Обратимся к таблице «Способы обращения с радиоактивными отходами в зависимости от их агрегатного состояния».

Способы обращения с радиоактивными отходами в зависимости от их агрегатного состояния

Радиоактивные отходы	Способ обращения с отходами
Газообразные инертные газы (ксенон, криптон, аргон), тритий, диоксид углерода и др.	*Газообразные радиоактивные вещества* улавливают при пропускании через специальные фильтры. Часть радиоактивных веществ, которая не улавливается фильтрами, рассеивается в атмосфере через вентиляционные трубы на высоте 100 м и более.
Жидкие высокоминерализованные растворы, образующиеся в процессе переработки отработанного топлива; вода, применяемая в качестве теплоносителя, вода в бассейнах для хранения отработанных ТВЭЛов	*Жидкие радиоактивные отходы* концентрируют путем упаривания или осаждают содержащиеся в них радионуклиды в виде труднорастворимых соединений. Полученные радиоактивные продукты направляют на длительное хранение в специально оборудованные хранилища. Для захоронения отходы переводят в твердое состояние посредством цементирования, смешивания с химически инертными веществами (битумом, бетоном, полимерами), или остекловывания (покрытия стеклообразной массой), помещения в пористые керамические материалы
Твердые отработавшее оборудование, использованные фильтры вентиляционных систем, загрязненные строительные материалы, загрязненная ветошь, спецодежда и др.	*Горючие материалы* сжигают, собирая золу и очищая дымовые газы. *Негорючие материалы* прессуют, при этом их объем уменьшается в 3 - 10 раз. Крупногабаритное оборудование разбирают, разрезают и прессуют. Твердые отходы преимущественно помещают в специальные подземные хранилища

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Вы видите, что существуют отличия в обращении с радиоактивными отходами в зависимости от того, какие это отходы — газообразные, жидкие или твердые. Однако главная задача — перевести радиоактивные вещества в такое состояние, чтобы они стали по возможности химически инертными и не могли проникать в окружающую среду и представлять опасность для биосферы.

В наши дни радиоактивные отходы концентрируют, как правило, переводят в твердое малоподвижное состояние и изолируют от окружающей среды, помещая в специально оборудованные хранилища или в труднодоступные места под землей, т. е. подвергают захоронению.

Существует два подхода к захоронению радиоактивных отходов:

- *локальный*,
- *региональный*.

Локальный подход предполагает захоронение радиоактивных отходов в местах их образования. Это удобно во многих отношениях, но приводит к увеличению размеров опасных зон.

Региональный подход предусматривает выбор наиболее подходящих мест для захоронения радиоактивных отходов и создание централизованных хранилищ. Подобный способ стоит дороже и требует обеспечения безопасности при транспортировке отходов к местам захоронения.

Удаление высокоактивных отходов в глубокие подземные хранилища является основным современным способом захоронения отходов. При создании таких хранилищ используют как искусственно созданные защитные барьеры (толстая прочная оболочка емкостей для отходов, изоляция хранилища от окружающей среды с помощью глинистых материалов), так и природные барьеры, уменьшающие возможность выхода радионуклидов в биосферу (глинистые, известняковые горизонты, залежи каменной соли, гранитные и другие скальные породы).

Поскольку радиоактивные вещества, подлежащие захоронению, находятся обычно в наиболее устойчивом физическом и химически инертном состоянии, это ограничивает их взаимодействие с окружающей средой и вынос радионуклидов за пределы мест захоронения отходов.

Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) контролирует деятельность предприятий атомной энергетики и обращение с радиоактивными отходами. Эта межправительственная организация оказывает содействие всем странам в развитии ядерной энергетики и помогает обеспечивать ее безопасность.

IV. **Задание на дом**: Изучить § 6. Подготовиться к итоговой контрольной работе.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Урок 7. Аварии на ядерных установках и предприятиях ядерного топливного цикла

(Урок-дискуссия — «Ученые за круглым столом»)

Цель урока: углубить знания учащихся о проблемах эксплуатации АЭС, познакомить с Международной шкалой оценки событий на предприятиях ядерного топливного цикла (ЯТЦ), с крупными мировыми катастрофами на этих предприятиях.

Оборудование: карта-схема происшествий на предприятиях ЯТЦ с Приложением.

Ход урока

I. **Организационный момент**

II. **Опорные точки урока**

- **Классификация и критерии опасности ядерных событий**
- **Международная шкала ядерных событий (МШЯС)**
- **Оценка событий, произошедших в прошлом на предприятиях ЯТЦ по шкале МШЯС**
- **Наиболее крупномасштабные радиационные аварии и инциденты на предприятиях ЯТЦ**
- **Основные причины произошедших ядерных аварий**
- **Мероприятия по предотвращению радиационных аварий в будущем**

III. **Постановка учебной задачи**: атомные электростанции, радиохимические заводы по изготовлению ядерного горючего и переработке ядерных отходов являются сложными техническими объектами, на которых одновременно функционирует множество систем различного назначения, обслуживаемых и управляемых людьми. Сегодня мы познакомимся с тем, какие нарушения и сбои в функционировании отдельных систем АЭС и других предприятий ЯТЦ возникали за все время развития ядерной энергетики. Урок-дискуссия пройдет в нетрадиционной форме — «**Ученые за круглым столом**». (В роли ведущего может выступать либо учитель, либо специально подготовленный ученик).

IV. **Изучение нового материала**

▶ **Вступительное слово ведущего**: «Уважаемые господа! Тема сегодняшней нашей дискуссии: «Аварии на ядерных установках и предприятиях ядерного топливного цикла». Общеизвестно, что при любой производственной деятельности существует определенная вероятность возникновения тех или иных технических нарушений и сбоев в функционировании отдельных систем. Вначале хотелось бы услышать информацию о технических нарушениях и сбоях в функционировании отдельных систем, происходивших когда-либо на АЭС и других предпри-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

ятиях ЯТЦ, которые не были связаны с выбросом радиоактивных веществ в окружающую среду. Вам слово …

Первый ученый. Всегда существует определенная вероятность возникновения тех или иных технических нарушений и сбоев в функционировании отдельных систем АЭС, не связанных с выбросом радиоактивных веществ в окружающую среду. Например, на АЭС может сгореть трансформатор, выйти из строя турбина, лопнуть паропровод. Подобные случаи, если они не связаны с выбросом радиоактивных веществ в окружающую среду, не могут ухудшить радиоэкологическую ситуацию в районе расположения действующей АЭС и в регионе в целом.

Практика показывает, что «обычные» аварии на предприятиях ядерного топливного цикла происходят значительно реже, чем на других производствах. Скорее всего, это связано с тем, что на АЭС нет больших количеств горючих и взрывоопасных органических веществ, таких, как нефть, газ, мазут, каменный уголь и др., а требования к качеству оборудования и квалификации персонала, как правило, высокие.

Ведущий: Тем не менее, аварии с выбросом в окружающую среду радиоактивных веществ в работе предприятий ядерного топливного цикла все же имеют место. Известно, что такие события в природе, как шторм, землетрясение, также классифицируют по определенным шкалам. Существует ли подобная шкала для оценки события на предприятии ядерного топливного цикла? Как можно разделить события на предприятиях ядерного топливного цикла по степени воздействия на здоровье людей и окружающую среду?

Второй ученый. Вы, вероятно, знаете, что в 1989 – 1990 годах под руководством МАГАТЭ была разработана, так называемая, Международная шкала ядерных событий (МШЯС). Первоначально эта шкала применялась для классификации происшествий, имевших место на атомных электростанциях. В 1992 году подобная классификация была распространена на все ядерные объекты, связанные с гражданской ядерной промышленностью, и на все события, происходящие во время перевозки радиоактивных материалов.

Ведущий. Можно ли подробнее осветить этот вопрос? По каким именно критериям оценивают те или иные события на предприятиях ядерного топлевного цикла?

Третий ученый. События на предприятиях ядерного топливного цикла оценивают по трем критериям:

- изменение радиационной обстановки и облучение персонала *на территории предприятия*,
- изменение радиационной обстановки и облучение населения за пределами территории предприятия,
- разрушение системы защиты ядерного реактора или емкостей для хранения радиоактивных веществ.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

С помощью *первого критерия* учитывают последствия событий *на территории предприятия ЯТЦ* (например, *АЭС* или *хранилищ радиоактивных веществ*). При этом учитывают все последствия, включая загрязнение радионуклидами территории предприятия и дополнительное облучение *персонала*.

Второй критерий учитывает выброс радиоактивных продуктов *за пределы территории предприятия* и возможность облучения *населения* выше допустимого уровня. Допустимым считается такое облучение, при котором население получает от радионуклидов аварийного выброса предприятия не более 1/10 установленного годового предела дозы.

Третий критерий учитывает происшествия на ядерной установке, которые ведут к ухудшению системы защиты предприятия от выброса радиоактивных веществ в окружающую среду (например, из реактора или хранилища радиоактивных отходов).

Четвертый ученый *(дополняет предыдущего)*. Шкала МШЯС позволяет оценивать все события на предприятиях ядерного топливного цикла по 8-бальной системе: от 0 до 7. Вашему вниманию представляется плакат, на котором приведена эта шкала. События, несущественные с точки зрения радиационной опасности для людей и окружающей среды, классифицируют по этой шкале как события *нулевого уровня*. Их называют *отклонениями*.

Остальная часть шкалы разделена на две части. Нижняя часть, охватывающая три уровня (1 – 3), соответствует *инцидентам* (происшествиям), а верхняя, охватывающая четыре уровня (4 – 7), — *авариям*.

Группа событий в нижней части шкалы представляет собой лишь *потенциальную угрозу* для населения и окружающей среды. Появление таких событий свидетельствует об ухудшении работы АЭС.

События уровней 4 – 7 представляют непосредственную опасность для населения и окружающей среды. К этой группе относятся аварии, которые приводят к превышению допустимых уровней облучения населения.

До настоящего времени самого высокого уровня по радиационной опасности для населения и окружающей среды достигла только Чернобыльская авария.

События, влияющие лишь на эксплуатационные возможности технических устройств (например, турбины или генератора), рассматривают как *выходящие за рамки шкалы*.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Международная шкала ядерных событий

7. Авария крупная (катастрофа)	Разрушение активной зоны и системы защиты реактора. Крупномасштабное (*глобальное*) загрязнение окружающей среды, облучение персонала и населения выше допустимых уровней. Долговременные последствия для окружающей среды. Требуется *широкомасштабное* проведение мероприятий по защите населения, охватывающее обширные территории.
6. Авария серьезная	Разрушение системы защиты реактора или хранилища радиоактивных продуктов. *Региональное* загрязнение окружающей среды, облучение персонала и населения выше допустимых уровней. Долговременные последствия для окружающей среды. Требуется проведение мероприятий по защите населения в рамках пострадавшего *региона*.
5 Авария, сопровождаемая риском для прилегающей к АЭС территории, а также для персонала и населения	Повреждение активной зоны и системы защиты ядерного реактора. Значительный выброс радиоактивных продуктов в окружающую среду *на территории, прилегающей к АЭС*, облучение персонала и населения выше допустимых уровней. Требуется проведение местных мероприятий по защите населения на территории, *прилегающей к АЭС* (эвакуация из пострадавшей местности).
4 Авария, не сопровождаемая значительным риском для населения и окружающей среды за пределами предприятия	Повреждение активной зоны и системы защиты ядерного реактора или хранилища радиоактивных продуктов. Выброс радиоактивных продуктов в окружающую среду *на ограниченной территории за пределами АЭС* или хранилища радиоактивных продуктов. Получение персоналом индивидуальных доз облучения *более 1 Зв*, а населением прилегающих территорий — порядка нескольких *миллизиверт*. Требуется проведение всех мероприятий по защите персонала и населения *на ограниченной территории*.
3 Инцидент серьезный	Частичное повреждение системы защиты ядерного реактора или хранилища радиоактивных продуктов. Выброс радиоактивных продуктов, приводящий к облучению населения выше установленных пределов доз. Индивидуальные дозы облучения персонала превышают 50 мЗв. Не требуется проведения мероприятий по защите населения и территории за пределами объекта. Необходимо проведение мероприятий по защите персонала и очистке территории объекта от радиоактивных продуктов.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

2 Инцидент	Небольшой выброс радиоактивных продуктов, обуславливающий облучение персонала и населения ниже установленных пределов доз. Не требуется проведение мероприятий по защите персонала и населения. Необходимо усилить контроль за соблюдением требований радиационной безопасности.
1 Аномалия	Отклонение от нормальной работы установки, выходящее за рамки разрешенного режима эксплуатации
0 Отклонение, событие ниже шкалы	Незначимо с точки зрения радиационной опасности.
Событие, выходящее за рамки шкалы	Не связано с радиационной опасностью для людей и окружающей среды.

Ведущий. Начиная с 1944 года и по настоящее время в мире произошло более 300 радиационных аварий и инцидентов на предприятиях ЯТЦ. Не могли бы Вы рассказать о самых крупномасштабных авариях и их последствиях.

Пятый ученый. Место и время основных событий, произошедших в период с 1951 по 1999 год, указано на карте-схеме происшествий на предприятиях ЯТЦ (демонстрирует карту-схему). Известно всего 4 крупномасштабные аварии. Обращается по имени отчеству к первому ученому, просит рассказать об аварии, произошедшей в Челябинской области в 1957 году.

Первый ученый.

С 1953 года для хранения жидких радиоактивных отходов на Кыштымском радиохимическом заводе стали применять толстостенные бетонные емкости с покрытием из нержавеющей стали, оборудованные системой охлаждения. Эти емкости, называли «банками вечного хранения».

В 1957 году в одной из таких емкостей отказала система охлаждения. В процессе хранения на дне емкости скопилось несколько десятков тонн взрывоопасной смеси, состоящей из солей нитрата и ацетата натрия. В результате отключения системы охлаждения произошел мощный взрыв этой смеси, который привел к разгерметизации емкости и выбросу в окружающую среду радиоактивных продуктов общей активностью $7{,}4 \cdot 10^{16}$ Бк. Поскольку в этот период дул сильный ветер, радиоактивное облако начало быстро распространяться, и через 10 часов оно продвинулось на расстояние около 300 км. По пути движения облака на земной поверхности образовался радиоактивный «след» шириной 8 – 9 км, который протянулся через Челябинскую, Свердловскую и Тюменскую области. Позднее его назвали Восточно-Уральским следом. В составе выпавших на земную поверхность радиоактивных продуктов преобладали соединения ^{90}Sr.

Загрязненную зону оградили колючей проволокой, вокруг нее построили дренажный канал. Население эвакуировали. Загрязненный грунт сняли, скот уничтожили и захоронили.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Авария, произошедшая на Кыштымском заводе в *1957* ***году***, по шкале МШЯС была оценена как *серьезная авария* уровня 6.

Второй ученый. В том же *1957* ***году*** на предприятии ядерного топливного цикла в Уиндскейле (сейчас Селлафилд, Великобритания), произошла авария реактора, которая привела к выбросу в окружающую среду продуктов деления ядерного топлива (преимущественно ^{131}I и ^{137}Cs). По шкале МШЯС это была авария , *сопровождаемая риском для прилегающей к АЭС территории, а также для персонала и населения*, которая соответствовала уровню 5.

Третий ученый. В *1979* ***году*** в США на АЭС в Тримайл Айленде в результате расплавления активной зоны реактора произошел выброс в атмосферу радиоактивных газов (в основном ^{133}Xe, ^{135}Xe) и жидких радиоактивных отходов в реку Сакуахана. Была проведена эвакуация населения из зоны бедствия . По шкале МШЯС эта авария тоже соответствовала ***уровню*** *5*. Из-за мощного движения «зеленых» энергетическим компаниям пришлось пойти на значительные затраты и усовершенствовать системы контроля и радиационной защиты на АЭС.

Пятый ученый. Авария на Чернобыльской АЭС *1986* ***года*** привела к наиболее крупномасштабному загрязнению окружающей среды. В соответствии со шкалой МШЯС это была авария самого высокого *7* ***уровня***. Говорить о катастрофе на Чернобыльской АЭС следует особо и подробно, поэтому этому вопросу в последующем будет посвящен не один день.

Ведущий. Все вы принимали участие в расследовании причин многих событий на предприятиях ЯТЦ, в том числе и на Чернобыльской АЭС. К каким же выводам пришли специалисты?

Шестой ученый. Исследование причин ядерных аварий позволило экспертам сделать следующие выводы:

- большая часть аварий произошла из-за технических недостатков в конструкции оборудования и по вине операторов;
- в большинстве случаев аварии произошли во время технического обслуживания или испытаний оборудования;
- в некоторых случаях аварии произошли во время остановки ядерных реакторов;
- почти все аварии могли быть предотвращены операторами при своевременном распознавании сигналов контрольно-измерительных приборов

Ведущий . За десятилетия эксплуатации ядерных реакторов человечество накопило значительный опыт , который позволяет предотвращать нежелательные события на предприятиях ядерного топливного цикла. Что же для этого следует предпринимать?

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Первый ученый. Чтобы предотвратить подобные аварии в будущем, необходимо:

- *изучать последствия имевших место аварий и инцидентов;*
- *выяснять их причины;*
- *предпринимать меры по устранению этих причин.*

Ведущий Несмотря на негативные стороны, в настоящее время ядерная энергетика во многом определяет уровень научно-технического прогресса. При разумном отношении и правильной организации работы предприятий ЯТЦ эта область энергетики способствует экономическому развитию общества и росту его благосостояния

Учитель . Как показывает современная история , явление радиоактивности использовалось не только в мирных целях, но и при создании крайне опасного и разрушительного оружия. В следующем году вы более подробно познакомитесь с принципом действия ядерного и термоядерного оружия, узнаете, к каким экологическим последствиям может привести его применение.

V. **Задание на дом**: изучить § 7, ответить на вопросы в конце параграфа.

Урок 8. Итоговая контрольная работа

Вариант I

1. Найдите ***не***правильное утверждение и обведите букву, которым оно обозначено:

а) радиоактивные индикаторы — это радиоактивные изотопы, используемые для изучения поведения атомов химического элемента в различных процессах;

б) в химическом отношении радиоактивные изотопы одного и того же химического элемента значительно отличаются от стабильных изотопов;

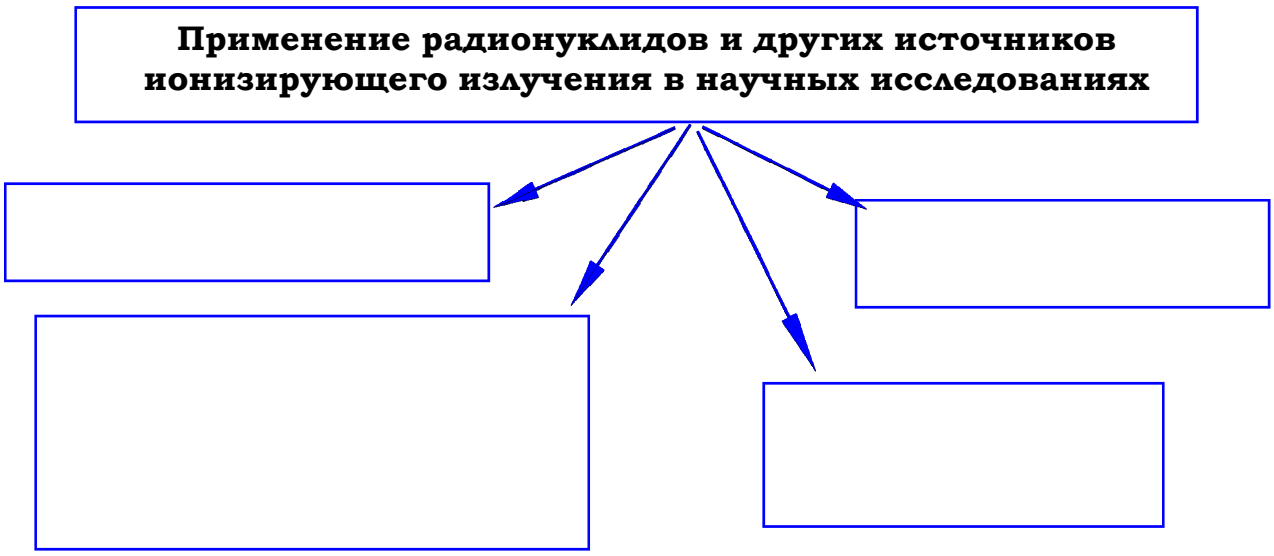
в) тепловое загрязнение биосферы при работе АЭС происходит вследствие неполного преобразования тепловой энергии в электрическую;

г) при воздействии ионизирующего излучения ядра стабильных атомов могут стать радиоактивными.

Ответ: б)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

2. Заполните пропущенные места в схеме:



3. Приведите примеры использования метода «меченых» атомов в сельском хозяйстве?
4. Сравните экологические последствия работы атомных и тепловых электростанций. Сделайте вывод.
5. Вы являетесь руководителем крупного предприятия по переработке отработанного ядерного горючего. Как бы Вы решили проблему отходов на своем предприятии, если вблизи предприятия находятся неглубоко залегающие скальные породы? Ответ аргументируйте.

Вариант II

1. Найдите ***не*** правильное утверждение и обведите букву, которым оно обозначено:

   а) в термоядерном реакторе протекает управляемая реакция ядерного синтеза;

   б) при добыче и переработке урановой руды возможно только радиоактивное, но не химическое загрязнение окружающей среды;

   в) большое количество тепла, выделяющегося в окружающую среду при работе АЭС, связано с далеко неполным преобразованием тепловой энергии, в которую преобразуется освобождающаяся в реакторе ядерная энергия, в электрическую энергию;

   г) радиоактивные нуклиды применяют для определения герметичности емкостей, заполняемых ядовитыми веществами.

Ответ: б)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

2. Заполните пропущенные места:

   По агрегатному состоянию радиоактивные отходы, образующиеся на предприятиях ядерного топливного цикла подразделяют на: …, …, ….

3. Опишите, какие источники ионизирующего излучения используются в медицине для диагностики заболеваний.

4. Сопоставьте достоинства и недостатки ядерной энергетики. Стоит ли разрабатывать новые, более совершенные методы освоения ядерной энергии?

5. Если бы Вам предложили захоронить радиоактивные отходы отработанного ядерного реактора, где бы Вы их разместили, если вблизи вашего предприятия находится отработанная соляная шахта? Какой принцип их размещения Вы бы выбрали? Ответ аргументируйте.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Приложение VII
Дополнительный материал и иллюстрации к разделу 13.6

ДЕСЯТЫЙ КЛАСС

Использование источников ионизирующего излучения в медицине

Источники ионизирующего излучения широко используются в медицине. Можно выделить следующие области их применения:

- лучевая диагностика;
- радиоизотопная медицина;
- радиационная терапия.

Лучевая диагностика

Ежегодно большая часть населения проходит *рентгенологическое обследование*. Рентгеновские лучи обладают высокой проникающей способностью и дают возможность врачам «заглянуть» внутрь организма. При прохождении через тело рентгеновские лучи в большей степени поглощаются плотным веществом костной ткани и значительно слабее — мягкими тканями.

Если позади тела обследуемого пациента расположить фотоматериал, чувствительный к действию рентгеновских лучей, то по интенсивности потемнения фотопленки после ее проявления можно судить о внутреннем строении органов, которые «просвечиваются» рентгеновскими лучами. Степень потемнения фотоматериала зависит от интенсивности рентгеновских лучей, прошедших через организм человека. На рентгеновском снимке кости, пропускающие меньшую часть рентгеновского излучения, выглядят светлыми, а мягкие ткани, через которые проходит большая часть излучения, — темными.

С помощью рентгеновского снимка легко выявить трещины и переломы костей, обнаружить камни в почках или желчном пузыре, выявить опухоли в органах и тканях организма человека.



Доза облучения, получаемая человеком при *рентгенографии грудной клетки*, — *0,1 мЗв*.

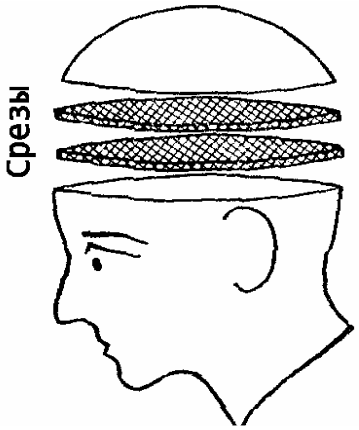
Величайшим научно-техническим достижением явилась разработка такого метода диагностики заболеваний, как *компьютерная томография*.

В 1979 году А. Кормаку и Г. Хаунсфильду, создателям метода компьютерной томографии, была присуждена Нобелевская премия.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Томография — это метод неразрушающего послойного исследования внутренней структуры объекта посредством просвечивания его в различных направлениях (так называемое сканирующее просвечивание).

Первоначально компьютерный томограф, в котором использовалось рентгеновское излучение, был разработан для исследования головного мозга. Вся процедура компьютерной томографии обычно занимает несколько минут.



С помощью компьютера получают изображение внутренней структуры головного мозга. На изображении можно детально рассмотреть определенные участки мозга.

Рентгеновский аппарат вращается вокруг головы пациента . При этом узкий пучок рентгеновских лучей многократно проходит через головной мозг, пересекая его в различных направлениях. После прохождения через голову пациента рентгеновские лучи поступают на кристаллический детектор. Попадая в детектор, излучение вызывает ионизацию вещества, из которого изготовлен детектор. Это приводит к возникновению электрического сигнала в регистрирующей системе, частью которой является детектор.

Электрические сигналы обрабатываются компьютером, и на экране дисплея получается изображение тонких слоев головного мозга. Можно получить и общий вид исследуемой области с указанием положения отдельных слоев.

В настоящее время существуют различные разновидности метода томографии:

- рентгеновская,
- ультразвуковая,
- *гамма*-томография
- протонная и. др.

Компьютерный томограф, используемый в настоящее время в медицинской диагностике, как правило, представляет собой куб, внутри которого находится кольцо с источником излучения и детекторами излучения. При томографическом анализе через окно внутрь вращающегося кольца медленно перемещается горизонтальная плоскость, на которой лежит пациент.

Современные томографы позволяют получать изображение тонких слоев любой части человеческого тела. У врачей появилась возможность исследовать анатомическую структуру внутренних органов и частей тела человека размером до нескольких миллиметров.

При использовании метода компьютерной томографии пациенты получают в 10 раз более высокие дозы облучения, чем при обычной рентгенографии , поэтому ее используют лишь тогда, когда обычная рентгенография неэффективна

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Радиоизотопная диагностика

В диагностических целях в медицине широко используются и радиоактивные изотопы. *Радиоизотопная диагностика* основана на регистрации излучения от введенных в организм человека радиоактивных веществ (диагностика *in vivo*) или изучении взятых у пациента биологических проб при добавлении к ним радиоактивных веществ (*диагностика in vitro*).

В диагностических целях используют радиоактивные вещества, содержащие радиоизотопы, наименее опасные для организма человека и обладающие непродолжительным периодом полураспада.

Диагностика in vivo может быть использована для определения состояния различных органов и тканей, а также для изучения протекания важных биологических процессов в организме человека. Благодаря высокой чувствительности современных приборов, регистрирующих ионизирующие излучения, обследования проводятся при введении в организм человека небольших количеств радиоактивных веществ (около 1 мкг). Поэтому при таких диагностических процедурах пациенты, как правило, получают небольшие дозы облучения.

Использование радиоизотопов для диагностики *in vivo*

Радиоизотоп	Что помогает установить?
^{131}I	Состояние щитовидной железы
^{75}Se	Функционирование поджелудочной железы
^{24}Na	Скорость кровотока и проницаемость кровеносных сосудов
^{42}K	Нарушения биологических процессов с участием калия
^{99m}Tc	Опухоли головного мозга, патологию слюнных желез, крупных сосудов, скелета, почек, печени, сердца

Диагностика in vitro основана на изучении биологических проб пациента (образцов крови, желудочного сока, тканей и т. п.) с помощью радиоактивных веществ. Примером диагностики *in vitro* является *радиоиммунный анализ*, который приобрел широкое распространение.

Радиоиммунный анализ — это высокочувствительный метод определения содержания в организме человека самых разнообразных гормонов (поджелудочной железы, щитовидной железы, гипофиза и др.), белков сыворотки крови и ферментов, который основан на использовании радиоактивных изотопов.

При проведении *радиоиммунного анализа* используется радиоактивное вещество, которое не вводят в организм человека, а добавляют к исследуемому образцу биологической пробы. Благодаря этому при осуществлении радиоимунного анализа пациент не подвергается дополнительному облучении. Кроме того, исследование биологических проб можно многократно повторять, что позволяет наблюдать за эффективностью лечения пациента.

Метод радиоимунного анализа позволяет диагностировать заболевания, связанные с нарушением гормонального обмена и деятельности иммунной системы.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Радиационная терапия

Помимо использования ионизирующего излучения в медицинской диагностике, его также применяют и для лечения различных заболеваний. Наиболее широко используют ионизирующие излучения для лечения онкологических заболеваний.

Терапевтическое действие радиации основано на способности ионизирующего излучения угнетать процессы деления клеток и, в конце концов, приводить к их гибели. При лечении онкологических заболеваний ионизирующее излучение используют для уничтожения раковых клеток в организме пациента.

Злокачественные новообразования облучают *гамма*- и рентгеновскими лучами, потоком ускоренных электронов, протонов и *альфа*-частиц. Применение разнообразных методов облучения позволило добиться хороших результатов при лечении онкологических заболеваний.

Часто облучение опухолей осуществляют с помощью кобальтовой «пушки», которая является источником *гамма*-квантов высокой энергии. *Гамма*-кванты испускаются при радиоактивном распаде изотопа кобальта ^{60}Co, который помещен в свинцовый сферический контейнер, служащий радиационной защитой прибора.

Иногда в качестве излучателей используют и другие радиоактивные источники, например, источники в виде:

- металлической проволоки, содержащей радиоактивный йод (^{132}I);
- зерен, содержащих изотоп ^{125}I;
- игл, содержащих изотоп ^{226}Ra.

В радиационной терапии радионуклиды, являющиеся источниками ионизирующего излучения, нередко вводят и внутрь организма. Так, при хирургическом удалении опухолей в организме пациента может оставаться ткань, пораженная раковыми клетками. Чтобы избежать появления метастазов (разрастания раковых клеток), в организм человека вводят определенный радиоактивный изотоп, который концентрируется в больном органе, вызывая гибель раковых клеток.

Поглощенные дозы при *терапевтических* процедурах могут достигать значительных уровней ($20-60$ *Гр*). При лечении онкологических заболеваний, чтобы убить только раковые клетки, необходимо очень точно оценивать требуемые дозы и облучать только те места, где находятся раковые клетки. При значительных дозах, применяемых в онкологии, облучение неповрежденных тканей может привести к лучевой болезни.

Ионизирующее излучение применяют также при лечении и других заболеваний. Так, для лечения заболеваний суставов и нервной системы используют радоновые ванны. Кожные и глазные болезни лечат с помощью аппликаторов, содержащих радиоактивный стронций (^{85}Sr). Для этих целей используют аппликаторы, содержащие этот радиоактивный изотоп.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Компьютерный томограф

Компьютерный томограф представляет собой куб, внутри которого находится кольцо с источником рентгеновского излучения и детекторами излучения. При томографическом анализе через окно внутрь вращающегося кольца медленно перемещается горизонтальная плоскость, на которой лежит пациент.



Компьютерная томография позволяет

- обнаруживать невидимые на обычных рентгеновских снимках детали анатомического строения органов,
- выявить патологические изменения в организме (трав—мы, опухоли, поражение лимфатических узлов, расширение сосудов), которые при обычном рентгеновском обследовании не удается установить.

Методы определения возраста природных образований по распаду радионуклидов:

Свинцово-урановый метод заключается в определении содержания в горной породе ^{238}U и стабильного изотопа свинца ^{206}Pb, являющегося конечным продуктом его распада. Период полураспада ^{238}U составляет около 4,47 миллиардов лет. Чем больше ^{206}Pb накопилось в урансодержащей горной породе, тем больше ее возраст.

С помощью *свинцово-уранового метода*, например, показано, что:

- наиболее древние породы нашей планеты существуют ~ 3,6 – 3,7 млрд. лет;
- возраст Земли составляет ~ 4,6 млрд. лет.

Калиево-аргоновый метод состоит в определении соотношения радиоактивного калия ($^{40}\boldsymbol{K}$) природного происхождения и стабильного изотопа аргона (^{40}Ar), являющегося одним из продуктов ядерного превращения $^{40}\boldsymbol{K}$ при захвате его ядром орбитального электрона:

$$^{40}\mathbf{K} + b^- \rightarrow {}^{40}\mathbf{Ar} + l$$

Период полураспада $^{40}\boldsymbol{K}$ составляет 1,3 миллиардов лет. Этот метод позволяет оценить возраст минералов, содержащих относительно большие количества калия, таких, как например, слюда и полевой шпат.

Радиоуглеродный метод основан на определении содержания радиоактивного изотопа углерода $^{14}\boldsymbol{C}$ в образцах органического происхождения. Период полураспада изотопа $^{14}\boldsymbol{C}$ составляет 5 730 лет.

Радиоактивный углерод $^{14}\boldsymbol{C}$ постоянно образуется в верхних слоях атмосферы при взаимодействии атомов атмосферы с космическим излучением и вместе со стабильными изотопами $^{12}\boldsymbol{C}$ и $^{13}\boldsymbol{C}$ участвует в при-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

родном круговороте углерода. На протяжении последних 50 000 лет содержание изотопа ^{14}C в атмосфере мало менялось.

Изотопы углерода в основном присутствуют в атмосфере в составе диоксида углерода (*II*) и в результате процесса фотосинтеза переходят в состав более сложных углеродсодержащих органических молекул растительного организма. Далее по пищевой цепи углерод попадает в организм животных и человека.

На протяжении жизни концентрация радиоактивного углерода в тканях растений и животных остается постоянной, поскольку уменьшение содержания изотопа ^{14}C вследствие радиоактивного распада компенсируется его поступлением из окружающей среды.

После отмирания организма обмен веществ с внешней средой прекращается, и углерод больше не поступает в организм. С этого момента содержание изотопа ^{14}C в организме начинает непрерывно уменьшаться за счет радиоактивного распада изотопа.

Определив содержание радиоактивного углерода в предмете, который когда-то был живым организмом или его частью, можно определить время, прошедшее с момента отмирания организма.

Современный радиоуглеродный метод позволяет определять возраст образцов органического происхождения вплоть до *50 000 лет*.

Использование источников ионизирующего излучения в промышленности

Обнаружение дефектов в промышленных изделиях

Радиационная дефектоскопия — метод обнаружения дефектов структуры в промышленных изделиях, основанный на способности ионизирующего излучения неодинаково поглощаться в местах расположения дефектов и на участках с ненарушенной структурой.

При контроле излучение источника направляют на анализируемый объект, за которым помещают фотоматериал, чувствительный к используемому излучению.

Радиационная дефектоскопия позволяет

- обнаруживать местонахождение внутренних дефектов,
- определять форму и размеры дефектов,
- получать изображение дефектов с помощью фотоматериалов.

Дефекты стальных конструкций, крупных металлических отливок и качество сварных швов трубопроводов контролируют с помощью источников *гамма*-излучения.

Контроль толщины материалов

Степень поглощения излучения изделием зависит от:

- *природы излучения,*
- *состава и структуры материала, из которого состоит изделие,*
- *толщины изделия.*

Чтобы контролировать в процессе производства толщину бумаги, пластика, металлической фольги, жести и др. материалов, источник излучения устанавливают под движущимся транспортером, несущим изделие, а над транспортером располагают детектор излучения. По степени поглощения излучения определяют толщину изделия с точностью до нескольких микрон.

При контроле толщины *тонких* гальванических покрытий и других пленок в качестве источника излучения обычно используют *бета*-излучающий изотоп талия ^{204}Tl.

Толщину более *толстых* материалов (жести, горячего проката) контролируют с помощью *гамма*-излучения.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Использование источников ионизирующего излучения для определение уровня жидкости в резервуарах

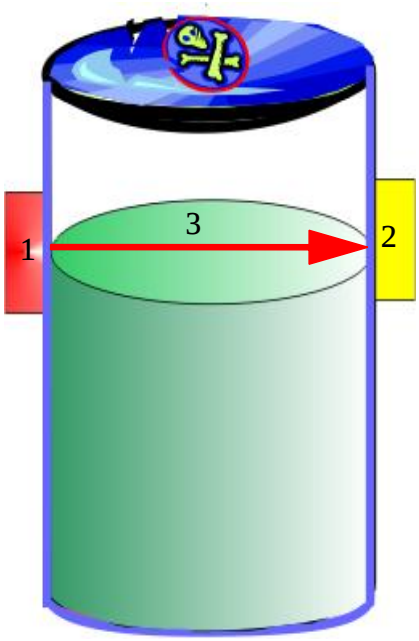


Схема устройства для контроля уровня токсичных жидкостей в замкнутых резервуарах

1 — Источник излучения
2 — Детектор
3 — Уровень жидкости

На химических предприятиях при заполнении замкнутых емкостей токсичными веществами контроль уровня жидкости в них осуществляют с помощью источников ионизирующего излучения. Для осуществления контроля источник излучения и детектор устанавливают на внешней стороне емкости напротив друг друга. Как только жидкость поднимается выше определенного уровня, интенсивность излучения из-за поглощения его жидкостью резко падает и заполнение резервуара автоматически прекращается.

Радиоактивные нуклиды применяют и для определения герметичности емкостей, заполняемых ядовитыми веществами. В случае утечки ядовитых веществ, детекторы регистрируют их по излучению радиоактивных добавок, внесенных в ядовитое вещество.

Контроль производственных технологических процессов

Радиоактивные изотопы широко используют для контроля производственных технологических процессов. Так, в стекольном производстве процесс варки стекла контролируют с помощью радиоактивного изотопа ^{24}Na, добавляемого в исходное сырье.

См. также Приложение IV.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Изменение структуры и свойств материалов .
Получение новых материалов .

С помощью ионизирующего излучения можно изменять свойства материалов (полимеров, лаковых покрытий, резины) и синтезировать новые вещества.

Можно привести множество примеров радиационной обработки материалов с целью изменения их свойств.

- Облучение повышает термостойкость полиэтилена. Температура его размягчения поднимается от ~ 100 до 350 С, что позволяет использовать трубы из облученного полиэтилена в системе горячего водоснабжения.
- Радиационная обработка при вулканизации полибутадиена и других эластомеров используется в производстве шин и резинотехнических изделий с целью увеличения их прочности и износостойкости.
- Ионизирующее излучение применяют для улучшения качества получаемых композиционных материалов. Метод заключается в способности ионизирующего излучения вызывать полимеризацию мономеров, пропитывающих пористые материалы. Таким способом получают древо-, бетоно-, стекло- и цементополимеры, обладающие повышенной прочностью , упругостью , водо - и морозоустой - чивостью . Полимеризацию мономеров под действием ионизи - рующего излучения называют *радиационной полимеризацией.*
- Радиационную полимеризацию применяют и для увеличения прочности адгезии (сцепления) при нанесении лакокрасочных покрытий на бумагу, дерево, металл, стекло, шифер и полимерные пленки.

Под действием облучения в материалах могут происходить *химические изменения*:

- Ø образование поперечных связей между молекулами;
- Ø деструкция (разрушение) макромолекул.

При этом появляются «перекрестные» химические связи и образуется своеобразная сетчатая структура, что приводит к увеличению механической прочности , теплостойкости и другим полезным изменениям свойств материалов.

Применение источников ионизирующего излучения в сельском хозяйстве

В сельском хозяйстве внешнее воздействие ионизирующего излучения источников искусственного происхождения используют для

- повышения урожайности сельскохозяйственных культур;
- выведения новых сортов растений — радиоселекции;
- радиационной стерилизации продуктов питания;
- обеззараживания стоков животноводческих комплексов.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Гамма-излучение применяют для выведения новых сортов пшеницы, фасоли, овса, картофеля, гречихи, фруктовых деревьев, чая, декоративных цветов и других культур. Новые сорта растений, полученные путем *искусственно вызванных мутаций* в растительном организме под действием искусственного облучения, относят к генетически модифицированным.

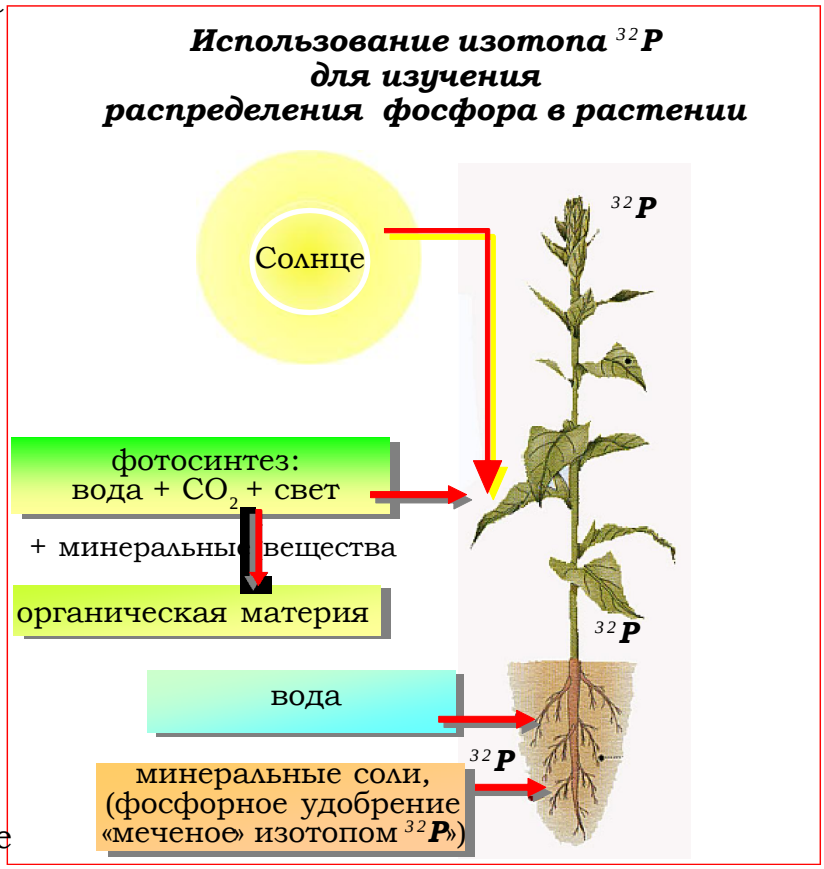
В последнее время все более широкое распространение приобретает радиационная обработка пищевых продуктов с целью уничтожения бактерий, грибков, насекомых-вредителей, что предупреждает порчу и уменьшает потери продуктов питания при их длительном хранении.

Традиционные методы стерилизации продуктов питания основаны на их нагревании и химической обработке, что часто приводит к разрушению витаминов, ухудшению вкусовых качеств продуктов. Радиационная стерилизация обладает высокой эффективностью, может проводиться в упаковке, не меняет цвета, запаха и вкуса пищевых продуктов. Поэтому облучение используют для продления сроков хранения мяса, рыбы, фруктов, овощей, грибов, ягод, приправ и специй. Благодаря радиационной стерилизации жители северных районов мира могут наслаждаться экзотическими южными фруктами.

К проведению радиационной стерилизации подходят осторожно. Доказательства безвредности облученных продуктов всегда предшествуют применению подобного способа обработки на практике. Многочисленные исследования свидетельствуют о безопасности для человека пищевых продуктов, подвергнутых радиационной стерилизации.

Радиационная стерилизация насекомых, разведенных в неволе, и их внедрение в «дикую» популяцию приводит к потере способности насекомых к размножению. Подобный метод был применен против средиземноморской плодовой мухи.

Кроме использования внешнего облучения, в сельском хозяйстве применяют метод «меченых» атомов, который основан на том, что радиоактивные



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

и нерадиоактивные изотопы химического элемента ведут себя одинаковым образом. Поэтому, добавляя к изучаемому веществу небольшое количество такого же вещества, но содержащего радиоактивный изотоп, можно детально проследить поведение элемента путем измерения излучения радиоактивного изотопа.

Особенно широко используют метод «меченых» атомов в агротехнике. С его помощью изучают:

- распределение элементов питания в растительных и животных организмах;
- влияние удобрений на развитие растений в зависимости от состава, формы и времени их внесения.

Дополнительные материалы к урокам 5 - 7

В последние десятилетия для удовлетворения энергетических потребностей ежегодно в мире сжигаются десятки миллиардов тонн органического топлива. Не менее половины из них приходится на долю нефти и газа, которые являются ценнейшим сырьем для производства новых материалов, удобрений, лекарственных препаратов и другой необходимой людям продукции.

Поскольку наиболее доступные и дешевые источники этих природных органических материалов, в основном, исчерпаны, человечеству приходится осваивать все более труднодоступные месторождения. Приходится затрачивать все больше усилий для их добычи и доставки нефти и газа в промышленно развитые регионы. Однако даже эти запасы, по мнению многих специалистов, ограничены.

Из других видов традиционных органических энергоносителей можно рассчитывать лишь на уголь, однако, и его запасов хватит не более, чем на нескольких сотен лет.

В настоящее время в ряде стран существенный вклад в получение электрической энергии вносит гидроэнергетика. Однако гидроэнергетические ресурсы также ограничены и в перспективе могут быть использованы для решения энергетических проблем лишь в отдельных регионах. Если же учитывать возникающие при этом экологические проблемы, вряд ли стоит в значительной мере рассчитывать на гидроэнергетические ресурсы в будущем.

Большие надежды нередко возлагают на нетрадиционные возобновляемые энергетические ресурсы — энергию Солнца, ветра, морских приливов и отливов, геотермальную энергию, т. е. энергию земных недр. Не отказываясь от использования природных источников энергии, следует отдавать себе отчет в том, что с их помощью можно решать лишь локальные энергетические проблемы.

Критически оценивая возможности и опасности атомной энергетики, приходится признать, что было бы весьма неразумно отказываться от использования атомной энергии.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Освоение энергии, выделяющейся в процессе ядерного деления — это лишь один из способов обеспечения человечества необходимой энергией. Ученые продолжают поиски новых, более совершенных и безопасных методов получения ядерной энергии.

Освоением ядерной энергии, выделяющейся при синтезе легких атомных ядер, является одним из перспективных направлений развития ядерной энергетики.

Разработка новых методов получения ядерной энергии требует огромных затрат, поэтому их целесообразно проводить в рамках международных проектов. Это позволяет объединять экономический и научный потенциалы стран-участниц и добиваться более ощутимых результатов.

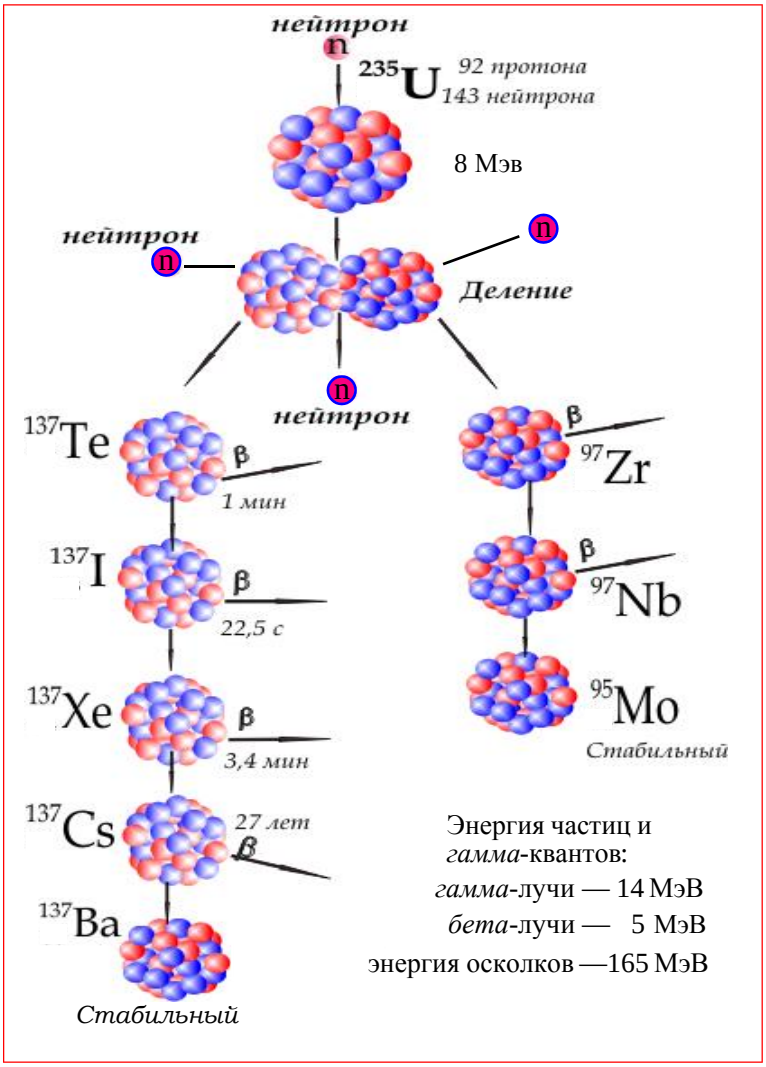
В 2001 году объединенными усилиями ученых многих стран была завершена разработка технического проекта первого в мире международного экспериментального термоядерного реактора. Планируется построить такой реактор на территории Франции (Кадараш) в течение 9 лет. На его основе будут отрабатываться технологии для создания коммерческой термоядерной электростанции. В проекте создания международного экспериментального термоядерного реактора участвуют *США, Россия, Япония, Канада, Китай, Южная Коре, Европейский Союз, Казахстан.*

Одним из перспективных направлений развития энергетики является разработка способов использования ядерной энергии для получения водорода — идеального топлива с экологической точки зрения. Реализация этой идеи предусматривает замену органического топлива водородом во многих сферах человеческой деятельности:

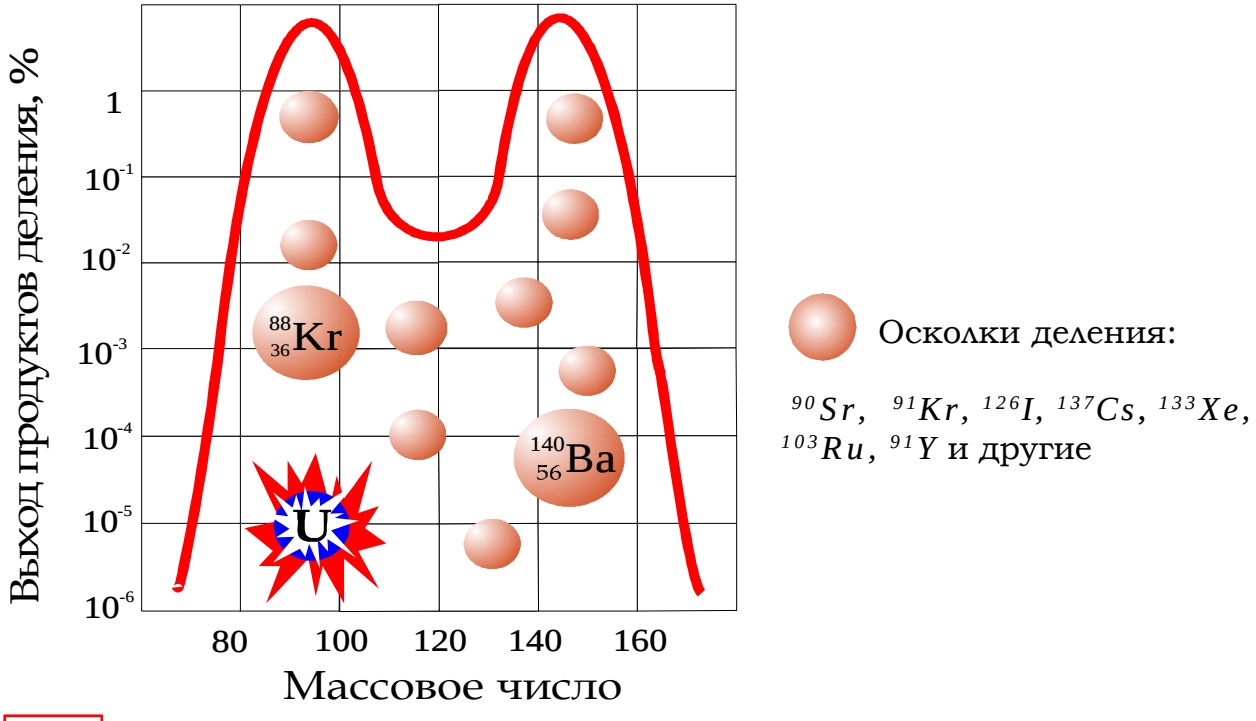
- в металлургии — для производства металлов из руды путем их восстановления;
- в химии — для синтеза аммиака и метана;
- на транспорте — в качестве авиационного и автомобильного топлива.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Одна из наиболее вероятных схем деления ^{235}U



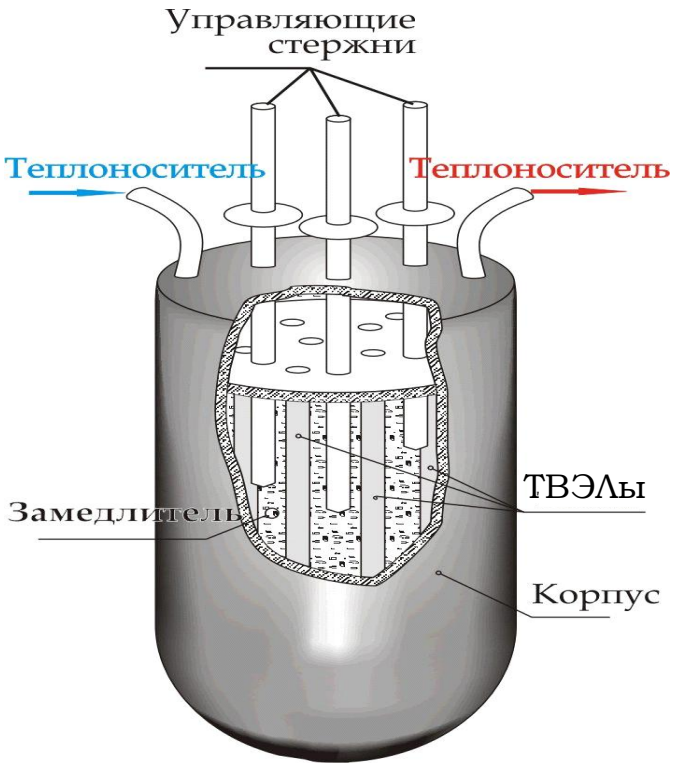
Продукты деления урана



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

В ядерном реакторе происходит преобразование ядерной энергии, освобождающейся в процессе регулируемой цепной реакции деления ядер тяжелых элементов, в тепловую энергию. Основными элементами ядерного реактора являются: *тепловыделяющие элементы (ТВЭЛы), управляющие (контрольные) стержни, замедлитель, отражатель, теплоноситель.*

Схема гетерогенного ядерного реактора



Та часть ядерного реактора, где происходит реакция ядерного деления, называется *активной зоной*. В этой части реактора размещается ядерное топливо. Топливо находится в герметичной защитной оболочке из термостойкого циркониевого сплава. Такие элементы конструкции называют *тепловыделяющими элементами (ТВЭЛами)*.

По способу размещения топлива реакторы делят на *гетерогенные* и *гомогенные*. В *гетерогенных* реакторах ядерное топливо распределено по активной зоне неравномерно — в виде ТВЭЛов. В *гомогенных* реакторах ядерное топливо равномерно распределяется по активной зоне.

Управляющие (контрольные) стержни состоят из веществ, которые хорошо поглощают нейтроны. С их помощью регулируют процесс ядерного деления. Они поддерживают определенное содержание нейтронов в активной зоне и обеспечивают протекание цепной реакции ядерного деления, препятствуя чрезмерно активному протеканию процесса деления и перегреву активной зоны реактора.

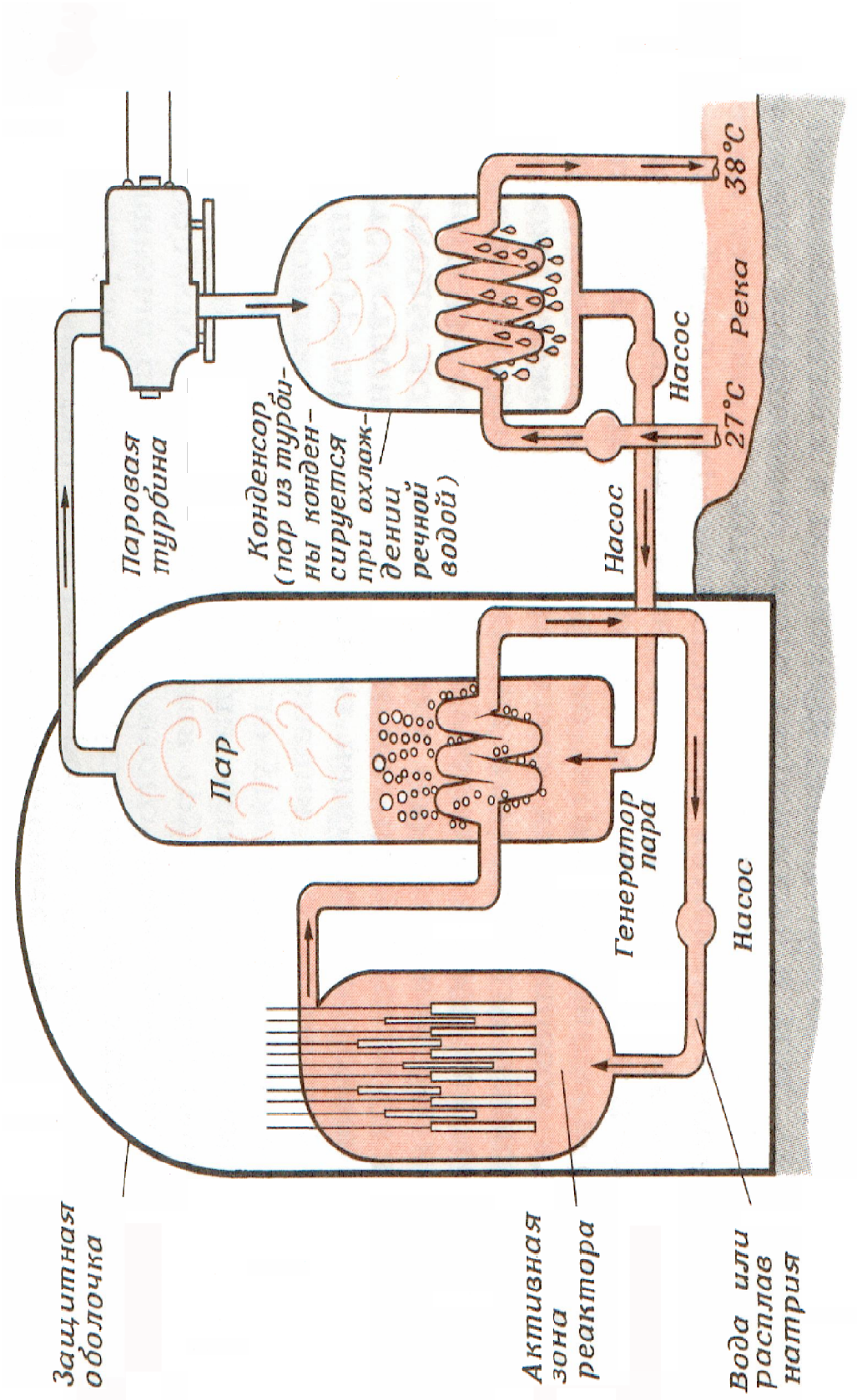
Замедлитель — это вещество, которому нейтроны, освобождающиеся при делении тяжелых ядер, передают часть своей энергии, превращаясь в *тепловые* нейтроны, которые продолжают цепной процесс ядерного деления. В качестве замедлителей используют графит (***C***), воду ($\boldsymbol{H_2O}$) и тяжелую воду (***HDO***), в которой атомы обычного водорода — протия ($^1\boldsymbol{H}$) заменены атомами тяжелого водорода дейтерия (^2D). В гетерогенных реакторах замедлитель располагают между ТВЭЛами. В гомогенных реакторах замедлитель смешан с ядерным топливом и равномерно распределен по активной зоне.

Отражатели применяют для уменьшения потерь нейтронов, участвующих в делении. Отражатели изготавливают из тяжелых металлов и располагают по периферии активной зоны. Они возвращают *нейтроны* в *активную зону*, увеличивая число нейтронов, участвующих в процессе ядерного деления.

Теплоноситель используют для отвода из активной зоны реактора тепловой энергии, в которую преобразуется энергия ядерного деления и сопутствующих ядерных превращений. В качестве теплоносителей применяют воду, жидкие металлы (калий или натрий), газы (воздух, азот, диоксид углерода, гелий), а также различные органические вещества.

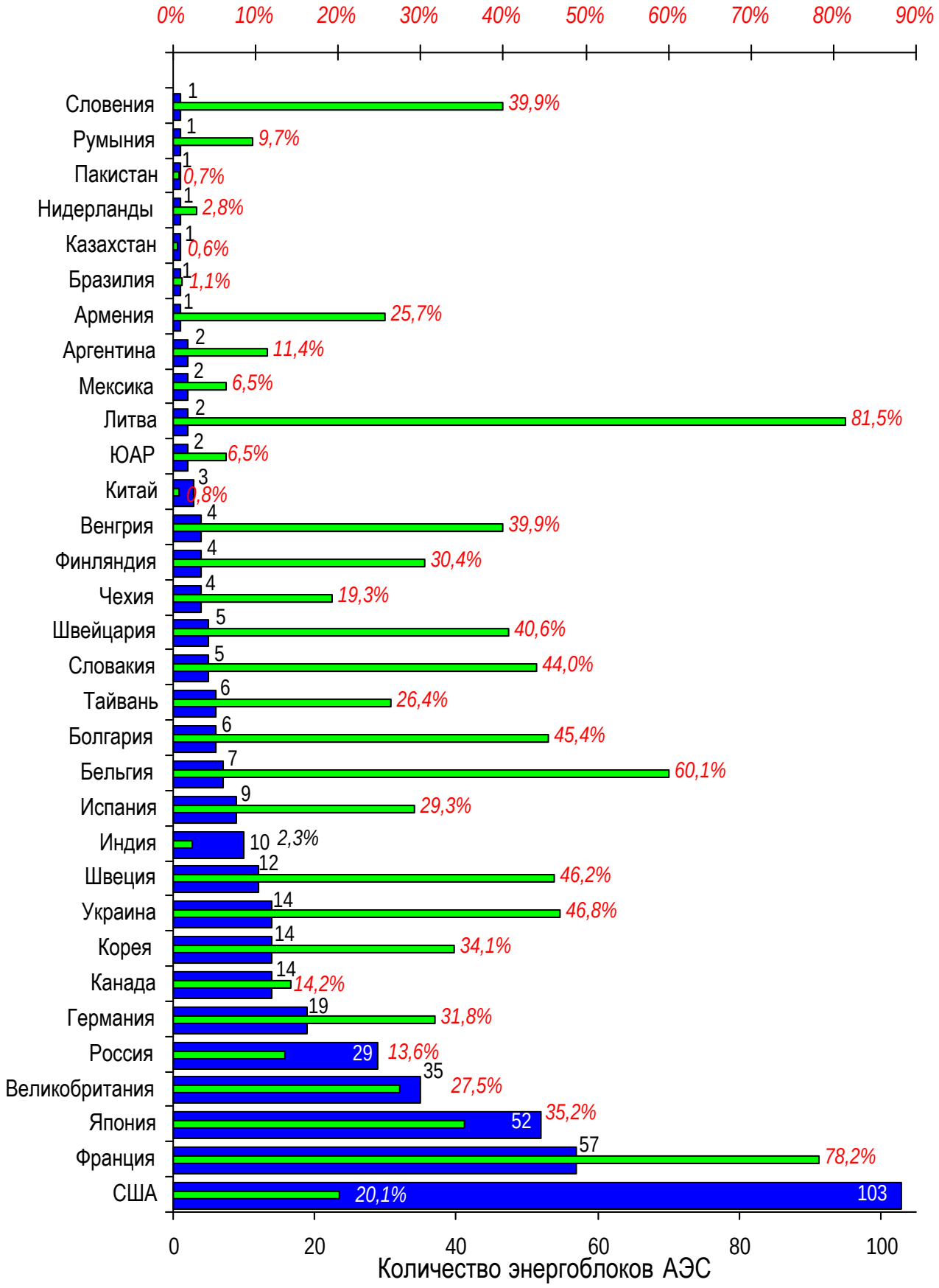
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Принципиальная схема атомной электростанции



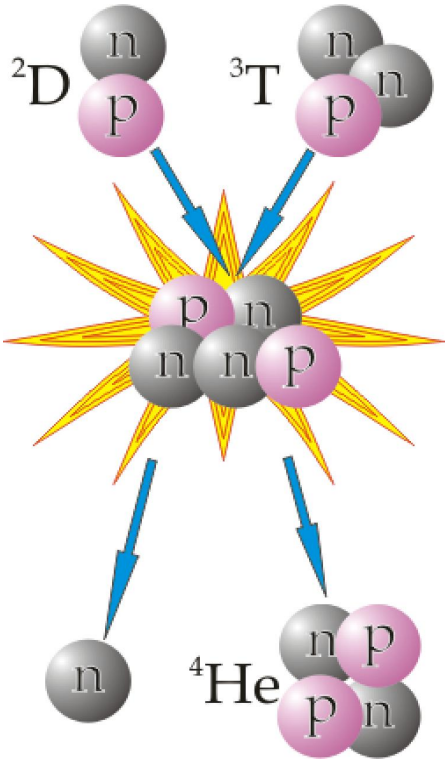
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Относительное количество электроэнергии, вырабатываемой АЭС (E, %), и количество энергоблоков АЭС в разных странах



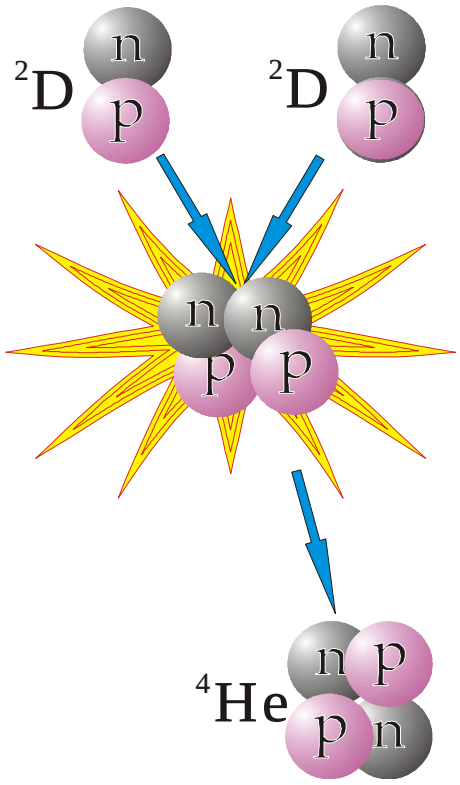
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Синтез ядер гелия (^4He) из ядер



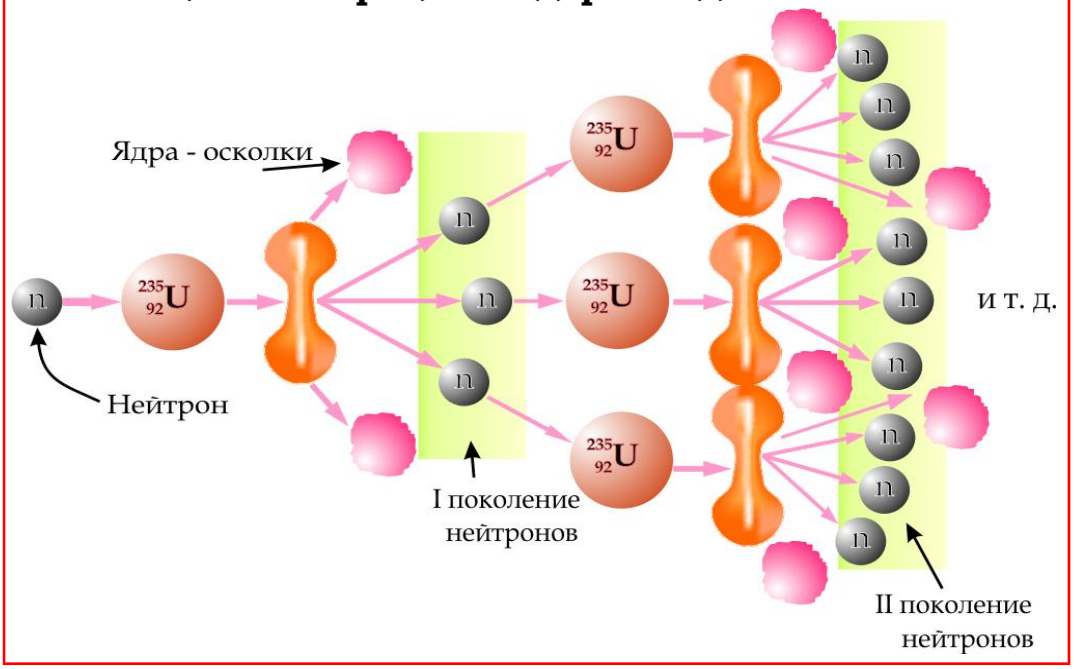
$^2D + {}^3T \rightarrow {}^4He + {}^1n + \mathbf{E}$

Синтез ядер гелия (^4He) из



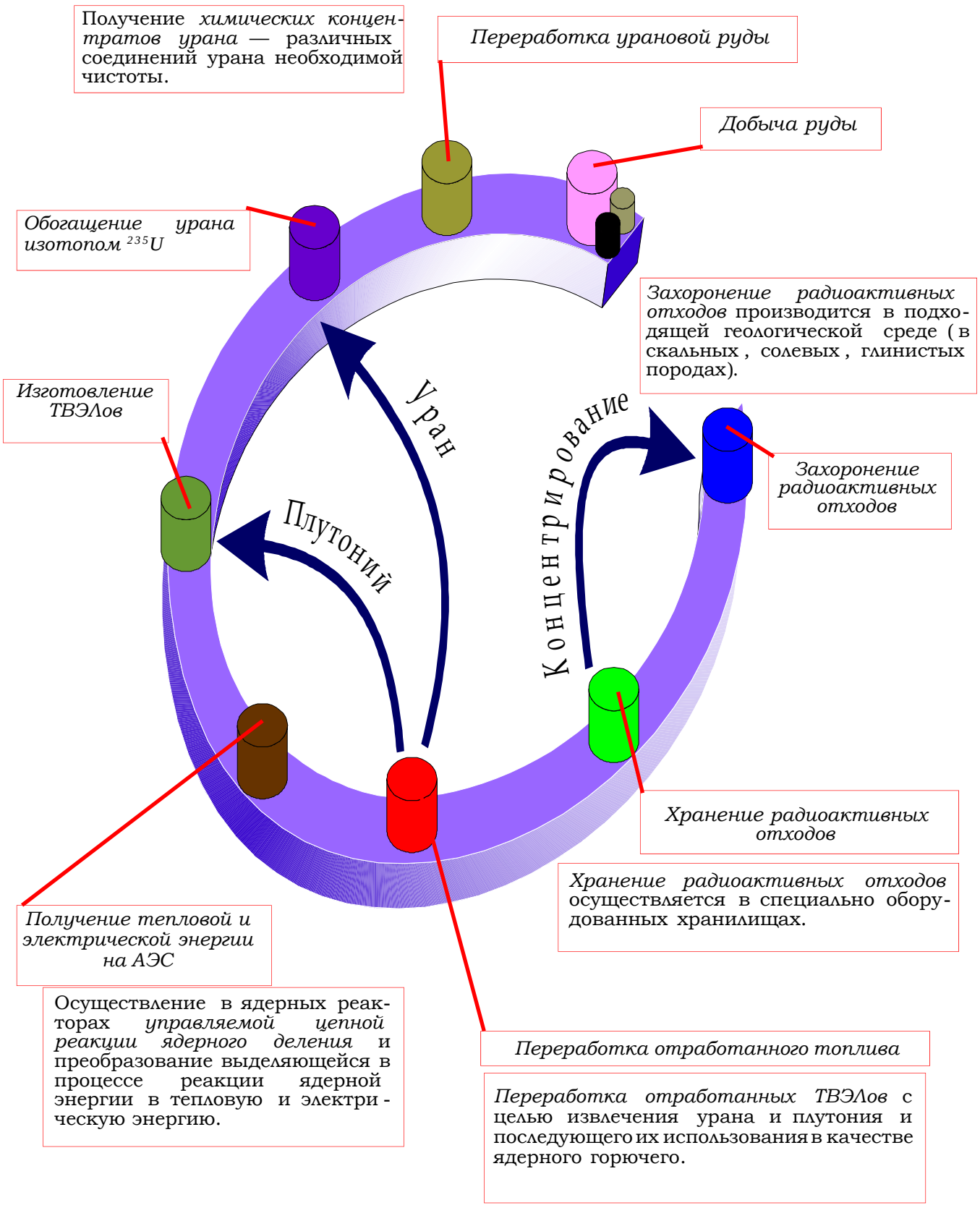
$^2D + {}^2D \rightarrow {}^4He + \mathbf{E}$

Схема цепного процесса ядерного деления



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Схема ядерного топливного цикла на основе ^{235}U



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Карта-схема происшествий на предприятиях ЯТЦ (1951 – 1999 годы)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Приложение к карте-схеме происшествий на предприятиях ЯТЦ (1951 – 1999 годы)

1 — 1951 г. Авария исследовательского реактора. Детройт, США.

2 — 1957 г. Авария на заводе по переработке топлива, Кыштым, СССР.

3 — 1957 г. Авария реактора. Лаборатория Уиндскейл (Селлафилд), Великобритания.

4 — 1959 г. Авария экспериментального энергетического реактора. Санта-Сюзана, США.

5 — 1961 г. Взрыв на экспериментальном реакторе. Айдахо-Фолс, США.

6 — 1966 г. Авария на АЭС с кипящим ядерным реактором. Мелекесс, США.

7 — 1966 г. Частичное расплавление активной зоны реактора «Энрико Ферми», Детройт, США.

8 — 1971 г. Выброс жидких радиоактивных отходов из хранилища. Монтжелло, США.

9 — 1973 г. Авария на заводе по переработке топлива. Уиндскейл (Селлафилд), Великобритания.

10 — 1974 г. Взрыв газгольдера. Ленинградская АЭС, СССР.

11 — 1974 г. Разрыв контура охлаждения и выброс радиоактивной воды в окружающую среду. Ленинградская АЭС, СССР.

12 — 1975 г. Частичное разрушение активной зоны и выброс радиоактивных веществ в окружающую среду. Ленинградская АЭС, СССР.

13 — 1977 г. Частичное расплавление активной зоны. Белоярская АЭС, СССР.

14 — 1978 г. Пожар на АЭС, нарушение системы контроля реактора. Белоярская АЭС, СССР.

15 — 1979 г. Расплавление активной зоны, выброс радиоактивных веществ в окружающую среду. АЭС Тримайл Айленд, США.

16 — 1979 г. Выброс высокообогащенного урана на заводе по производству ядерного топлива. Эрвинг, Теннеси, США.

17 — 1964 – 1979 гг. Неоднократное разрушение топливных сборок. Белоярская АЭС, СССР.

18 — 1980 г. Частичное повреждение активной зоны реактора без выброса радиоактивных веществ. АЭС Сен-Лоран, Франция.

19 — 1982 г. Взрыв генератора, пожар, нарушение системы охлаждения и электроснабжения. Армянская АЭС, СССР.

20 — 1982 г. Разрушение центральной топливной сборки, выброс радиоактивных веществ. Чернобыльская АЭС, СССР.

21 — 1982 г. Разрыв трубы парогенератора, выброс радиоактивного пара в атмосферу. Реактор Джина, Рочестер, США.

22 — 1982 г. Нарушение системы охлаждения реактора, утечка радиоактивных веществ в атмосферу. АЭС Онтарио, Нью-Йорк, США.

23 — 1983 г. Авария без выброса радиоактивных веществ в окружающую среду. Буэнос-Айрес, Аргентина.

24 — 1985 г. Утечка радиоактивной воды за пределы АЭС, Индиан-Пойнт-2, Нью-Йорк, США.

25 — 1985 г. Авария паропровода. Балаковская АЭС, СССР.

26 — 1986 г. Авария на Чернобыльской АЭС, СССР.

27 — 1986 г. Взрыв резервуара с радиоактивным газом на заводе обогащения урана. Уэбберс Фол, США.

28 —- 1989 г. Повреждение систем безопасности реактора без выброса радиоактивных веществ. Вандельос, Испания.

29 — 1999 г. Увеличение радиационного фона в результате выброса нейтронов из емкости с урановым топливом. Токаймура, Япония.

14.1. *Определение эффективной дозы внешнего облучения человека*

Радиационный фон вокруг нас составляют:

- космическое излучение;
- излучение от естественных радионуклидов, рассеянных в земной коре, почве, воздухе, воде и других объектах окружающей среды;
- излучение от радионуклидов искусственного происхождения, в том числе попавших во внешнюю среду в результате испытаний ядерного оружия и радиационных аварий.

Изучение физических свойств ионизирующих излучений показало, что они все переносят энергию. При внешнем облучении тело человека частично или полностью поглощает энергию ионизирующего излучения. Это может привести к появлению радиационных эффектов, т.е. различного рода биологических нарушений в клетках, тканях и органах.

Энергию ионизирующего излучения, которая поглощается всем телом или отдельным органом человека в расчете на единицу его массы, называют ***поглощенной дозой излучения*** (*D*).

Единицей измерения поглощенной дозы является *джоуль на килограмм (Дж/кг)*. Эта единица получила название *Грей (Гр)*. *1* ***Грей*** — это поглощенная доза любого ионизирующего излучения, которая соответствует поглощению *1 Дж* энергии излучения в *1 кг* облучаемого вещества. *1 Грей* — большая величина, поэтому поглощенную дозу чаще выражают в тысячных или миллионных долях Грея — *миллигреях (мГр)* или *микрогреях (мкГр)*.

Нарушения, вызванные облучением организма человека, зависят от:

- величины поглощенной энергии (поглощенной дозы);
- вида излучения (*альфа-*, *бета-* или *гамма-*);
- свойств облучаемого органа или биологической ткани.

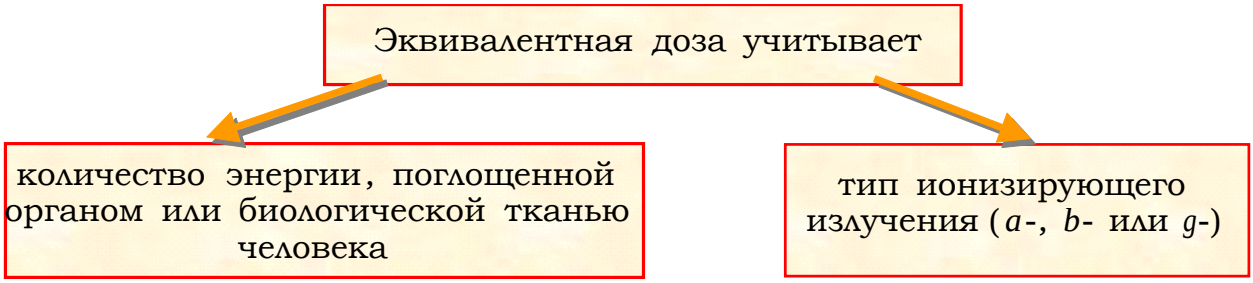
В результате большого числа медико-биологических исследований было установлено, что при одинаковой поглощенной дозе *бета-* и *гамма-*излучение вызывают примерно одинаковое число нарушений в органах и тканях организма человека. В случае же *альфа-*излучения число таких нарушений будет в 20 раз больше.

Для того, чтобы учесть разницу в действии *альфа-*, *бета-* и *гамма-*излучения на определенный орган (или ткань) используют специальные коэффициенты. Их называют ***весовыми множителями излучения*** (W_R). Весовой множитель *гамма-*излучения условно принят за 1. Весовой множитель *бета-*излучения такой же, как у *гамма-*излучения, т. е. равен 1. Весовой множитель *альфа-*излучения в 20 раз выше, т. е. равен 20.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Если мы умножим среднюю поглощенную дозу (*D*) в каком-либо органе (или ткани) на весовой множитель (W_R) интересующего нас вида ионизирующего излучения, то получим ***эквивалентную дозу*** рассматриваемого органа (или биологической ткани) ***H***:

$$\boldsymbol{H} = D \cdot W_R, \qquad (1)$$



Единицей измерения эквивалентной дозы является *Зиверт* (*Зв*). *1 Зиверт* соответствует поглощенной дозе величиной в *1 Грей* для ионизирующего излучения, весовой множитель которого равен единице. Это означает, что, если поглощенная доза *гамма*- или *бета*-излучения в каком-то органе или ткани составляет *1 Грей*, то эквивалентная доза, полученная этим органом, равна *1 Зиверту*. В случае же *альфа*-излучения при поглощенной дозе в *1 Грей* эквивалентная доза, полученная органом или тканью, составит *20 Зивертов*. Для оценки доз облучения, получаемых органами и тканями человека, чаще используют производные Зиверта: *миллизиверт* (*мЗв*) и *микрозиверт* (*мкЗв*).

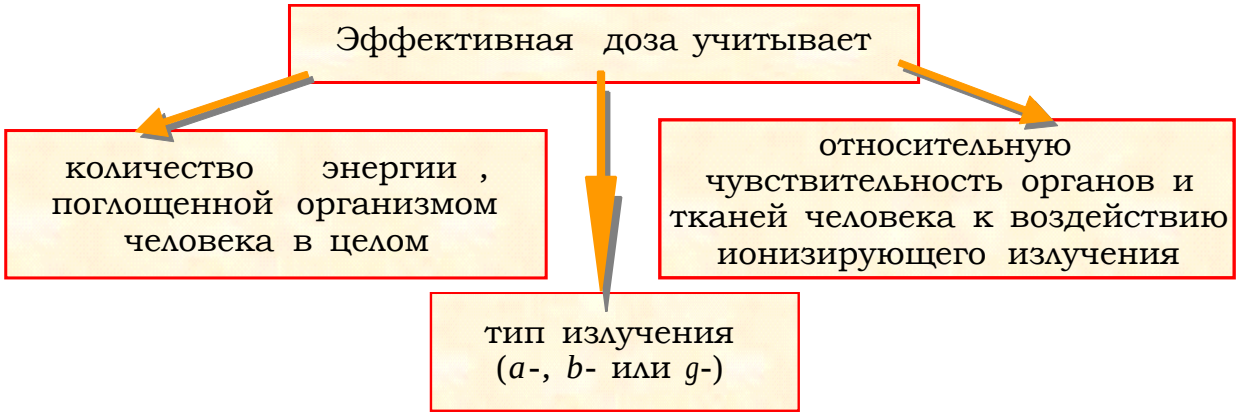
Зная величину *эквивалентной дозы*, можно оценить вероятность появления в каком-либо органе или ткани биологических изменений, возникающих при действии ионизирующего излучения.

Поскольку радиационная чувствительность разных органов и тканей человека неодинакова, то и степень их поражения ионизирующим излучением также будет различна. Этот факт необходимо учитывать при оценке действия ионизирующего излучения на весь организм человека в целом. Для этой цели используют особые коэффициенты — ***тканевые весовые множители*** W_T. Величины этих коэффициентов установлены по результатам многолетних исследований заболеваемости облученных людей (значения некоторых тканевых весовых множителей W_T приведены в разделе 13.4).

Для оценки последствий облучения для организма человека в целом, используется ***эффективная доза*** облучения. ***Эффективная доза облучения*** (***E***, *Зв*) — *это сумма эквивалентных доз облучения* ($\boldsymbol{H}_{T_i}$) *отдельных органов (или тканей), умноженных на соответствующие тканевые весовые множители* (W_{T_i}).

$$\mathbf{E} = \mathbf{H}_{T1} \cdot W_{T1} + \mathbf{H}_{T2} \cdot W_{T2} + \mathbf{H}_{T3} \cdot W_{T3} + \ldots \qquad (2)$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



Величина эффективной дозы определяется для всего организма, независимо от того, облучался ли весь организм или только отдельный его орган или ткань, поскольку, как показали медико-биологические исследования, даже при облучении одного органа последствия воздействия ионизирующего излучения могут отразиться на состоянии всего организма человека.

Пример 1. Рассмотрим, чему равна эффективная доза, полученная организмом человека в результате медицинского обследования, если облучению подвергся только один орган — легкие, а эквивалентная доза при этом составила *0,2 мЗв*. Тканевый весовой множитель для легких составляет *0,12*. Поскольку облучению подвергся только один орган, эффективная доза (***E***), полученная организмом человека равна:

$$E = H_{T1} \cdot W_{T1} + H_{T2} \cdot W_{T2} + H_{T3} \cdot W_{T3} + \ldots = 0{,}2 \times 0{,}12 + 0 + 0 + \ldots =$$
$$= 0{,}024\ (мЗв) = 24\ (мкЗв)$$

Пример 2. Рассмотрим, чему равна эффективная доза, полученная организмом человека, если облучению подверглось несколько органов пищеварительной системы: пищевод, желудок и толстый кишечник, а эквивалентная доза при этом составила *0,2 мЗв*. Тканевый весовой множитель для пищевода составляет *0,05*, а для желудка и толстого кишечника — *0,12*. В данном случае эффективная доза (***E***), полученная организмом человека равна:

$$E = H_{T1} \cdot W_{T1} + H_{T2} \cdot W_{T2} + H_{T3} \cdot W_{T3} = 0{,}2 \times 0{,}05 + 0{,}2 \times 0{,}12 + 0{,}2 \times 0{,}12 =$$
$$= 0{,}058\ (мЗв) = 58\ (мкЗв)$$

Пример 3. Рассмотрим, чему равна эффективная доза (***E***) при равномерном облучении организма человека, когда эквивалентная доза для всех органов и тканей одинакова и равна *0,2 мЗв*.

$$\mathbf{E} = 0{,}2 \cdot W_{T1} + 0{,}2 \cdot W_{T2} + \ldots = 0{,}2 \cdot (W_{T1} + W_{T2} + \ldots)$$

Поскольку при равномерном облучении организма сумма всех тканевых весовых множителей $(W_{T1} + W_{T2} + \ldots)$ равна 1, то в данном случае эффективная доза облучения (***E***), полученная всем организмом человека, будет равна *0,2 мЗв (200 мкЗв)*.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Эффективная доза наиболее полно характеризует последствия облучения для организма человека . Она позволяет оценить суммарный биологический эффект для *организма человека в целом* при действии ионизирующегоизлучения.

Средняя величина эффективной дозы облучения, создаваемой всеми составляющими космического излучения на уровне моря, примерно равна 0,4 мЗв/год; а радионуклидамиземного происхождения—приблизительно 2,0 мЗв/год. Следовательно, эффективная доза облучения, получаемая человеком от естественных источников излучения , в среднем равна 2,4 мЗв/год.

При контроле степени облучения человека определяют *эффективную дозу*, полученную им в течение года, всей жизни или любого интересующего периода времени.

Годовая эффективная доза равна сумме эффективной дозы ***внешнего*** и ***внутреннего*** облучения *за один и тот же год*.

При этом годовая доза *внешнего* облучения **определяется путем измерений** (с помощью **дозиметра**), а доза *внутреннего* облучения **рассчитывается по активности радионуклидов**, поступившихв организм в течение года с продуктами питания и питьевой водой, а также при дыхании.

Дозы внешнего облучения человека контролируют с помощью ***индивидуальных дозиметров***. Современные дозиметры позволяют определять эффективную дозу внешнего облучения организма человека. Они дают показания в *микрозивертах(мкЗв)* или *миллизивертах(мЗв)*. В приборах, с помощью которых определяется мощность эффективной дозы внешнего облучения (**МЭД**), единицей измерения служит *микрозиверт в час* (*мкЗв/час*) или *миллизиверт в час (мЗв/час)*.

Величина МЭД на территории республики до аварии на ЧАЭС составляла 0,1 – 0,2 мкЗв/час.

В настоящее время на участках, загрязненных чернобыльскими радионуклидами, МЭД может в несколько раз превышать эти значения. В жилых помещениях в соответствии с требованиями НРБ-2000 МЭД не должна превышать МЭД на открытой местностиболее чем на 0,2 мкЗв/час.

Определение МЭД проводят для того, чтобы получить информацию о радиационной обстановке на разных участках загрязненных территорий (в лесу, в поле, на приусадебныхучастках, во дворах домов и общественных зданий), а также в жилых и производственныхпомещениях. Это позволяет оценивать уровень радиационной опасности , связанной с внешним облучением человека.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Лабораторная работа 1

Тема: определение мощности эффективной дозы (МЭД) внешнего облучения человека на выбранном участке, расположенном во дворе школы, частного дома, в зоне отдыха, в поле или в лесу, на приусадебном участке.

Цель работы: определить МЭД; оценить радиационную обстановку на выбранной территории.

Приборы и методическое обеспечение:

– дозиметры (любой из перечисленных):
профессиональные дозиметры типа ДРГ-01-Т, ДБГ-06 Т, ДКГ-01 А, EL-1101, EL-1117,
дозиметр-радиометр бытовой АНРИ-01 «Сосна»,
дозиметр-радиометр бытовой РКСБ-104,
дозиметры РМ 1203, РМ 1203М,
дозиметр-радиометр МКС-АТ 6130;

– документация по эксплуатации приборов;

– рулетка или мерная лента длиной 20 метров и более.

Проведение измерений и обработка полученных результатов

1. Выбрать участок для проведения дозиметрического контроля (во дворе школы, в зоне отдыха, в поле или в лесу).
2. Составить план (карту-схему) обследуемого участка местности. Нанести на план координатную сетку с шагом 10 метров. Пронумеровать узлы координатной сетки.
3. Изучить руководство по эксплуатации используемого прибора.
4. Провести замеры МЭД в узлах координатной сетки на высоте 1 м и 3 – 4 см над поверхностью земли.
5. Провести не менее пяти измерений в каждой точке и определить среднее значение МЭД для каждой точки ($МЭД_{ср.}$).
6. Полученные данные нанести на карту-схему обследуемого участка и заполнить таблицу 1.
7. Рассчитать среднее значение МЭД по участку ($МЭД_{уч.}$). Оценить, является ли исследованный участок однородным по мощности эффективной дозы внешнего облучения человека, выполнив следующие действия:

   - из множества средних значений $МЭД_{ср.}$, рассчитанных для каждой из точек, в которых проводились измерения, выбрать максимальное и минимальное значения МЭД ($МЭД_{max}$ и $МЭД_{min}$). Сравнить $МЭД_{max}$ и $МЭД_{min}$ со средним значением $МЭД_{уч.}$ по участку. Если $МЭД_{max}$ и $МЭД_{min}$ отличаются от среднего значения $МЭД_{уч.}$ по участку не более чем на 50 %, участок считать однородным по мощности эффективной дозы внешнего облучения человека;

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- если максимальное и минимальное значения МЭД (МЭД$_{max}$ и МЭД$_{min}$) отличаются от среднего значения МЭД$_{уч.}$ по участку более чем на 50 %, участок считать неоднородным по мощности эффективной дозы внешнего облучения человека. В этом случае необходимо провести более детальные измерения. Для этого нужно осуществить следующие операции:
  - Ø выделить на координатной сетке участки с аномальными значениями МЭД, разбить эти участки на более мелкие, нанеся на план координатную сетку с шагом 1 м;
  - Ø провести дополнительные замеры МЭД;
  - Ø проанализировать полученные результаты и выделить обнаруженные аномалии на карте-схеме обследуемого участка.

8. Сравнить средние значения МЭД$_{уч.}$, полученные на исследованных участках (во дворе школы, частного дома, в поле или в лесу и т.д.) со средней величиной МЭД, которая была зарегистрирована на территории Республики до аварии на ЧАЭС. Определить, во сколько раз обнаруженные максимальные значения МЭД$_{уч.}$ отличаются от доаварийных.
9. На основании полученных результатов сделать заключение о том, необходимо ли ограничить время нахождения на данных участках.

Таблица 1. Результаты измерения МЭД

№ точки замера	Результаты замеров МЭД на разной высоте от земной поверхности											
	I измерение		II измерение		III измерение		IV измерение		V измерение		Средние значения	
	1 м	3-4 см	1 м	3-4 см	1 м	3-4 см	1 м	3-4 см	1 м	3-4 см	1 м	3-4 см
1												
2												

Контрольные вопросы

1. Что такое МЭД и каковы единицы измерения этой величины?
2. Какие значения МЭД характерны для естественного радиационного фона?
3. С какой целью проводится определение МЭД?
4. Какие существуют способы уменьшения величины МЭД?
5. Что вы предлагаете сделать, чтобы уменьшить величину МЭД на участке?

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Лабораторная работа 2

Тема: определение мощности эффективной дозы (МЭД) внешнего облучения человека в жилых и производственных помещениях

Цель работы: определить МЭД в различных помещениях частного дома, школы, объекта культурного или производственного назначения; получить данные о радиационной обстановке в жилых и производственных помещениях выбранного здания.

Приборы и методическое обеспечение:

- дозиметры (любой из перечисленных):

профессиональные дозиметры типа ДРГ-01-Т, ДБГ-06 Т, ДКГ-01 А, EL-1101, EL-1117,

дозиметр-радиометр бытовой АНРИ-01 «Сосна»,

дозиметр-радиометр бытовой РКСБ-104,

дозиметры РМ 1203, РМ 1203 М,

дозиметр-радиометр МКС-АТ 6130;

- рулетка или мерная лента длиной 20 метров и более,
- документация по эксплуатации приборов.

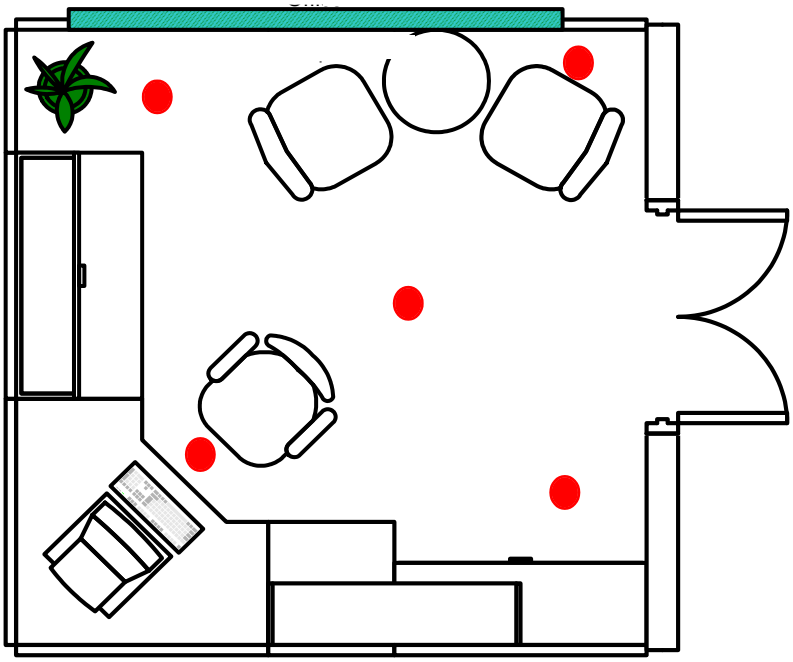
Проведение измерений и обработка полученных результатов

1. Выбрать здание (частный дом, школу, объект культурного или производственного назначения) для проведения дозиметрического контроля.
2. Составить схематический план обследуемого здания. Выделить на нем жилые и производственные помещения (комнаты) и пронумеровать их.
3. Изучить руководство по эксплуатации используемого прибора.
4. Провести по пять замеров МЭД в пяти точках выделенного помещения (по углам и в центре) на высоте 1 м и 3 – 4 см от уровня пола.
5. Определить средние значения МЭД в каждой точке ($МЭД_{ср.}$).
6. Полученные данные нанести на схематический план обследуемого здания и заполнить таблицу.
7. Сравнить минимальные и максимальные значения $МЭД_{ср.}$ в исследованных точках. Определить среднее значение $МЭД_{п.}$ в каждом из помещений обследуемого здания.
8. Проанализировать полученные данные и сделать заключение о радиационной обстановке в помещении и о мерах по снижению МЭД в случае необходимости (например, уборка помещения).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

№ по-меще-ния	№ точки заме-ра	Результаты замеров МЭД на разной высоте от земной поверхности											
		I измерение		II измерение		III измерение		IV измерение		V измерение		Средние значения	
		1 м	3-4 см	1 м	3-4 см	1 м	3-4 см	1 м	3-4 см	1 м	3-4 см	1 м	3-4 см
1	1												
	2												
	3												
	4												
	5												
2													

План жилой комнаты



Контрольные вопросы

1. За счет чего величина МЭД в жилых и производственных помещениях может превышать значения МЭД естественного радиационного фона?
2. Какова в соответствии с требованиями НРБ-2000 максимальная допустимая разница между значениями величины МЭД в жилых помещениях и величины МЭД на открытой местности?
3. Как вы думаете, какие мероприятия помогут снизить МЭД в жилых помещениях?

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Лабораторная работа 3

***Тема*: определение эффективной дозы внешнего облучения человека**

Цель работы: *оценить эффективную дозу внешнего облучения учащихся и других жителей населенного пункта.*

Приборы и методическое обеспечение:

– дозиметры – накопители (любой из перечисленных)[1]:
дозиметры индивидуальные РМ 1621/16221 А,
дозиметр персональный РМ 1604 А/В,
дозиметр гамма-излучений наручный РМ 1603,
индивидуальные дозиметры ДКС-АТ 3509 и ДКС-АТ 2503;

– документация по эксплуатации приборов.

Проведение измерений и обработка полученных результатов

1. Изучить руководство по эксплуатации дозиметра.
2. Вывести показание прибора на нулевое показание накопленной дозы или зафиксировать её начальное значение.
3. Каждый день фиксировать показания по накопленной дозе, например, в 8.00 и 20.00[2] и заносить их в таблицу 1:

Дата	Время измерения	Накопленная доза, мкЗв	Приращение накопленной дозы*, мкЗв	Дополнительная информация (где находился и чем занимался человек в данный промежуток времени)

* – при выполнении работы один из учащихся постоянно носит дозиметр-накопитель с собой, не меняя привычного образа жизни.

** – приращение накопленной дозы рассчитывается как разница между последним и предыдущим показанием дозиметра.

4. По истечении 1 – 4 недель проанализировать полученные результаты и подготовить отчет по лабораторной работе, оформленный в произвольной форме. В отчет включить:
   - данные о накопленной дозе за весь период измерений;
   - график, отражающий динамику накопления дозы за период измерений, и гистограммусуточныхдоз (рис. 14.1) с выделением дневной и ночной составляющих в разные периоды

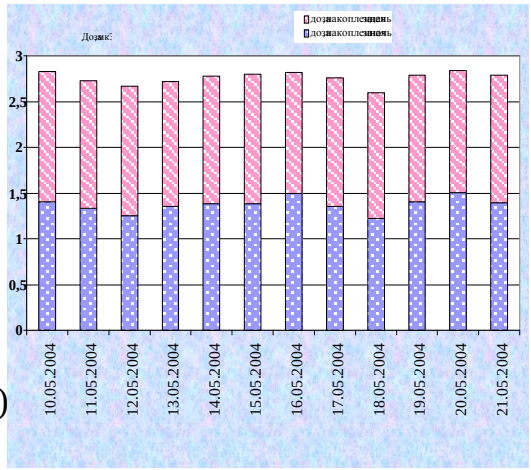


Рис. 14.1 Гистограмма суточных доз

[1] Для проведения работы дозиметр-накопитель необходим на срок до 1 месяца.

[2] Регистрация измерений ведется учащимися (учитель осуществляет периодический контроль). В зависимости от местных условий время измерений может изменяться. При этом результаты должны регистрироваться каждые 12 часов.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

измерений. При построении гистограммы по оси ординат откладывают значения величины эффективной дозы внешнего облучения в мкЗв, полученной за сутки. *Например, приращение накопленной дозы за ночь составило 1,5 мкЗв, а за день — 1,3 мкЗв. Просуммировав эти значения, определяем величину эффективной дозы внешнего облучения, полученной за сутки: 2,8 мкЗв. Обозначив дату на оси абсцисс, откладываем полученную величину в 2,8 мкЗв по оси ординат. Для обозначения дневной и ночной составляющей накопленной эффективной дозы внешнего облучения используем разную штриховку.*

5. Рассчитать величины среднесуточной и среднегодовой накопленной эффективной дозы внешнего облучения.
6. Сравнить величину среднегодовой накопленной эффективной дозы внешнего облучения с величиной средней эффективной дозы внешнего облучения, получаемой человеком от естественных источников излучения за 1 год (2,4 мЗв в год).
7. На основании полученных результатов определить, необходимо ли вам в вашей местности предпринимать меры, направленные на снижение дозы внешнего облучения человека, и предложить способы её снижения: например, если вы обнаружили, что наибольшие суточные дозы были получены в тот день, когда вы были в лесу и в поле — ограничить время пребывания на этой территории

Контрольные вопросы

1. Какова среднегодовая эффективная доза внешнего облучения от естественных источников излучения на нашей планете?
2. Какова среднегодовая эффективная доза внешнего облучения в регионе вашего проживания?
3. Из каких составляющих складывается суммарная эффективная доза внешнего облучения человека?
4. Какие меры помогут снизить величину эффективной дозы внешнего облучения?

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

14.2. *Измерение содержания гамма-излучающих радионуклидов в почве*

Основная часть радионуклидов, выпавших в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС, находится в почве. Являясь одним из основных элементов биосферы, почва играет исключительно важную роль в процессах перераспределения (миграции) радионуклидов. Из почвы радионуклиды поступают в различные компоненты биосферы: растительность, природные воды, атмосферный воздух и т. д.

Радиоактивные выпадения, прежде всего, загрязняют верхние слои почвы. Однако с течением времени радионуклиды перераспределяются по глубине. Их *вертикальная* миграция существенно зависит от типа и влажности почвы. Информация о миграции радионуклидов в почве важна при оценке доступности радионуклидов растениям, а также для оценки возможности их проникновения в грунтовые воды.

На песчаных, супесчаных и суглинистых почвах со средним уровнем влажности основное количество ^{137}Cs находится в (0 – 5)-см слое. На песчаных сильноувлажненных почвах большая часть ^{137}Cs находится (0 – 10)-см слое. ^{90}Sr слабее связан с частицами почвы. Поэтому радиоактивный стронций мигрирует быстрее, чем радиоактивный цезий, и обнаруживается в более глубоких слоях почвы. Общий запас ^{137}Cs в почве оценивается по его содержанию в (0 – 20)-см слое.

При определении суммарного запаса радионуклидов в почве и их распределения по глубине почвы почвенные пробы можно отбирать с помощью стандартного кольца из нержавеющей стали. Внутренний диаметр кольца — приблизительно 14 см, высота — 5 см (Рис. 14.2). Послойный отбор почвенных проб, как правило, проводится на глубину до 20 см.



Рис. 14.2
Отбор проб почвы с помощью кольца

Количество радионуклида можно измерять в единицах массы (килограмм, грамм, миллиграмм, микрограмм и т. д.). Однако это неудобно, и на практике в качестве главной количественной характеристики радиоактивного вещества используют активность.

Активность — это число ожидаемых ядерных распадов радионуклида в единицу времени.

Фактически, активность характеризует скорость распада радионуклида. Согласно закону радиоактивного распада, скорость распада пропорциональна числу нераспавшихся радиоактивных атомов. Поэтому активностьможноиспользоватьв качествемерысодержаниярадионуклида в веществе. Чем выше активность, тем больше ядерных превращений про-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

исходит в веществе в единицу времени и тем больше нераспавшихся радиоактивных атомов еще остается в веществе.

В системе СИ единицей измерения активности является *беккерель* (*Бк*). В радиоактивном веществе активностью 1 Бк в среднем происходит одно спонтанное ядерное превращение в секунду. Существуют и внесистемные единицы, среди которых наиболее часто употребляется *кюри* (*Ки*). 1 Ки = $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Бк.

Концентрацию радионуклидав веществе можно оценивать по *удельной активности*

Удельная активность — это активность вещества в расчете на единицу его массы или объема (*Бк/кг, Бк/м*^{3} и т.д.).

Удельная активность применяется для характеристики содержания радионуклидов в большинстве природных веществ и в пищевых продуктах.

Распределение радионуклида по поверхности объекта иногда характеризуют по ***активности радионуклида в расчете на единицу площади поверхности объекта*** (*Бк/м*^{2}, *кБк/м*^{2}).

Эта величина обычно применяется для характеристики уровня радиоактивного загрязнения территории, часто ее называют *плотностью загрязнения*.

Данные об активности образца, а также о его удельной, объемной активности, о радиоактивном загрязнении поверхности получают с помощью *радиометров*. Информацию о распределении радиоактивных излучений по энергии и другим параметрам, характеризующим радиоактивные изотопы, получают с помощью *спектрометров*. Каждый изотоп характеризуется определенной энергией излучения. Поэтому, используя спектрометр, можно определить какие именно изотопы вносят вклад в активность образца. Более подробная информация об активности радионуклидов и единицах её измерения, а также о приборах, используемых для измерения активности, приведена в разделах 3.2 и 2.3 I тома.

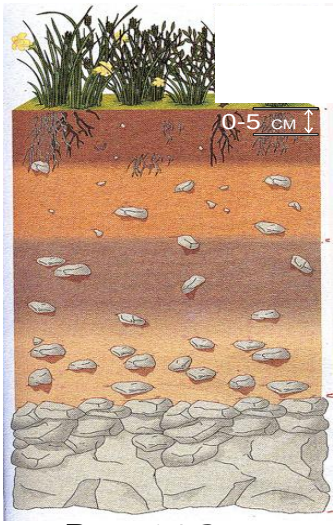


Рис. 14.3 Вертикальный почвенный разрез

Активность образца верхнего (0 – 5)-см слоя почвы в расчете на единицу поверхности почвы (удельная поверхностная активность), выраженная в кБк/м^2, рассчитывается по формуле:

$$A_{n.} = \frac{A_{пр.}}{S \cdot n} \qquad (1)$$

где $A_{пр.}$ – активность почвенной пробы, *кБк*;

S – площадь кольца, *м*^{2};

n – количество отобранных почвенных проб.

На рис. 14.3 приведен пример вертикального разреза почвы с неоднородными почвенными слоями (горизонтами), составляющими почвенный профиль. При оценке распределения радионуклидав почвенном

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

профиле определяется удельная активность каждого пятисантиметрового слоя почвы, а также удельная активность суммарного слоя почвы толщиной 20 см (**запаса** радионуклида в почвенном профиле), выраженная в кБк/м^2. Расчет производится по формуле 1.

Лабораторная работа 4

Тема: **определение содержания** ^{137}Cs **в верхнем** (0 – 5)-**см слое почвы**

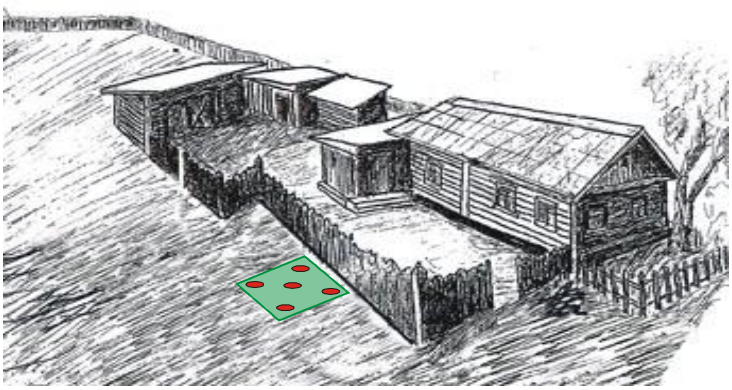
Цель работы: *определить удельную активность (0 – 5)-см слоя почвы по* ^{137}Cs.

Приборы, материалы и методическое обеспечение:

– *гамма*-радиометры и спектрометры (любой из перечисленных):
РКГ-АТ 1320 А,
РКГ-01 А и РКГ-02 А,
РУГ-93 СМ,
РУГ-91 М Адани,
РУГ-90 Адани,
радиометр РКГ-02 «Алиот»,
гамма-спектрометр EL 1309,
гамма-бета-спектрометр МКС-АТ 1315;
– стандартные металлические кольца для отбора почвенных проб;
– молоток;
– лопата;
– полиэтиленовые пакеты и этикетки;
– документация по эксплуатации приборов.

Проведение измерений и обработка полученных результатов

1. Выбрать участок для отбора проб на территории населенного пункта или за его пределами. Не рекомендуется выбирать песчаные участки, лишенные растительности.
2. Составить план обследуемого участка местности.
3. Выбрать на участке для отбора почвенных проб ровное, однородное и открытое место, удаленное от строений и деревьев на расстояние, не менее чем вдвое превышающее их высоту, и от грунтовых дорог не менее чем на 20 м.
4. Отобрать с помощью кольца пробы (0 – 5)- см слоев почвы. Отбор проводить в пяти точках (по углам и в центре выбранной площадки) следующим образом:



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- выбрать точки, где будет проводиться отбор проб;
- срезать в этих точках растительность;
- забить кольцо в почву до верхней кромки с помощью молотка;
- кольцо с почвенной пробой аккуратно подрезать по нижней кромке кольца и извлечь из почвы с помощью лопаты;
- очистить внешнюю сторону кольца от почвы и, поместив кольцо с пробой в полиэтиленовый пакет, аккуратно удалить кольцо;

5. Объединить пробы почвы, отобранные кольцом в 5 точках выбранного участка (5 колец). Поместить объединенную пробу в полиэтиленовый пакет, завязать и уложить во второй пакет. Между пакетами поместить этикетку с указанием номера пробы, даты и места отбора, типа почвы и характеристик пробы (глубина отбора и др.), кем произведен отбор.
6. Объединенную пробу почвы перемешать и взвесить. Взвесить измерительный сосуд прибора. Заполнить измерительный сосуд прибора почвой и снова взвесить. По разности масс заполненного и пустого сосуда определить массу пробы, взятой для измерения активности ^{137}Cs. Записать результаты взвешивания в тетрадь.
7. Измерить гамма-активность ^{137}Cs в почвенной пробе в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора. Рассчитать активность объединенной пробы с учетом соотношения масс измеряемой и объединенной пробы. Рассчитать удельную активность почвы по ^{137}Cs в кБк/м^2. Записать полученные результаты в тетрадь.

Пример расчета

Например, в результате выполненной работы были получены результаты, представленные в таблице 1:

Проба, взятая для измерения активности (ПИ)		Объединенная проба почвы (ПО)	
масса, кг	активность, Бк	масса, кг	активность, Бк
0,5	100	4,0	

Для того чтобы рассчитать удельную активность

1. Рассчитаем активность объединенной пробы.

$$A_{ПО} = \frac{4{,}0\ кг \cdot 100\ Бк}{0{,}5\ кг} = 800 Бк$$

Активность объединенной пробы равна 800 Бк.

2. Рассчитаем удельную активность почвы в Бк/м^2 по формуле (1).

Для этого нам необходимо знать активность пробы почвы и площадь поверхности, с которой была отобрана проба. Рассчитанная активность пробы почвы составляет 800 Бк.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Определим площадь поверхности, с которой была отобрана почва. Диаметр кольца, используемого для пробоотбора, составляет 14 см. Площадь одного кольца (S) равна:

$$S = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 \qquad (2)$$

Подставив численные значения в формулу (2), получаем:

$S = 0,01539\ м^2$

Поскольку объединенная проба содержит почву, отобранную в пяти точках (n=5), общая площадь поверхности, с которой была отобрана почва, составляет $S \times 5$.

Подставив численные значения в формулу (1), получаем:

$$A_n = \frac{800\ Бк}{0,01539\ м^2 \cdot 5} = 10396\ Бк/м^2 \text{ или} \approx 10\ кБк/м^2$$

Полученные данные показывают, что удельная активность почв невысока, и выращивание сельскохозяйственных культур на них допустимо (см. таблицы 2 и 3).

8. Проанализировать полученные результаты и сделать заключение о том, какие культуры следует выбирать для выращивания на данной территории. Для анализа использовать таблицы 2, 3.

Таблица 2. Ограничения плотности загрязнения дерново - подзолистых почв ^{137}Cs для получения продовольственной продукции согласно РДУ -99

Продукция, культура	Плотность загрязнения дерново - подзолистых почв, кБк/м^2		
	Суглинистые	Супесчаные	Песчаные
Зерно овса	470*-1480*	360-1480	270-1285
Зерно ячменя	1480-1480	1285-1480	1000-1480
Зерно гороха	230-410	164-290	125-225
Картофель столовый	1142-1480	800-1480	615-1480

* – слабоокультуренные почвы при содержании K_2O менее 80 мг/кг почвы

** – окультуренные почвы при оптимальных агрохимических свойствах

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Таблица 3. Ограничения плотности загрязнения почв ^{137}Cs для производства кормов (молоко и мясо согласно РДУ-99)

Продукция, культура	Плотность загрязнения дерново-подзолистых почв, кБк/м^2			Торфяные почвы
	Суглинистые	Супесчаные	Песчаные	
Молокоцельное				
Зерно овса	1000*-1480*	720-1480	545-1480	—
Зерно люпина	419-643	295-450	228-346	—
Зерно гороха	419-818	327-580	250-450	—
Зерно вики	857-1480	600-1125	460-857	—
Солома овса	915-1480	635-1480	485-1480	—
Сено клевера	1480	1480	1120-1480	—
Сено улучшенных сенокосов	760-1480	548-1275	397-688	85-160
Сено естественных сенокосов (пойма)	480-920	407-730	260-450	—
Зеленая масса кукурузы	1480	1480	1480	—
Зеленый клевер	1270-1480	868-1480	660-1178	—
Естественные пастбища (пойма)	285-550	240-435	155-266	—
Заключительный откорм КРС				
Зерно люпина	1116-1480	787-1200	608-923	—
Зерно гороха	1230-1480	873-1480	666-1200	—
Сено клевера	1480	1480	1120-1480	—
Сено улучшенных сенокосов	760-1480	548-1275	397-688	85-160
Сено естественных сенокосов (пойма)	480-920	407-730	260-450	—
Зеленый клевер	1480	1260-1480	960-1480	—
Естественные пастбища (пойма)	415-800	350-630	225-390	—

* – слабоокультуренные почвы при содержании K_2O менее 80 мг/кг почвы

** – окультуренные почвы при оптимальных агрохимических свойствах

Контрольные вопросы

1. Почему место для отбора проб при определении поверхностного загрязнения почвы должно быть расположено на расстоянии не менее 20 м от грунтовых дорог?
2. Как влажность почвы может влиять на интенсивность миграции радионуклидов?
3. Как растительный покров влияет на горизонтальную миграцию радионуклидов (уменьшает или увеличивает ее)?

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Лабораторная работа 5

Тема: оценка распределения ^{137}Cs по глубине почвенного профиля

Цель работы: *определить содержание ^{137}Cs на различной глубине почвенного профиля и оценить вклад каждого слоя в общий запас ^{137}Cs в почве.*

Приборы, материалы и методическое обеспечение:

– *гамма*-радиометры и спектрометры (любой из перечисленных):
РКГ-АТ 1320 А,
РКГ-01 А и РКГ-02 А,
РУГ-93 СМ,
РУГ-91 М Адани,
РУГ-90 Адани,
радиометр РКГ-02 «Алиот»,
гамма-спектрометр EL 1309,
гамма-бета-спектрометр МКС-АТ 1315;

– стандартные металлические кольца для отбора проб;
– молоток;
– плоская лопатка;
– лопата;
– полиэтиленовые пакеты и этикетки;
– документация по эксплуатации приборов.

Проведение измерений и обработка полученных результатов

1. Выбрать участок для отбора проб на территории населенного пункта или за его пределами. Не рекомендуется выбирать песчаные участки, лишенные растительности.
2. Составить план обследуемого участка местности.
3. Выбрать ровное, однородное и открытое место для отбора почвенных проб, удаленное от строений и деревьев на расстояние, не менее чем вдвое превышающее их высоту, и от грунтовых дорог не менее чем на 20 м.
4. Отобрать с помощью металлического кольца по пять проб последовательных слоев почвы (0 – 5), (5 – 10), (10 – 15) и (15 – 20) см. Отбор проводить следующим образом:
   - выбрать точку, где будет проводиться отбор проб;
   - срезать в этом месте растительность;
   - вырыть шурф (рис. 14.4) и выровнять по вертикали его стенку со стороны отбора проб;

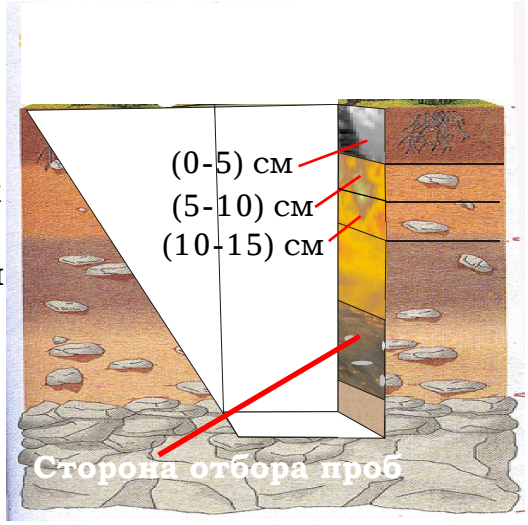


Рис. 14.4 Почвенный разрез

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- забить кольцо в почву до верхней кромки с помощью молотка;
- кольцо с почвенной пробой аккуратно подрезать по нижней кромке кольца и извлечь из почвы с помощью плоской лопатки;
- очистить кольцо от излишней почвы и, поместив кольцо с пробой в полиэтиленовый пакет, аккуратно удалить кольцо;
- аналогичным образом отобрать пробы почвы более глубоких слоев;

5. Поместить пробу каждого слоя в полиэтиленовый пакет, завязать и уложить в дополнительный пакет. Между пакетами поместить этикетку с указанием номера пробы, даты и места отбора, типа почвы и характеристик пробы (глубина отбора и др.), кем произведен отбор.
6. Каждый образец почвы перемешать и взвесить. Взвесить измерительный сосуд прибора. Заполнить измерительный сосуд прибора почвой и снова взвесить. По разности масс заполненного и пустого сосуда определить массу пробы, взятой для измерения активности ^{137}Cs. Записать результаты взвешивания в тетрадь.
7. Измерить гамма-активность ^{137}Cs в почвенных пробах всех слоев в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора. Определить активность каждой пробы. Рассчитать удельную активность каждого слоя почвы по ^{137}Cs в кБк/м^2. Записать полученные результаты в тетрадь.
8. Рассчитать суммарную активность ^{137}Cs в профиле (0-20-см слое) почвы в кБк/м^2.
9. Оценить вклад каждого почвенного слоя в общий запас ^{137}Cs в почвенном профиле (в процентах).
10. Оформить полученные результаты в виде таблицы.

Таблица . Распределение ^{137}Cs по глубине почвы

Почвенный слой	Активность объединенной почвенной пробы, кБк	Содержание ^{137}Cs в почвенном слое, кБк/м^2	Относительное содержание ^{137}Cs в почвенном слое, %
(0 – 5) см			
(5 – 10) см			
(10 – 15) см			
(15 – 20) см			
(0 – 20) см			

Проанализировав таблицу, сделать выводы о характере распределения ^{137}Cs в профиле почвы:

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- § В каком из слоев необрабатываемых почв содержится наибольшая доля ^{137}Cs
- § Высока ли при таком характере распределения этого радионуклида в почвенном профиле вероятность его проникновения в грунтовые воды
- § Какие виды деятельности человека могут оказать влияние на процессы миграции ^{137}Cs

Пример расчета

Например, в результате выполненной работы были получены результаты, представленные в таблице 1:

Почвенный слой, см	*Проба, взятая для измерения активности (ПИ)*		*Отобранная проба почвы (ПО)*
	масса, кг	*активность, Бк*	*масса, кг*
(0 - 5) см	*0,65*	*600*	*1,0*
(5 - 10) см	*0,62*	*144*	*0,96*
(10 - 15) см	*0,58*	*50*	*0,90*
(15 - 20) см	*0,52*	*7*	*0,80*

1. Рассчитаем активность объединенной пробы почвы для (0-5)-см слоя:

$$A_{ПО\,(0\text{-}5)} = \frac{1{,}0\ кг \cdot 600\ Бк}{0{,}65\ кг} = 923\ Бк$$

Активность объединенной пробы почвы для (0-5) см слоя равна 1480 Бк.

Аналогичные расчеты проводят для каждого слоя почвы. Тогда:

$$A_{ПО\,(5\text{-}10)} = 223\ Бк; \quad A_{ПО\,(10\text{-}15)} = 78\ Бк; \quad A_{ПО\,(15\text{-}20)} = 10{,}8\ Бк.$$

2. Рассчитаем удельную активность каждого слоя почвы в кБк/м^2 по формуле (1):

$$A_{n.} = \frac{A_{ПО}}{S \cdot n}$$

Для этого необходимо знать площадь поверхности, с которой объединенная проба была отобрана. (эта площадь одинакова для всех слоев).

Пусть диаметр кольца, используемого для пробоотбора, составляет 14 см. Площадь одного кольца (S) равна:

$$S = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 \qquad (2)$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Подставив численные значения в формулу (2), получаем : S=0,01539 м²

1. Подставим рассчитанные значения в формулу (1):

$$A_{n.(0\text{-}5)} = \frac{923\ Бк}{0{,}01539\ м^2 \times 1} = 59995\ Бк/м^2 \approx 60\ кБк/м^2$$

Аналогично рассчитаем значения удельных активностей остальных слоев почвы. Результаты расчетов приведены в таблице 2.

Таблица 2

Почвенный слой, см	*Содержание ^{137}Cs в почвенном слое*	
	Бк/м²	*кБк/м²*
0 - 5	*59974*	*60,0*
5 - 10	*14490*	*14,5*
10 - 15	*5068*	*5,0*
15 - 20	*702*	*0,7*

1. Рассчитаем удельную активность ^{137}Cs в профиле (0-20-см слое) почвы в Бк/м². Она равна сумме активностей всех четырех слоев:

$$A_{n.(0-20)} = A_{n.(0\text{-}5)} + \ldots + A_{n.(15\text{-}20)} \qquad (3)$$

$$A_{n.(0-20)} = 59974 + 14490 + 5068 + 702 = 80234\ Бк/м^2 \approx 80{,}2\ кБк/м^2$$

2. Оценим вклад каждого почвенного слоя в удельную активность почвенного профиля по ^{137}Cs (δ, %), используя формулу (4):

$$\delta = \frac{A_{л.с.}}{A_{n.(0\text{-}20)}} x\ 100\ \%, \qquad (4)$$

где $A_{л.с.}$ – удельная активность любого слоя почвы: (0-5), (5-10), (10-15) или (15-20)-см;

$A_{n.(0\text{-}20)}$ – удельная активность (0-20)-см слоя почвы.

Например, относительное содержание ^{137}Cs в (0-5)-см слое исследованной почвы равно:

$$\delta = \frac{60{,}0\ Бк/м^2}{80{,}2\ Бк/м^2} x\ 100 = 74{,}8\%$$

Подставив все рассчитанные значения в формулу (4), получаем:

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Таблица 3

Почвенный слой	Содержание ^{137}Cs в почвенном слое, кБк/м^2	Относительное содержание ^{137}Cs в почвенном слое , %
0 - 5 см	60,0	74,8
5 - 10 см	14,5	18,1
10 - 15 см	5,0	6,2
15 - 20 см	0,7	0,9
0 - 20 см	80,2	

Полученные результаты показывают, что основное количество Cs сосредоточенов верхнем (0-5)-см слое почвы.

Поэтому можно сказать, что возможность проникновения этого радионуклидав грунтовые воды очень мала.

Контрольные вопросы

1. Какова минимальная толщина почвенного слоя при определении запаса радионуклидов в профиле почвы?
2. Как вы думаете, отличается ли распределение чернобыльских радионуклидов по глубине на пахотных землях и на землях, не подвергавшихся обработке после аварии на ЧАЭС?

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

14.3. *Оценка поступления гамма-излучающих радионуклидов в различные виды растительности и сельскохозяйственной продукции*

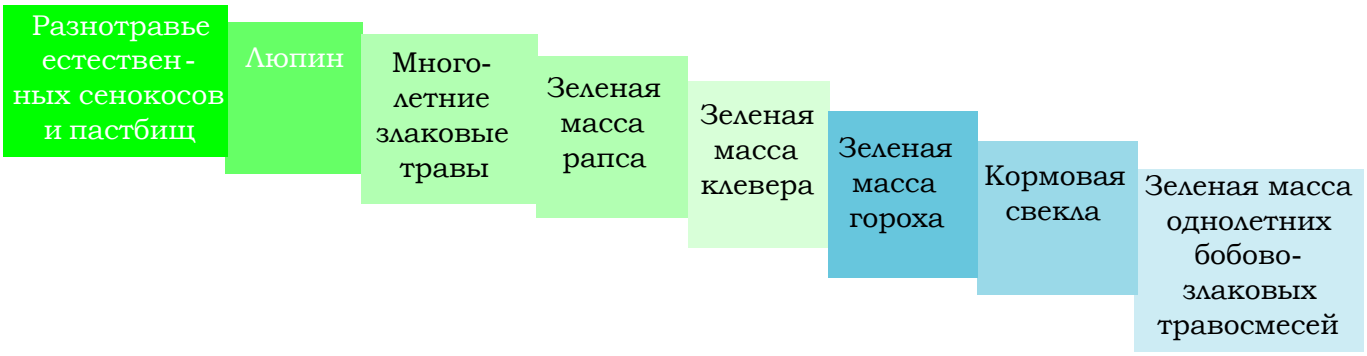
В настоящее время основной запас чернобыльских радионуклидов находится в почве. Из почвы через корневую систему радионуклиды переходят в растительность и далее перераспределяются по различным пищевым цепочкам:

почва – растение – человек;

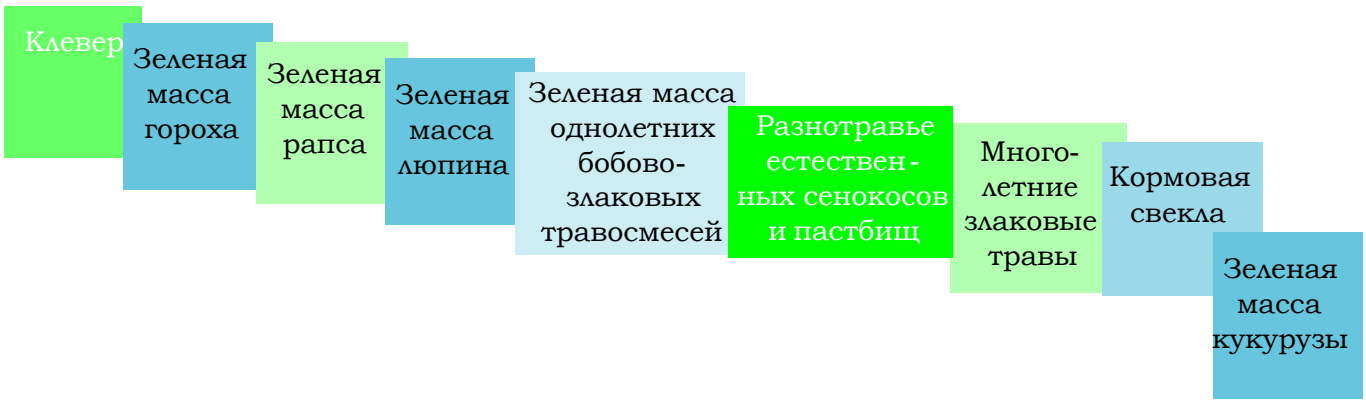
почва – растение – животное – человек.

Другие примеры пищевых цепочек приведены в разделе 3.3 тома I.

В порядке снижения способности накапливать ^{137}Cs некоторые виды растительности могут быть расположены следующим образом:



В порядке снижения способности накапливать ^{90}Sr эти же растительные виды могут быть расположены следующим образом:



При анализе поведения радионуклидов в окружающей среде важной характеристикойявляется их биологическаядоступность. В качестве меры биологической доступности радионуклида можно использовать коэффициент его перехода из почвы в растение (K_n). Данный коэффициент представляет собой отношение удельной активности растительности к удельной активности почвы, на которой она произрастала:

$$K_n = \frac{A_{p.}}{A_{n.}} \qquad (1)$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

где K_n — коэффициент перехода радионуклида из почвы в растение, (*Бк/кг : кБк/м²*);

$A_{p.}$ — удельная активность растительности, *Бк/кг*;

$A_{n.}$ —удельная активность (0 – 20)-см слоя почвы, *кБк/м²*.

Удельная активность растительности $A_{p.}$ *(Бк/кг)* рассчитывается по формуле:

$$A_{p.} = \frac{A_{пр.}}{M_{пр.}} \qquad (2)$$

где $A_{пр.}$ — активность радионуклида в растительной пробе, *Бк*;

$M_{пр.}$ — масса растительной пробы, *кг*.

Удельная активность (0 – 20)-см пахотного слоя почвы ($A_{n.}$, кБк/м²), рассчитывается по формуле:

$$\frac{A_{пр.}}{S \cdot n} \qquad (3)$$

где: $A_{пр.}$ — активность анализируемой пробы (0 – 20)-см слоя почвы, *кБк*;

S — площадь пробоотборника, *м²*;

n — количество проб почвы, взятых пробоотборником для анализа.

Образцы почв отбирают с помощью стандартного пробоотборника, показанного на рис. 14.5. При отсутствии данного типа пробоотборника можно использовать кольца.



Рис. 14.5 Пробоотборник для отбора образцов почвы с пахотного горизонта (0-20) см. Этапы отбора.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Коэффициент перехода радионуклида из почвы в растение (K_n) используется для прогнозирования радиоактивного загрязнения растениеводческой продукции. Например, для того чтобы предсказать уровень радиоактивного загрязнения какой-либо культуры, выращиваемой вами на своем приусадебном участке, необходимо знать:

- коэффициент перехода радионуклида (K_n) в интересующий вас вид растительности для того типа почвы, который характерен для вашего участка;
- удельную активность (0 - 20)-см слоя почвы ($A_{n.}$), где сосредоточен основной запас радионуклидов.

Поскольку $K_n = \frac{A_{p.}}{A_{n.}}$, прогнозируемая удельная активность выращенной вами культуры ($A_{p.}$, *Бк/кг*) будет равна произведению коэффициента перехода (K_n) на величину удельной активности почвы ($A_{n.}$, *кБк/м²*):

$$A_{p.} = K_n \cdot A_{n.} \qquad (4)$$

Необходимо отметить, что коэффициент перехода радионуклида из почвы в растение не зависит от уровня загрязнения почвы. Он определяется биологическими особенностями растения и условиями его произрастания (типом, влажностью и кислотностью почвы, уровнем содержания различных минеральных и органических веществ и др.). Поэтому коэффициенты перехода радионуклида для растений одного вида, выращенных на почвах разных типов с разной влажностью, могут отличаться в несколько раз. Кроме этого, даже незначительные изменения климата (такие, как различия в уровне осадков в разные годы) могут повлиять на величину коэффициента перехода радионуклида. Следовательно, прогнозируемый уровень загрязнения растительности может отличаться от реального. Поэтому необходимо осуществлять радиометрический контроль готовой растениеводческой продукции (таблица 2, стр. 27).

Лабораторная работа 6

Тема: определение содержания ^{137}Cs в различных видах растительности и оценка коэффициентов перехода ^{137}Cs из почвы в растения.

Цель работы: *измерить содержание ^{137}Cs в растительности и почве, на которой она произрастает; оценить коэффициенты перехода ^{137}Cs из почвы в растения.*

Приборы, материалы и методическое обеспечение:

*-гамма-*радиометры и спектрометры (любой из перечисленных):
РКГ-АТ1320 А,
РКГ-01 А и РКГ-02 А,
РУГ-93 СМ,

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

РУГ-91 М Адани,
РУГ-90 Адани,
радиометр РКГ-02 «Алиот»,
гамма-спектрометр EL 1309,
гамма-бета-спектрометр МКС-АТ 1315;

- документация по эксплуатации приборов;
- весы;
- стандартный пробоотборник почвы;
- полиэтиленовые пакеты и этикетки;
- ножницы, секатор или нож.

Проведение измерений и обработка полученных результатов

1. Выбрать площадку для отбора проб растительности и почвы.
2. Отобрать растительные пробы следующим образом:
   - в центре выбранной площадки выделить участок площадью 1 м^2;
   - срезать на выбранном участке интересующую нас растительность (травы, сельскохозяйственные культуры и т. п.) на высоте не менее 3 см от поверхности почвы.
3. Каждую пробу растительности упаковать в полиэтиленовый пакет. Наклеить этикетку. На этикетке указать номер растительной пробы, вид растительности, место и дату отбора, площадь участка, с которого взята растительность, кем произведен отбор.
4. На участке, где производился отбор растительной пробы, с помощью стандартного пробоотборника отобрать в пяти точках (по углам участка и в центре) пробы (0 – 20)-см слоя почвы.
5. Объединить взятые образцы и поместить объединенную пробу почвы в полиэтиленовый пакет, завязать и уложить во второй пакет. Между пакетами поместить этикетку. На этикетке указать номер пробы, место и дату отбора, кем произведен отбор.
6. Растительную пробу с помощью секатора или ножа мелко измельчить и перемешать. Взвесить измерительный сосуд прибора. Поместить подготовленную растительность в измерительный сосуд прибора и снова взвесить. По разности масс заполненного и пустого сосуда определить массу пробы, предназначенной для анализа. Измерить *гамма*-активность растительности в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора. Рассчитать удельную активность растительности по ^{137}Cs в Бк/кг. Записать полученные результаты в тетрадь.
7. Объединенную пробу почвы тщательно перемешать и взвесить. Взвесить измерительный сосуд прибора. Заполнить измерительный сосуд прибора почвой и снова взвесить. По разности масс заполненного и пустого сосуда определить массу пробы, взятой для измерения активности ^{137}Cs. Измерить активность почвы по ^{137}Cs в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора. Записать результаты измерения в тетрадь.
8. Рассчитать удельную активность (0 – 20)- см слоя почвы в кБк/м^2, учитывая, что количество проб почвы, взятых пробоотборником для анализа, равно 5. Записать полученные результаты в тетрадь.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

9. Рассчитать коэффициенты перехода ^{137}Cs из почвы в отобранные виды растений. Записать полученные результаты в тетрадь.

Пример расчета

Предположим, что необходимо рассчитать коэффициент перехода цезия-137 из почвы в растительность на вашем приусадебном участке. Пусть выполнением п. 1-7 лабораторной работы дало результаты, представленные в таблице 1:

Таблица 1

Растительность		Почва		
Масса пробы, взятой на анализ, кг	Активность пробы, взятой на анализ, Бк	Масса объединенной пробы почвы, $M_{ПО}$, Бк	Масса пробы, взятой на анализ, $M_{ПИ}$, кг	Активность пробы, взятой на анализ, $A_{ПИ}$, Бк
0,1	10	1,6	0,4	1204

Для того, чтобы определить коэффициент перехода ^{137}Cs из почвы в растительность, необходима:

1. *Рассчитать удельную активность растительности ($A_{р.}$, Бк/кг) по формуле (2):*

$$A_{р.} = \frac{A_{пр.}}{M_{пр.}}$$

Подставив численные значения в формулу, получаем:

$$A_{р.} = 10 \text{ Бк} : 0{,}1 \text{ кг} = 100 \text{ (Бк/кг)}$$

2. *Рассчитать удельную активность (0 – 20)- см пахотного слоя почвы ($A_{п.}$, кБк/м^2) по формуле (3):*

$$A_{п.} = \frac{A_{пр.}}{S \cdot n}$$

Для этого нам необходимо знать активность объединенной пробы почвы ($A_{ПО}$, Бк) и площадь поверхности (S, м^2), с которой эта проба была отобрана.

а) Рассчитаем активность объединенной пробы почвы:

$$A_{ПО} = \frac{1{,}6 кг \cdot 1204 \text{ Бк}}{0{,}4 кг} = 4816 Бк$$

б) Определим площадь поверхности, с которой была отобрана почва: Пусть диаметр использованного пробоотборника (d) составляет 7 см. Площадь пробоотбора (S, м^2) равна:

$$S = \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Подставив численные значения в формулу , получаем : S=0,00385 м²

Рассчитаем удельную активность почвы, подставив полученные значения в формулу (3):

$$A_{n.} = \frac{4816\ Бк}{0{,}00385\ м^2 \times 5} = 250182\ Бк/м^2 \text{ или } = 250{,}2\ кБк/м^2$$

$3{,}7 \cdot 10^{10}$ Бк = 1 Кюри
⇓
250,2 кБк/м² ≈ 6,8 Ки/км²

3. *Определим коэффициент перехода ^{137}Cs из почвы растительность по формуле (1):*

$$K_n = \frac{A_{p.}}{A_{n.}}$$

Подставив рассчитанные значения $A_{p.}$ и $A_{n.}$ в формулу, получаем:

$$K_n = \frac{100\ Бк/кг}{250{,}2\ кБк/м^2} = 0{,}4$$

Таким образом, если на вашем приусадебном участке удельная активность почвы равна 250,2 кБк/м² по ^{137}Cs, а удельная активность выращенных на этом участке культур составляет 100 Бк/кг по ^{137}Cs, то коэффициент перехода цезия-137 из почвы в растительность K_n будет равен 0,4.

10. Спрогнозировать возможный уровень загрязнения различных сельскохозяйственных культур цезием-137 (удельную активность, Бк/кг) при условии их выращивания на исследуемом участке. Для этого принять удельную активность (0 – 20)-см пахотного слоя почвы равной значению, рассчитанному в предыдущем задании. Для прогноза использовать формулу 4 и литературные данные о коэффициентах перехода цезия-137 в различные виды сельскохозяйственных культур (таблица 2).

Таблица 2. Коэффициенты перехода ^{137}Cs в продукцию растениеводства

Культура	Коэффициент перехода для разных типов почв			
	Дерново подзолистая супесчаная	Дерново подзолистая суглинистая	Дерново подзолистая песчаная	Торфяно болотная
Овес (зерно)	0,04 - 0,25	0,03 - 0,18	0,05 - 0,33	
Озимая рожь (зерно)	0,01 - 0,04	0,01 - 0,03	0,01 - 0,05	
Озимая пшеница (зерно)	0,01 - 0,03	0,01 - 0,02		

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Таблица 2.продолжение

Культура	Коэффициент перехода для разных типов почв			
	Дерново подзолистая супесчаная	Дерново подзолистая суглинистая	Дерново подзолистая песчаная	Торфяно болотная
Яровая пшеница (зерно)	0,02 - 0,04	0,01 - 0,03		
Ячмень (зерно)	0,03 - 0,07	0,02 - 0,05	0,04 - 0,09	
Люпин (зерно)	0,37 - 0,61	0,26 - 0,43	0,48 - 0,79	
Горох (зерно)	0,16 - 0,55	0,11 - 0,39	0,21 - 0,72	
Вика (зерно)	0,14 - 0,30	0,10 - 0,21	0,18 - 0,39	
Рапс яровой (зерно)	0,13 - 0,25	0,09 - 0,18	0,17 - 0,33	
Просо (зерно)	0,05 - 0,11	0,04 - 0,08		
Клевер (зеленая масса)	0,08 - 0,21	0,06 - 0,13		
Многолетние злаковые травы (зеленая масса)	0,11 - 0,44	0,08 - 0,31	0,18 - 0,65	0,72 - 1,71
Травы естественных сенокосов (зеленая масса)	0,43 - 0,64	0,36 - 0,45	0,56 - 0,83	2,27 - 5,96
Злак травы на пойменных земля (зеленая масса)	0,32 - 0,68	0,21 - 0,58	0,41 - 1,06	
Кукуруза (зеленая масса)	0,03 - 0,05	0,02 - 0,04	0,04 - 0,07	
Люпин (зеленая масса)	0,14 - 0,22	0,10 - 0,15	0,25 - 0,29	
Рапс яровой (зеленая масса)	0,10 - 0,20	0,07 - 0,14	0,13 - 0,29	
Горох (зеленая масса)	0,09 - 0,13	0,06 - 0,09	0,12 - 0,17	
Картофель	0,02 - 0,06	0,01 - 0,07	0,03 - 0,13	
Кормовая свекла	0,02 - 0,04	0,01 - 0,03	0,03 - 0,05	

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Пример расчета

Рассчитаем возможную удельную активность картофеля ($А_к$, Бк/кг), выращиваемого на вашем приусадебном участке. Значение удельной активности (0-20)-см слоя почвы по ^{137}Cs уже рассчитано вами в предыдущем задании (в нашем примере это значение было равно 250,2 кБк/м^2). В таблице 2 выберите столбец с тем типом почвы, который, на ваш взгляд, соответствует типу почвы вашего участка. Для расчетов используйте соответствующие значения коэффициентов перехода ^{137}Cs, приведенных для картофеля

В приводимом примере мы будем проводить расчеты, исходя из предположения, что почва нашего участка является дерново-подзолистой песчаной. Для расчета прогнозируемой удельной активности картофеля ($А_к$, Бк/кг) используем формулу (4):

$$A_{р.} = K_n \cdot A_{п.}$$

Подставив минимальное и максимальное значения коэффициентов перехода ^{137}Cs, приведенных для картофеля в столбце "дерново-подзолистая песчаная почва" в формулу (4), получаем:

$$А_к = 0,03 \cdot 250,2 = 7,5 \text{ Бк/кг}$$
$$А_к = 0,13 \cdot 250,2 = 32,5 \text{ Бк/кг}$$

Полученные данные говорят о том, что удельная активность картофеля, выращенного на исследованном участке, будет варьироваться в пределах от 7,5 до 32,5 Бк/кг.

Вывод: выращивание картофеля на исследованном участке возможно, т.к. прогнозируемый уровень загрязнения данной культуры цезием-137 не будет превышать допустимого уровня (см. табл. 3).

11. Сравнить полученные значения с РДУ. На основе проведенного сравнения сделать заключение о возможности получения нормативно чистой растительной продукции на исследуемом участке.

Таблица 3. Республиканские допустимые уровни (РДУ) содержания цезия-137 в некоторых пищевых продуктах и сырье:

№ п/п	Наименование продукта	Удельная активность, Бк/кг
1.	Зерно	90
2.	Зерно на детское питание	55
3.	Картофель	80
4.	Овощи и корнеплоды	100
5.	Семена рапса	1500

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Таблица 4. Допустимые уровни содержания цезия-137 в некоторых видах кормов, использующихся для получения различных видов конечной продукции (молока, мяса).

Виды кормов	Вид конечной продукции		
	Молоко цельное	Молоко-сырье для переработки на масло	Мясо, заключительный откорм
	допустимый уровень содержания ^{137}Cs в корме, Бк/кг		
Зеленая масса	165	600	240
Зерно на фураж, комбикорм	180	600	480
Корнеплоды	160	600	300
Сено	1300	1850	1300
Солома	330	900	700
Сенаж	500	900	500
Силос	240	600	240

* - корма для производства молока-сырья для переработки на сыры и творог, а также для откорма свиней и птицы должны соответствовать тем же требованиям.

Контрольные вопросы

1. Что такое коэффициент перехода радионуклида из почвы в растение?
2. Какие виды сельскохозяйственных растений больше всего накапливают ^{137}Cs?
3. Как по известной величине коэффициента перехода ^{137}Cs из почвы в растение (K_n) определить уровень загрязнения почвы, позволяющий получать нормативно чистую продукцию?

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

14.4. Определение содержания радионуклидов в продуктах питания. Оценка эффективной дозы внутреннего облучения человека

Эффективная доза облучения человека складывается из доз внешнего и внутреннего облучения. При оценке годовой эффективной дозы определяют сумму внешней и внутренней эффективной дозы облучения человека за один и тот же год.

Годовая доза внешнего облучения определяется с помощью дозиметрических измерений, а эффективная доза внутреннего облучения рассчитывается по активности радионуклидов, поступивших в организм.

В настоящее время население регионов, пострадавших в результате чернобыльской катастрофы, получает основные дозовые нагрузки от попавших в окружающую среду радионуклидов преимущественно за счет внутреннего облучения. Около 95 % радионуклидов, проникающих в организм, поступает вместе с пищей, поэтому накопление радионуклидов в различных органах и тканях зависит от того, какие продукты и в каком количестве употребляет человек, сколько в них содержится радионуклидов.

При оценке эффективной дозы внутреннего облучения человека, полученной за год с продуктами питания, необходимо знать, сколько радионуклидов (по активности) содержится в этих продуктах, т.е. необходимо знать концентрацию радионуклидов. Для этого необходимо иметь данные об удельной активности каждого продукта по конкретному радиоизотопу (например, по ^{137}Cs или ^{90}Sr) и количество данного продукта, потребляемое за год.

Эффективную дозу внутреннего облучения человека можно рассчитать, зная активность потребляемых продуктов и так называемый *дозовый коэффициент* e для каждого радиоизотопа, содержащегося в этих продуктах.

Дозовый коэффициент — это доза, которую получает человек за счет излучения поступившего в организм радиоизотопа активностью в 1 Бк. Величины дозовых коэффициентов можно найти в справочнике по нормам радиационной безопасности (НРБ-2000). Например, для цезия-137 и стронция-90 дозовые коэффициенты равны, соответственно:

$e\ (^{137}Cs) = 1{,}3\times10^{-5}$ ***мЗв/Бк***;

$e\ (^{90}Sr) = 8{,}0\times10^{-5}$ ***мЗв/Бк***.

К продуктам, которые могут содержать ^{137}Cs, относятся дикорастущие грибы и ягоды, молоко, мясо. Расчет эффективной дозы внутреннего облучения, обусловленной потреблением одного вида продукта ($H_{ПР}$, *мЗв*), производится по формуле:

$$H_{пр.} = A\times M\times\varepsilon \qquad (1)$$

где A – удельная активность продукта по ^{137}Cs, *Бк/кг*;

M – масса продукта, *кг*;

ε – дозовый коэффициент для ^{137}Cs, *мЗв /Бк*.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Удельная активность конкретного вида продукта питания *(А, Бк/кг)* рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{A_{пр.}}{M} \qquad (2)$$

где $A_{пр.}$ – активность анализируемой пробы продукта питания, *Бк*;

M – масса анализируемой пробы продукта питания, *кг*.

Рассмотрим в качестве примера расчет эффективной дозы внутреннего облучения, которая обусловлена потреблением 1 л молока, являющегося одним из основных продуктов питания. Используем для расчета формулу (1).

Согласно Республиканским допустимым уровням содержания радионуклидов в пищевых продуктах и питьевой воде (РДУ-99), допустимый уровень содержания ^{137}Cs в молоке составляет 100 Бк/л, т. е.

$$A_{пр.} = A_{м} = 100 \text{ Бк/л}$$

Если человек выпивает 1 л (приблизительно 1 кг) молока с таким содержанием ^{137}Cs, т. е.

$$M = M_{м} = 1 \text{ кг}$$

он увеличивает общую активность своего организма на 100 Бк. Поскольку величина дозового коэффициента для цезия-137 е (^{137}Cs) = $1{,}3 \times 10^{-5}$ мЗв/Бк, то эффективная доза внутреннего облучения, обусловленная потреблением одного литра молока, содержащего 100 Бк ^{137}Cs, равна:

$$H_{м} = 100 \times 1 \times 1{,}3 \times 10^{-5} = 0{,}0013 \ (мЗв)$$

Если предположить, что человек выпивает по 0,5 л молока в день (182,5 л за год), то эффективная доза, обусловленная потреблением молока в течение года, составляет:

$$H = 100 \times 182{,}5 \times 1{,}3 \times 10^{-5} = 0{,}237 \ (мЗв/год)$$

Подобным образом могут быть вычислены эффективные дозы внутреннего облучения, обусловленные потреблением любых продуктов питания.

Каждый из потребляемых продуктов питания вносит определенный вклад в увеличение суммарной годовой эффективной дозы внутреннего облучения. Сложив все значения годовых эффективных доз внутреннего облучения H_i, обусловленных потреблением каждого из видов продуктов питания, можно получить значение суммарной годовой эффективной дозы внутреннего облучения организма человека H:

$$H = \sum_{n=1}^{i} H_i \qquad (3)$$

$$\text{т.е.} \quad H = H_1 + H_2 + \ldots + H_i \qquad (4)$$

где H – годовая эффективная доза внутреннего облучения организма человека за счет ^{137}Cs, *мЗв/год*;

H_1, H_2, H_i – эффективные дозы внутреннего облучения, обусловленная потреблением каждого из видов продуктов питания, *мЗв/год*.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Однако следует иметь в виду, что такой подход к оценке эффективной дозы внутреннего облучения организма человека, как правило, приводит к завышенным результатам по сравнению с *реальной эффективной дозой* внутреннего облучения организма в течение года, поскольку не все радионуклиды, попавшие в организм с продуктами питания останутся там и будут являться источниками внутреннего облучения человека. Часть из них будет выводиться в ходе естественных биологических процессов.

Республиканские допустимые уровни (РДУ) содержания радионуклидов в пищевых продуктах и питьевой воде, действующие в настоящее время на территории Беларуси, ограничивают получение дополнительной эффективной дозы значением 1,0 мЗв/год. Это может быть обеспечено, если активность основных потребляемых продуктов питания не превышает предельно допустимые уровни.

Поэтому радиационный контроль продуктов питания является важнейшим мероприятием, направленным на снижение внутреннего облучения человека.

В соответствии с РДУ содержание ^{137}Cs в продуктах питания не должно превышать следующих уровней:

Наименование продукта	Активность, Бк/л или Бк/кг
молоко и цельномолочная продукция	100
творог и творожные изделия	50
сыры сычужные и плавленые	50
масло коровье	100
мясо и мясные продукты	
говядина, баранина и продуты из них	500
свинина, птица и продукты из них	180
грибы, ягоды, фрукты, овощи	
грибы свежие	370
грибы сушеные	2500
дикорастущие ягоды и консервированные продукты из них	185
садовые ягоды	70
фрукты	40
картофель	80
другие овощи и корнеплоды	100

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Лабораторная работа 7 (Два варианта)

Тема: определение содержания ^{137}Cs в грибах, лесных и садовых ягодах, фруктах и овощах; оценка эффективной дозы внутреннего облучения человека, обусловленной употреблением их в пищу.

Цель работы: измерить содержание ^{137}Cs в грибах, лесных и садовых ягодах, фруктах и овощах, оценить эффективную дозу внутреннего облучения человека, обусловленную их употреблением в пищу.

Приборы, материалы и методическое обеспечение:

– *гамма*-радиометры и спектрометры (любой из перечисленных):
РКГ-АТ 1320 А,
РКГ-01 А и РКГ-02 А,
РУГ-93 СМ,
РУГ-91 М Адани,
РУГ-90 Адани,
радиометр РКГ-02 «Алиот»,
гамма-спектрометр EL 1309,
гамма-бета-спектрометр МКС-АТ 1315;

– весы;
– полиэтиленовые пакеты, стеклянные банки с крышками, полиэтиленовая и др. посуда;
– этикетки;
– секатор, ножницы, ножи и другие приспособления для измельчения продуктов питания;
– документация по эксплуатации приборов и оборудования.

Вариант 1

***ЗАДАЧА**: определение содержания ^{137}Cs в грибах и лесных ягодах; оценка эффективной дозы внутреннего облучения человека, обусловленной употреблением в пищу этих продуктов*

Проведение измерений и обработка полученных результатов

1. Отобрать пробы грибов и ягод[1]:
   - количество грибов каждого вида должно быть таким, чтобы их общий объем (в измельченном состоянии) обеспечивал заполнение измерительных контейнеров используемого радиометрического прибора (0,1; 0,5 или 1,0 л).
   - проба ягод по объему должна составлять 0,5 или 1,0 л.
2. Рассортировать по видам отобранные грибы и ягоды. Каждую пробу упаковать в отдельный полиэтиленовый пакет. Пакет завязать и поместить в другой, между ними поместить этикетку, на которой указать номер пробы, наименование грибов или ягод, место (лесничество, № квартала) и дату отбора, кем произведен отбор.

[1] Отбор проб грибов и ягод производить в местах их массового сбора населением

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

3. Подготовить пробы грибов и ягод к измерениям:
   - грибы тщательно очистить от частиц почвы; у подберезовиков и подосиновиков почистить ножки; у сыроежек, волнушек и маслят снять пленки со шляпок; нарезать грибы на куски;
   - ягоды очистить от примесей.
4. Взвесить измерительный сосуд прибора, затем заполнить его грибами и снова взвесить. По разности масс заполненного и пустого сосуда определить массу пробы, взятой для измерения активности. Аналогично определить массу пробы ягод. Записать результаты взвешивания в тетрадь.
5. Промыть грибы и ягоды в течение 3 – 5 мин. в проточной воде или в большом количестве воды, не допуская потерь.
6. Измерить *гамма*-активность проб по ^{137}Cs. Результаты измерения записать в тетрадь. Рассчитать удельную активность грибов и ягод каждого вида по ^{137}Cs в Бк/кг (формула 2). Сравнить полученные результаты с РДУ для соответствующего вида продукта. Результаты записать в тетрадь.
7. Оценить эффективную дозу внутреннего облучения (формула 1), обусловленную потреблением одного килограмма анализируемых продуктов питания (мЗв/кг), используя полученные экспериментальные данные по содержанию ^{137}Cs в грибах и ягодах и дозовый коэффициент для ^{137}Cs. Результаты расчетов записать в тетрадь.

Пример расчета

1. Рассчитаем удельную активность анализируемых грибов и ягод.

1.1. Рассчитаем удельную активность грибов подосиновиков ($A_{гр.}$, Бк/кг).

Пусть масса грибов, взятых для измерения (М, кг), составляет 0,2 кг.

Измеренная активность грибов ($A_{пр.}$, Бк) составляет 1480 Бк.

Тогда, в соответствии с формулой 2:

$$A_{гр.} = \frac{1480\ Бк}{0{,}2\ кг} = 7400\ Бк/кг = 7{,}4\ кБк/кг \text{ (что в 20 раз больше РДУ)}$$

1.2. Рассчитаем удельную активность анализируемых ягод клюквы ($A_{яг}$).

Пусть масса ягод, взятая для измерения (М, кг) составляет 0,3 кг.

Измеренная активность клюквы ($A_{пр.}$, Бк) составляет 1110 Бк.

Тогда, в соответствии с формулой 2:

$$A_{яг.} = \frac{1110\ Бк}{0{,}3\ кг} = 3700\ Бк/кг = 3{,}7\ кБк/кг \text{ (что в 20 раз больше РДУ)}$$

2. Рассчитаем эффективную дозу внутреннего облучения ($Н_{гр.}$ и $Н_{яг.}$), обусловленную потреблением 1 кг этих грибов и 1 кг ягод.

2.1. Рассчитаем эффективную дозу внутреннего облучения ($Н_{гр.}$, мЗв), обусловленную потреблением грибов.

Пусть: *Удельная активность грибов по* ^{137}Cs $A_{гр} = 7400$ *Бк/кг*

Масса потребляемых грибов – 1 кг

Дозовый коэффициент e $(^{137}Cs) = 1{,}3 \cdot 10^{-5}$ *мЗв/Бк*

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Тогда, в соответствии с формулой 1:

$$H_{гр.} = A_{гр.} \times M_{гр.} \times \varepsilon = 7400\ Бк/кг \times 1\ кг \times 1{,}3 \times 10^{-5}\ мЗв/Бк = 9{,}62 \times 10^{-2}\ мЗв = 0{,}0962 мЗв$$

Таким образом, эффективная доза внутреннего облучения, обусловленная потреблением 1 кг собранных подосиновиков, составляет 0,0962 мЗв.

2.2. Рассчитаем эффективную дозу внутреннего облучения ($H_{яг.}$, мЗв), обусловленную потреблением ягод.

Пусть удельная активность ягод по ^{137}Cs $A_{гр} = 3700$ Бк/кг

Масса потребляемых ягод – 1 кг

Дозовый коэффициент для ^{137}Cs $\varepsilon = 1{,}3 \cdot 10^{-5}$ мЗв/Бк

Тогда, в соответствии с формулой 1:

$$H_{яг.} = A_{яг.} \times M_{яг.} \times \varepsilon = 3700 Бк/кг \cdot 1\ кг \cdot 1{,}3 \cdot 10^{-5}\ мЗв/Бк = 4{,}81 \cdot 10^{-2}\ мЗв = 0{,}0481\ мЗв$$

Эффективная доза внутреннего облучения, обусловленная потреблением 1 кг собранной клюквы, составляет 0,0481 мЗв.

2.3. По формуле (4) рассчитаем суммарную эффективную дозу внутреннего облучения (Н, мЗв/год) обусловленную потреблением собранных подосиновиков и клюквы.

Эффективная доза внутреннего облучения, обусловленная потреблением 1 кг грибов, $H_{гр.} = 0{,}0962$ мЗв.

Эффективная доза внутреннего облучения, обусловленная потреблением 1 кг ягод, составляет $H_{яг.} = 0{,}0481$ мЗв.

В соответствии с формулой (4) просуммируем полученные значения:

$$H = H_{гр.} + H_{яг.} = 0{,}0962 + 0{,}0481 = 0{,}1443\ мЗв$$

Вывод: полученные результаты показывают, что при употреблении 1 кг грибов с удельной активностью 7,4 кБк/кг и 1 кг ягод с удельной активностью 3,7 кБк/кг человек получает суммарную эффективную дозу внутреннего облучения 0,1443 мЗв.

3. Рассчитаем сколько грибов и ягод с удельной активностью соответственно 7,4 кБк/кг и 3,7 кБк/кг может съесть человек за год, чтобы эффективная доза внутреннего облучения, обусловленная потреблением одного или другого продукта, не превышала 1 мЗв/год.

3.1. Рассчитаем, сколько грибов с удельной активностью 7,4 кБк/кг может съесть человек за год, чтобы эффективная доза внутреннего облучения, обусловленная потреблением этого продукта, не превышала 1 мЗв/год.

1 кг грибов с активностью 7,4 кБк/кг увеличивает эффективную дозу внутреннего облучения на 0,0962 мЗв. Чтобы узнать, какое количество грибов увеличит эффективную дозу внутреннего облучения на 1 мЗв, составим пропорцию:

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$\begin{array}{l} 1\ кг - 0{,}0962\ \ мЗв \\ x\ кг - 1\ \ мЗв \end{array} \Rightarrow x = \frac{1\,кг \cdot 1\,мЗв}{0{,}0962\,мЗв} \approx 10{,}4\,кг$$

3.2. Рассчитаем, сколько ягод с удельной активностью 3,7 кБк/кг может съесть человек за год, чтобы эффективная доза внутреннего облучения, обусловленная потреблением этого продукта, не превышала 1 мЗв/год.

1 кг ягод с активностью 3,7 кБк/кг увеличивает эффективную дозу внутреннего облучения на $48{,}1 \cdot 10^{-2}$ мЗв. Чтобы узнать, какое количество грибов увеличит эффективную дозу внутреннего облучения на 1 мЗв, составим пропорцию:

$$\begin{array}{l} 1\ кг - 0{,}0481\ \ мЗв \\ x\ кг - 1\ мЗв \end{array} \Rightarrow x = \frac{1\,кг \cdot 1\,мЗв}{0{,}0481\,мЗв} \approx 20{,}8\,кг$$

Следовательно, употребление за 1 год 10,4 кг грибов с удельной активностью 7,4 кБк/кг обеспечит формирование эффективной дозы внутреннего облучения в 1 мЗв. Употребление в пищу за 1 год 20,8 кг ягод с удельной активностью 3,7 кБк/кг также обеспечит формирование эффективной дозы внутреннего облучения в 1 мЗв.

***Вывод**: для того, чтобы дополнительная эффективная доза облучения человека не превышала 1 мЗв/год, он может употребить в пищу не более 10,4 кг грибов с удельной активностью 7,4 кБк/кг **или** не более 20,8 кг дикорастущих ягод с удельной активностью 3,7 кБк/кг. Однако следует отметить, что эффективная доза облучения человека складывается из доз внутреннего и внешнего облучения. В нашем примере эффективная доза внешнего облучения не учитывается. Кроме того, свой вклад в эффективную дозу внутреннего облучения могут вносить не только грибы или ягоды, но и многие другие потребляемые продукты питания, которые также не учтены в нашем примере. Поэтому активности реально потребляемых продуктов питания должны быть значительно ниже, чем в приведенном примере, и не должны превышать значений РДУ.*

***Вариант** 2*

***ЗАДАЧА**: определение содержания ^{137}Cs в садовых ягодах, фруктах, овощах; оценка эффективной дозы внутреннего облучения человека, обусловленной употреблением в пищу этих продуктов.*

Проведение измерений и обработка полученных результатов

1. Отобрать пробы садовых ягод, фруктов и овощей массой 0,5 – 1,0 кг.
2. Каждую пробу упаковать в отдельный полиэтиленовый пакет или банку с крышкой. Наклеить этикетку, на которой указать номер пробы, наименование продукта, место и дату отбора пробы, кем произведен отбор.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

3. Подготовить пробы к измерениям:
   - ягоды очистить от примесей;
   - фрукты и овощи тщательно помыть, порезать на куски;
   - картофель и корнеплоды помыть, очистить от кожуры, порезать на куски.
4. Взвесить измерительный сосуд прибора , затем заполнить его исследуемой пробой и снова взвесить. По разности масс заполненного и пустого сосуда определить массу пробы, взятой для измерения активности. Записать результаты взвешивания в тетрадь.
5. Пробы ягод промыть в течение 3 – 5 мин. в проточной воде или в большом количестве воды, не допуская потерь продуктов, предназначенных для измерений.
6. Измерить *гамма*-активность проб по ^{137}Cs. Результаты измерений записать в тетрадь. Рассчитать удельную активность каждого вида садовых ягод, фруктов и овощей по ^{137}Cs в Бк/кг (формула 2). Сравнить полученные результаты с данными , приведенными в РДУ для соответствующего вида продукта. Результаты записать в тетрадь.
7. Оценить эффективную дозу внутреннего облучения организма человека (формула 1), обусловленную потреблением одного килограмма анализируемых продуктов питания (*H*, мЗв/кг), используя полученные экспериментальные данные по содержанию в них ^{137}Cs и дозовый коэффициент e для ^{137}Cs. Результаты расчетов записать в тетрадь.

Пример расчета

1. Рассчитаем удельную активность анализируемых грибов и ягод.

1.1.Рассчитаемудельную активностьгрибов подосиновиков ($A_{гр.}$,Бк/кг).

Пусть масса грибов, взятых для измерения (М, кг), составляет 0,2 кг. Измеренная активность грибов ($A_{пр.}$, Бк) составляет 1480 Бк.

Тогда, в соответствии с формулой 2:

$$A_{к.} = \frac{200\ Бк}{0{,}2\ кг} = 1000\ Бк/кг = 1\ кБк/кг \text{ (что в 12,5 раз больше РДУ)}$$

1.2. Рассчитаем удельную активность анализируемых ягод садовой малины ($A_{яг.}$).

Пусть масса ягод, взятая для измерения ($M_{яг.}$, кг) составляет 0,2 кг. Измеренная активность малины ($A_{пр.}$, Бк) составляет 150 Бк.

Тогда, в соответствии с формулой 2:

$$A_{яг.} = \frac{150\ Бк}{0{,}2\ кг} = 750\ Бк/кг \text{ (что в 10,7 раза больше РДУ)}$$

2.Рассчитаем эффективную дозу внутреннего облучения ($H_{к.}$ и $H_{яг.}$), обусловленную потреблением 1 кг этого картофеля и 1 кг ягод.

2.1.Рассчитаем эффективную дозу внутреннего облучения ($H_{к.}$,мЗв), обусловленнуюпотреблениемкартофеля

Пусть: *Удельная активность картофеля по ^{137}Cs $A_{к.}$ = 1000 Бк/кг*
Масса потребляемого картофеля – 1 кг
Дозовый коэффициент для ^{137}Cs e = $1{,}3\times10^{-5}$ мЗв/Бк

Тогда, в соответствии с формулой 1:

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$H_{к.} = A_{к.} \times M_{к.} \times \varepsilon = 1000 Бк/кг \times 1\ кг \times 1{,}3 \times 10^{-5}\ мЗв/Бк = 0{,}013\ мЗв$

Таким образом, эффективная доза внутреннего облучения, обусловленная потреблением 1 кг анализируемого картофеля, составляет 0,013 мЗв.

2.2. Рассчитаем эффективную дозу внутреннего облучения ($H_{яг.}$, мЗв), обусловленную потреблением ягод, например, садовой малины.

Пусть: Удельная активность ягод по ^{137}Cs $A_{яг.} = 750$ Бк/кг

Масса потребляемых ягод – 1 кг

Дозовый коэффициент для ^{137}Cs $\varepsilon = 1{,}3 \times 10^{-5}$ мЗв/Бк

Тогда, в соответствии с формулой 1:

$H_{яг.} = A_{яг.} \times M_{яг.} \times \varepsilon = 750 Бк/кг \times 1\ кг \times 1{,}3 \times 10^{-5}\ мЗв/Бк \approx 0{,}01\ мЗв$

Эффективная доза внутреннего облучения, обусловленная потреблением 1 кг собранной садовой малины, составляет 0,01 мЗв.

2.3. По формуле (4) рассчитаем эффективную дозу внутреннего облучения (H, мЗв/год) обусловленную потреблением исследуемых картофеля и садовой малины.

Эффективная доза внутреннего облучения, обусловленная потреблением картофеля, $H_{к.} = 0{,}013$ мЗв.

Эффективная доза внутреннего облучения, обусловленная потреблением ягод, составляет $H_{яг.} = 0{,}01$ мЗв.

В соответствии с формулой (4) просуммируем полученные значения:

$$H = H_{к.} + H_{яг.} = 0{,}013 + 0{,}01 = 0{,}023\ мЗв$$

Вывод: полученные результаты показывают, что при употреблении 1 кг картофеля с удельной активностью 1000 Бк/кг и 1 кг ягод с удельной активностью 750 Бк/кг человек получает суммарную эффективную дозу внутреннего облучения 0,023 мЗв, что ниже максимально допустимого значения дополнительной эффективной дозы облучения (1,0 мЗв/год).

3. Рассчитаем сколько картофеля и ягод с удельной активностью соответственно 1000 Бк/кг и 750 Бк/кг может съесть человек за год, чтобы эффективная доза внутреннего облучения, обусловленная потреблением одного или другого продукта, не превышала 1 мЗв/год.

3.1. Рассчитаем, сколько картофеля с удельной активностью 1000 Бк/кг может съесть человек за год, чтобы эффективная доза внутреннего облучения, обусловленная потреблением этого продукта, не превышала 1 мЗв/год.

1 кг картофеля с активностью 1000 Бк/кг увеличивает эффективную дозу внутреннего облучения на 0,013 мЗв. Чтобы узнать, какое количество картофеля увеличит эффективную дозу внутреннего облучения на 1 мЗв, составим пропорцию:

$$\begin{array}{l} 1\ кг - 0{,}013\ мЗв \\ x\ кг - 1\ мЗв \end{array} \Rightarrow x = \frac{1\ кг \cdot 1\ мЗв}{0{,}013\ мЗв} \approx 77\ кг$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

3.2. Рассчитаем, сколько ягод с удельной активностью 750 Бк/кг может съесть человек за год, чтобы эффективная доза внутреннего облучения, обусловленная потреблением этого продукта, не превышала 1 мЗв/год.

1 кг ягод с активностью 750 Бк/кг увеличивает эффективную дозу внутреннего облучения на 0,01 мЗв. Чтобы узнать, какое количество ягод увеличит эффективную дозу внутреннего облучения на 1 мЗв, составим пропорцию:

$$\begin{array}{l} 1\ кг - 0{,}01\ мЗв \\ x\ кг - 1\ мЗв \end{array} \Rightarrow x = \frac{1\ кг \cdot 1\ мЗв}{0{,}01\ мЗв} = 100\ кг$$

Следовательно, употребление за 1 год 77 кг картофеля с удельной активностью 1 кБк/кг обеспечит формирование эффективной дозы внутреннего облучения в 1 мЗв. Употребление в пищу за 1 год 100 кг садовых ягод с удельной активностью 750 Бк/кг также обеспечит формирование эффективной дозы внутреннего облучения в 1 мЗв.

***Вывод**: для того, чтобы дополнительная эффективная доза облучения человека не превышала 1 мЗв/год, он может употребить в пищу не более 77 кг картофеля с удельной активностью 1 кБк/кг **или** не более 100 кг садовых ягод с удельной активностью 750 Бк/кг. Однако следует отметить, что эффективная доза облучения человека складывается из доз внутреннего и внешнего облучения. В нашем примере эффективная доза внешнего облучения не учитывается. Кроме того, свой вклад в эффективную дозу внутреннего облучения могут вносить не только картофель или ягоды, но и многие другие потребляемые продукты питания, которые также не учтены в нашем примере. Поэтому активности реально потребляемых продуктов питания должны быть значительно ниже, чем в приведенном примере, и не должны превышать значений РДУ.*

Контрольные вопросы

1. Каковы требования РДУ к содержанию ^{137}Cs в грибах, лесных и садовых ягодах, фруктах, овощах?

2. Рассчитайте, каким должно быть потребление в течение года грибов с удельной активностью по ^{137}Cs, соответствующей РДУ, для формирования годовой эффективной дозы внутреннего облучения, не превышающей 1 мЗв.

3. Какие из исследованных продуктов питания (лесные ягоды, грибы, садовые ягоды, фрукты, овощи) при потреблении в количестве 1 кг формируют наибольшую дозу внутреннего облучения?

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Лабораторная работа 8 (Два варианта)

Тема: определение содержания ^{137}Cs в молочных и мясных продуктах питания; оценка эффективной дозы внутреннего облучения человека, обусловленной употреблением в пищу этих продуктов.

Цель работы: *измерить содержание ^{137}Cs в молочных и мясных продуктах питания и оценить эффективную дозу внутреннего облучения, обусловленную употреблением их в пищу.*

Приборы, материалы и методическое обеспечение:

– *гамма*-радиометры (любой из перечисленных):

РКГ-АТ 1320 А,
РКГ-01 А,
РКГ-02 А,
РУГ-93 СМ,
РУГ-91 М Адани,
РУГ-90 Адани,
радиометр РКГ-02 «Алиот»;

– спектрометры (*гамма*-спектрометр EL 1309, *гамма-бета*-спектрометр МКС-АТ1315);
– весы;
– полиэтиленовые пакеты, стеклянные банки с крышками, полиэтиленовая и др. посуда;
– этикетки;
– секатор или ножи и другие приспособления для измельчения продуктов;
– документация по эксплуатации приборов.

Вариант 1

***ЗАДАЧА**: определение содержания ^{137}Cs в молоке и молочных продуктах; оценка эффективной дозы внутреннего облучения человека, обусловленной употреблением в пищу этих продуктов.*

Проведение измерений и обработка полученных результатов

1. Отобрать пробы молока и молочных продуктов объемом 0,5 – 1,0 л или массой 0,5 –1,0 кг.[1] (Перед отбором проб молочные продукты перемешать.)
2. Каждую пробу поместить в чистую посуду или пакет. Наклеить этикетку, на которой указать номер пробы, наименование продукта, место, дату и время отбора, кем произведен отбор.
3. Определить объем молока и вес молочных продуктов, предназначенных для анализа (вес молочных продуктов определить по разности масс пустого и заполненного пробой измерительного сосуда прибора). Записать полученные результаты в тетрадь.

[1] Отбор проб рекомендуется производить непосредственно в местах их производства и переработки (фермы, молокозаводы, личные подворья и т.д.).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

4. Измерить *гамма*-активность молока и молочных продуктов по ^{137}Cs в соответствии с инструкцией используемого прибора. Рассчитать объемную (Бк/л) или удельную (Бк/кг) активность молока и молочных продуктов по ^{137}Cs (формула 2). Сравнить полученные результаты с РДУ для соответствующего вида продукта. Записать результаты измерений и расчетов в тетрадь.
5. Оценить эффективную дозу внутреннего облучения, обусловленную потреблением 1 л молока или 1 кг анализируемых молочных продуктов (мЗв/кг), используя полученные экспериментальные данные, по содержанию ^{137}Cs в анализируемых продуктах и дозовый коэффициент $e(^{137}Cs) = 1{,}3\times10^{-5}$ мЗв/Бк (формула 1). Результаты расчетов записать в тетрадь.

Пример расчета

1. Рассчитаем удельную активность анализируемого молочного продукта — творога.

Пусть масса творога, взятая для измерения, (М, кг) составляет 0,5 кг. Измеренная активность пробы творога ($A_{пр.}$, Бк) составляет 25 Бк. Подставим полученные результаты в формулу (2):

$$A_{тв.} = \frac{25\ Бк}{0{,}5\ кг} = 50\ (Бк/кг),$$ *т.е. равна РДУ.*

2. Рассчитаем эффективную дозу внутреннего облучения человека ($H_{тв.}$, мЗв), обусловленную потреблением 1 кг этого творога.

Удельная активность творога по ^{137}Cs $A_{тв.} = 50$ Бк/кг

Масса потребляемого творога – 1 кг

Дозовый коэффициент для ^{137}Cs $e = 1{,}3 \cdot 10^{-5}$ мЗв/Бк

Подставив численные значения в формулу (1), получаем:

$$H_{тв.} = A_{тв.} \times M_{тв.} \times \varepsilon = 50 Бк/кг \cdot 1\ кг \cdot 1{,}3 \cdot 10^{-5}\ мЗв/Бк = 0{,}65 \cdot 10^{-3}\ мЗв =$$
$$= 0{,}00065\ мЗв$$

Результаты расчета показывают, что при употреблении 1 кг творога с удельной активностью 50 Бк/кг человек получает эффективную дозу внутреннего облучения 0,00065 мЗв.

3. Рассчитаем годовую эффективную дозу внутреннего облучения, обусловленная потреблением творога с активностью 50 Бк/кг, предположив, что в среднем человек употребляет 100 г творога в день.

Тогда, годовое потребление творога будет равно: $100\ г \cdot 365 = 36500\ г =$
$= 36{,}5\ кг$

Подставив численные значения в формулу (1), получаем:

$$H_{тв.} = A_{тв.} \times M_{тв.} \times \varepsilon = 50 Бк/кг \cdot 36{,}5\ кг \cdot 1{,}3 \cdot 10^{-5}\ мЗв/Бк \approx 23{,}7 \cdot 10^{-3}\ мЗв =$$
$$= 0{,}0237\ мЗв$$

Следовательно, употребление за 1 год 36,5 кг творога с удельной активностью 50 Бк/кг (т.е. равной РДУ) обеспечит формирование эффективной дозы внутреннего облучения в 0,0237 мЗв.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

***Вариант** 2*

***ЗАДАЧА**: определение содержания ^{137}Cs в мясе и мясных продуктах; оценка эффективной дозы внутреннего облучения человека, обусловленной употреблением в пищу этих продуктов.*

Проведение измерений и обработка полученных результатов

1. Отобрать пробы мяса и мясных продуктов массой 0,5 – 1,0кг[1]. Нарезать их на куски.
2. Каждую пробу поместить в чистую посуду или пакет. Наклеить этикетку, на которой указать номер пробы, наименование продукта, место, дату и время отбора, кем произведен отбор.
3. Взвесить измерительный сосуд прибора, затем заполнить его мясом и снова взвесить. По разности масс заполненного и пустого сосуда определить массу пробы, взятой для измерения активности. Записать результаты взвешивания в тетрадь.
4. Измерить *гамма*-активность мяса и мясных продуктов по ^{137}Cs в соответствии с инструкцией используемого прибора. Рассчитать удельную активность мяса и мясных продуктов по ^{137}Cs в Бк/кг (формула 2). Сравнить полученные результаты с РДУ для соответствующего вида мяса. Записать результаты измерений и расчетов в тетрадь.
5. Оценить эффективную дозу внутреннего облучения, обусловленную потреблением 1 кг мяса и мясных продуктов (H, мЗв/кг), используя полученные экспериментальные данные, по содержанию ^{137}Cs в анализируемых пробах и дозовый коэффициент дозовый коэффициент e (^{137}Cs) = $1{,}3 \cdot 10^{-5}$ мЗв/Бк (формула 1). Записать результаты расчетов в тетрадь.

Пример расчета

1. *Рассчитаем удельную активность анализируемого мяса — сырой говядины.*

   Масса говядины, взятая для измерения, ($M_г$, кг) составляет 0,5 кг. Измеренная активность пробы этого мяса ($A_{пр}$, Бк) составляет 250 Бк. Подставим полученные результаты в фомулу (2):

   $$A_г = \frac{250\ Бк}{0{,}5\ кг} = 500\ (Бк/кг),\ т.е.\ равна\ РДУ$$

2. *Рассчитаем эффективную дозу внутреннего облучения человека ($H_г$, мЗв), обусловленную потреблением 1 кг этого мяса.*

   Удельная активность говядины по ^{137}Cs $A_г$ = 500 Бк/кг

   Масса потребляемого говядины – 1 кг

   Дозовый коэффициент для ^{137}Cs e = $1{,}3 \cdot 10^{-5}$ мЗв/Бк

[1] Отбор проб рекомендуется производить непосредственно в местах их производства и переработки (мясокомбинаты, личные подворья и т.д.).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Подставив численные значения в формулу (1), получаем:

$$H_{г.} = A_{г.} \times M_{г.} \times \varepsilon = 500\ Бк/кг \cdot 1\ кг \cdot 1{,}3 \cdot 10^{-5}\ мЗв/Бк = 6{,}5 \cdot 10^{-3}\ мЗв$$

Результаты расчета показывают, что при употреблении 1 кг говядины с удельной активностью 500 Бк/кг человек получает эффективную дозу внутреннего облучения $6{,}5 \cdot 10^{-3}$ мЗв.

3. *Рассчитаем сколько говядины с удельной активностью 500 Бк/кг может съесть человек за год, чтобы эффективная доза внутреннего облучения, обусловленная потреблением этого продукта, не превышала 1 мЗв/год.*

1 кг говядины с активностью 500 Бк/кг увеличивает эффективную дозу внутреннего облучения на $6{,}5 \cdot 10^{-3}$ мЗв. Чтобы узнать, какое количество исследуемого мяса увеличит эффективную дозу внутреннего облучения на 1 мЗв, составим пропорцию:

$$\begin{array}{l} 1\ кг - 6{,}5 \cdot 10^{-3}\ мЗв \\ x\ кг - 1\ мЗв \end{array} \Rightarrow x = \frac{1\ кг \cdot 1\ мЗв}{6{,}5 \times 10^{-3}\ мЗв} = 154\ кг$$

Следовательно, употребление за 1 год 154 кг говядины с удельной активностью 500 Бк/кг (т.е. равной РДУ) обеспечит формирование эффективной дозы внутреннего облучения в 1 мЗв.

***Вывод**: для того, чтобы эффективная доза внутреннего облучения человека не превышала 1 мЗв/год, он может употреблять в пищу не более 154 кг говядины с удельной активностью 500 Бк/кг. Однако следует отметить, что эффективная доза облучения человека складывается из доз внутреннего и внешнего облучения. В нашем примере эффективная доза внешнего облучения не учитывается. Кроме того, свой вклад в эффективную дозу внутреннего облучения могут вносить не только грибы или ягоды, но и многие другие потребляемые продукты питания, которые также не учтены в нашем примере. Поэтому активности реально потребляемых продуктов питания должны быть значительно ниже, чем в приведенном примере, и не должны превышать значений РДУ.*

Контрольные вопросы

1. Каковы требования РДУ к содержанию ^{137}Cs в молочных и мясных продуктах питания?

2. Рассчитайте, каким должно быть годовое потребление молока с удельной активностью по ^{137}Cs, соответствующей РДУ, чтобы годовая эффективная доза внутреннего облучения организма человека содержащимся в молоке ^{137}Cs **не превышала** 0,1 мЗв.

3. Какова должна быть суммарная активность ^{137}Cs в потребляемых человеком мясных продуктах, чтобы эффективная доза внутреннего облучения человека не превысила 0,2 мЗв/год?

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Лабораторная работа 9

Тема: **оценка годовой эффективной дозы внутреннего облучения человека по рациону питания**.

Цель работы: *освоить методологию оценки годовой эффективной дозы внутреннего облучения человека на основе данных по содержанию ^{137}Cs в потребляемых продуктах питания; определить относительный вклад различных видов продуктов питания в суммарную дозу внутреннего облучения человека.*

Используемые приборы и материалы

Работа носит расчетный характер и не требует специального оборудования.

Порядок проведения работы

1. Рассчитать годовую эффективную дозу внутреннего облучения человека ($H_{пр.}$, *мЗв/год*), обусловленную потреблением каждого из основных продуктов питания. Для расчета использовать следующую формулу:

$$H_{пр.} = A \times M \times \varepsilon \qquad (1)$$

где A – удельная активность продукта по ^{137}Cs, *Бк/кг*;

M – масса продукта, *кг (л)*;

е – дозовый коэффициент радионуклида, *мЗв/Бк*;

$$e\,(^{137}Cs) = 1{,}3 \times 10^{-5}\ \textbf{мЗв/Бк}.$$

Для расчетов использовать:

- данные по содержанию ^{137}Cs в продуктах питания, полученные самостоятельно в ходе предыдущих лабораторных работ или заданные учителем;
- информацию о среднегодовом потреблении учащимися различных видов продуктов питания.

1. Оценить годовую эффективную дозу внутреннего облучения человека (H, *мЗв/год*) по рациону питания. Для расчета использовать формулу:

$$H = H_1 + H_2 + \ldots + H_i \qquad (2)$$

где H – годовая эффективная доза внутреннего облучения организма человека за счет данного радиоизотопа, *мЗв/год*;

H_1, H_2, H_i – эффективная доза внутреннего облучения, обусловленная потреблением одного из видов продуктов питания, *мЗв/год*.

2. Проанализировать относительный вклад в годовую эффективную дозу внутреннего облучения человека различных продуктов питания.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Пример расчета

1) Запишем в таблицу 1 основные продукты питания, их потребляемое за год количество и удельную активность (значения удельной активности в данном примере взяты равными РДУ). Используем формулу (1) для расчета годовой эффективной дозы внутреннего облучения человека (H_i, мЗв/год), обусловленной потреблением каждого из перечисленных продуктов питания. Занесем полученные данные в таблицу.

Продукты	Среднее потребление за год, кг	Удельная активность по ^{137}Cs, Бк/кг	Эффективная доза внутреннего облучения человека, мЗв/год
Молоко и цельномолочные продукты	200	100	0,26
Творог	30	50	0,0195
Масло коровье	10	100	0,013
Говядина и изделия из нее	10	500	0,065
Свинина	40	180	0,0936
Птица	10	180	0,0234
Грибы	4	370	0,01924
Дикорастущие ягоды	5	185	0,012025
Садовые ягоды	5	70	0,00455
Фрукты	5	40	0,0026
картофель	50	80	0,052
Морковь, свекла, капуста и др. овощи и корнеплоды	50	100	0,065

2) Рассчитаем годовую эффективную дозу внутреннего облучения человека по предлагаемому рациону питания. Для расчета используем формулу (2) и значения, приведенные в четвертом столбце таблицы 1. Годовая эффективная доза внутреннего облучения (H, мЗв/год) равна:

$$H = H_1 + H_2 + \ldots + H_i =$$

$$= 0,26+0,0195+0,013+0,065+0,0936+0,0234+$$
$$+ 0,01924+0,012025+0,00455+0,0026+$$
$$+0,052+0,065 = 0,63 \ (\text{мЗв/год})$$

3) Оценим относительный вклад молока и цельномолочной продукции в годовую эффективную дозу внутреннего облучения человека.

Годовая эффективная доза от всех продуктов питания составляет 0,63 мЗв/год.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Годовая эффективная доза, обусловленная потреблением молока и цельномолочных продуктов, составляет 0,26 мЗв/год.

Приняв годовую эффективную дозу от всех продуктов питания за 100%, составляем пропорцию:

$$\begin{matrix} 0{,}63\ мЗв/год - 100\ \% \\ 0{,}26\ мЗв/год - x\ \% \end{matrix} \quad \Rightarrow \quad x = \frac{0{,}26\ мЗв/год \cdot 100\ \%}{0{,}63\ мЗв/год} = 41{,}3\ \%$$

Относительный вклад молока и цельномолочной продукции в годовую эффективную дозу внутреннего облучения человека составляет около 41 %. Аналогично можно оценить относительный вклад любых других продуктов питания в годовую эффективную дозу внутреннего облучения.

Контрольные вопросы

1. Какой максимальный уровень годовой эффективной дозы внутреннего облучения человека при потреблении продуктов питания, соответствующих РДУ?

2. Какие виды пищевых продуктов в вашем регионе дают основной вклад в дозу внутреннего облучения?

3. Какие способы снижения эффективной дозы внутреннего облучения, на ваш взгляд, наиболее приемлемы: ограничение потребления отдельных видов пищевых продуктов, их переработка с целью уменьшения содержания ^{137}Cs или агротехнические мероприятия по снижению поступления ^{137}Cs в сельскохозяйственную продукцию?

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

14.5. *Переработка продуктов питания с целью снижения содержания радионуклидов*

При решении вопросов, связанных с уменьшением эффективной дозы внутреннего облучения человека, в первую очередь, необходимо проводить комплекс мероприятий , направленных на снижение поступления радионуклидов в организм человека с продуктами питания. Поскольку радионуклиды попадают в организм человека в основном по пищевым цепочкам *почва – растение - человек, почва – растение – животное – человек* важную роль играют меры, обеспечивающие снижение поступления радионуклидов в продукты растениеводства и животноводства, а также меры, способствующие сокращению поступления радионуклидов в организм с готовыми продуктами питания.

Наиболее простым и доступным методом, позволяющим уменьшить поступление радионуклидов в организм человека в составе готовых продуктов питания, является правильная подготовка и кулинарная обработка сельскохозяйственной и лесной продукции.

Для расчета удельной активности конкретного вида продукта питания *(А, Бк/кг)* используется формула:

$$A = \frac{A_{(пробы)}}{M} \qquad (1)$$

где $A_{(пробы)}$ – активность анализируемой пробы продукта питания, *Бк*;

M – масса анализируемой пробы продукта питания, *кг*.

Для расчета удельной объемной активности конкретного вида продукта питания *(А, Бк/л)* используется формула:

$$A = \frac{A_{(пробы)}}{V} \qquad (2)$$

где $A_{(пробы)}$ – активность анализируемой пробы продукта питания, *Бк*;

V – объем анализируемой пробы продукта питания, *л*.

Лабораторная работа *10. (Три варианта)*

Тема: **определение удельной активности грибов по ^{137}Cs до и после кулинарной обработки**.

Цель работы : освоить способы кулинарной обработки грибов , позволяющие снизить содержание радионуклидов в продуктах питания; оценить, во сколько раз уменьшается содержание ^{137}Cs в грибах в зависимости от способа обработки.

Краткие теоретические сведения

Из 200 видов съедобных грибов, встречающихся в белорусских лесах, в пищу традиционно используют не более 35 видов. Грибы обладают хорошими вкусовыми качествами и богаты питательными ве-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

ществами. В них содержатся белки, жиры, углеводы, минеральные вещества, витамины, ферменты. По содержанию аминокислот грибы равноценны бобовым культурам, а по содержанию витаминов превосходят многие овощи. В составе грибов обнаружены все макро- и микроэлементы, необходимые для организма человека. Однако наряду с полезными для организма человека веществами, грибы способны аккумулировать и вредные элементы, в том числе и радиоактивные. Способность грибов накапливать радионуклиды объясняется тем, что микориза грибов (народное название – грибница) располагается в лесной подстилке и верхнем почвенном горизонте, в которых содержится основная доля радионуклидов (от их общего содержания в почвенных слоях). На величину накопления радионуклидов в грибах оказывают влияние многие факторы: видовая принадлежность, плотность радиоактивных выпадений, свойства почвы и особенности водного режима, погодные и другие условия произрастания. В суточном рационе питания населения потребление грибов, как правило, невелико. Однако из-за высокого содержания радионуклидов они могут давать существенный вклад в эффективную дозу внутреннего облучения человека.

Важное место в химическом составе грибов принадлежит калию, который, как и цезий, входит в группу щелочных металлов и во многом ведет себя подобно цезию. В силу своих биологических особенностей грибы хорошо поглощают из почвы калий, а вместе с ним и ^{137}Cs, поэтому его содержание в грибах может в 20 раз превышать содержание радионуклида в почве. В значительно меньшей степени (в 90-400 раз) по сравнению с ^{137}Cs грибы усваивают из почвы ^{90}Sr. По способности накапливать радионуклиды грибы можно разделить на четыре группы: *слабо*, *средне*, *сильно накапливающие* и *грибы-аккумуляторы*. Грибы, входящие в состав этих групп, приведены в таблице 1.

Следует отметить, что в шляпках грибов концентрация радионуклидов в 1,5 – 2 раза выше, чем в ножках. Различия в содержании ^{137}Cs в молодых и старых грибах отчетливо не проявляются. Тем не менее, рекомендуется собирать молодые грибы, так как в старых грибах могут накапливаться другие токсичные вещества. Сбор грибов слабо и средне накапливающих радионуклиды рекомендуется проводить в лесах с плотностью загрязнения до 2 Ки/км^2, а грибов-аккумуляторов и грибов, сильно накапливающих радионуклиды — в лесах с плотностью загрязнения до 1 Ки/км^2.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Таблица 1. Классификация грибов по степени накапливания ^{137}Cs

Слабо накапливающие	Средне накапливающие	Сильно накапливающие	Грибы-аккумуляторы
Опенок осенний, опенок зимний, опенок летний, зонтик пестрый, дождевик, вешенка	Лисичка настоящая, рядовка серая, белый гриб, подосиновик красный, подосиновик, подберезовик обыкновенный, подберезовик болотный	Груздь белый, груздь черный, волнушка белая, волнушка розовая, зеленка, сыроежки	Польский гриб, свинушка, масленок, моховик желто-бурый, горькушка

При приготовлении грибов в домашних условиях целесообразно использовать простейшие приемы кулинарной обработки, которые помогут снизить содержание в них *гамма*-излучающих радионуклидов от 2 до 10 раз. К таким простейшим приемам относятся промывка и отваривание грибов в обычной и соленой воде. Если подсоленную воду подкислить уксусом или лимонной кислотой, то при промывке и отваривании выход радионуклидов из грибов в воду увеличиться еще больше.

В соответствии с Республиканскими допустимыми уровнями содержания радионуклидов в пищевых продуктах и питьевой воде (РДУ) содержание ^{137}Cs в свежих грибах не должно превышать 370 Бк/кг, а в сушеных — 2 500 Бк/кг.

Приборы, материалы и методическое обеспечение

– *гамма*-радиометры и спектрометры (любой из перечисленных):
РКГ-АТ 1320 А,
РКГ-01 А и РКГ-02 А,
РУГ-93 СМ,
РУГ-91 М Адани,
РУГ-90 Адани,
радиометр РКГ-02 «Алиот»;
– *гамма*-спектрометр EL 1309;
– *гамма-бета*-спектрометр МКС-АТ 1315;
– весы;
– набор кухонной посуды и кухонных принадлежностей;
– плита кухонная настольная (электрическая или газовая);
– поваренная соль;
– уксус;
– документация по эксплуатации приборов.

***Вариант** 1*

***ЗАДАЧА**: определение удельной активности грибов по ^{137}Cs до и после отваривания в воде; оценка возможности уменьшения содержания ^{137}Cs в грибах в результате кулинарной обработки .*

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Проведение измерений и обработка полученных результатов

1. Взять порцию грибов массой приблизительно 200 – 300 г, очистить от земли и нарезать на куски.
2. Взвесить измерительный сосуд прибора, затем заполнить его грибами и снова взвесить. По разности масс заполненного и пустого сосуда определить массу пробы, взятой для измерения активности. Записать результаты взвешивания в тетрадь. *Ввиду того, что в процессе кулинарной обработки масса грибов может существенно меняться, для расчета удельной активности пробы по ^{137}Cs на всех стадиях ее обработки следует использовать значение исходной массы грибов.*
3. В соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора измерить *гамма*-активность пробы грибов по ^{137}Cs. Записать результат измерения в тетрадь. Рассчитать удельную активность грибов по ^{137}Cs в Бк/кг (формула 1). Сравнить полученный результат с РДУ.[1]
4. *Промывка грибов.* Грибы тщательно промыть в течение 3 – 5 мин. в проточной воде или в большом объеме воды. Измерить *гамма*-активность грибов по ^{137}Cs. Записать результат измерения в тетрадь. Рассчитать удельную активность грибов по ^{137}Cs в Бк/кг.
5. *I отваривание.* Залить грибы 1 л холодной воды. Довести до кипения и варить 10 мин. Отвар слить. Измерить *гамма*-активность грибов по ^{137}Cs. Записать результат измерения в тетрадь. Рассчитать удельную активность грибов по ^{137}Cs в Бк/кг.
6. *II отваривание.* Залить грибы водой, как при I отваривании. Довести до кипения и варить 20 мин. Отвар слить. Измерить *гамма*-активность грибов по ^{137}Cs. Записать результат измерения в тетрадь. Рассчитать удельную активность грибов по ^{137}Cs в Бк/кг.
7. Сравнить полученные результаты. Оценить, во сколько раз после каждой стадии обработки уменьшается удельная активность грибов по ^{137}Cs по сравнению с предыдущей стадией.
8. Оценить конечную удельную активность грибов по ^{137}Cs после всех стадий обработки. Сравнить полученный результат с РДУ.
9. Оформить полученные результаты в виде таблиц 2 – 4 и на их основе сформулировать рекомендации по снижению содержания ^{137}Cs в грибах.

***Вариант** 2*

***ЗАДАЧА**: определение удельной активности грибов по ^{137}Cs до и после отваривании в солевом растворе; оценка возможности уменьшения содержания ^{137}Cs в грибах с помощью кулинарной обработки.*

Проведение измерений и обработка полученных результатов

1. Взять порцию грибов массой приблизительно 200 – 300 г, очистить от земли и нарезать на куски.

[1] При проведении лабораторной работы рекомендуется провести опыты на различных видах грибов, изменяя время их вываривания, количество последовательных вариваний, объем воды и другие условия.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

1. Взвесить измерительный сосуд прибора, затем заполнить его грибами и снова взвесить. По разности масс заполненного и пустого сосуда определить массу пробы, взятой для измерения активности. Записать результаты взвешивания в тетрадь. *Ввиду того, что в процессе кулинарной обработки масса грибов может существенно меняться, для расчета удельной активности пробы по ^{137}Cs на всех стадиях ее обработки следует использовать значение исходной массы грибов.*
2. В соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора измерить *гамма*-активность грибов по ^{137}Cs. Записать результат измерения в тетрадь. Рассчитать удельную активность грибов по ^{137}Cs в Бк/кг (формула 1). Сравнить полученный результат с РДУ.
3. *Промывка грибов*. Грибы тщательно промыть в течение 3 –5 мин. в проточной воде или в большом объеме воды. Измерить *гамма*-активность грибов по ^{137}Cs. Записать результат измерения в тетрадь. Рассчитать удельную активность грибов по ^{137}Cs в Бк/кг.
4. *I отваривание*. Приготовить холодный солевой раствор, добавив на 1 л воды две столовые ложки соли (30 г). Залить грибы приготовленным раствором, довести до кипения и варить 10 мин. Отвар слить. Измерить *гамма*-активность грибов по ^{137}Cs. Записать результат измерения в тетрадь. Рассчитать удельную активность грибов по ^{137}Cs в Бк/кг.
5. *II отваривание*. Приготовить солевой раствор, как для I отваривания, и залить им грибы, довести до кипения и варить 20 мин. Отвар слить. Измерить *гамма*-активность грибов по ^{137}Cs. Записать результат измерения в тетрадь. Рассчитать удельную активность грибов по ^{137}Cs в Бк/кг.
6. Сравнить все полученные результаты. Оценить, во сколько раз после каждой стадии обработки уменьшается удельная активность грибов по ^{137}Cs по сравнению с предыдущей стадий.
7. Оценить, какой стала конечная удельная активность грибов по ^{137}Cs после всех стадий обработки. Сравнить полученный результат с РДУ.
8. Оформить полученные результаты в виде таблиц 2 – 4 и на их основе сформулировать рекомендации по снижению содержания ^{137}Cs в грибах.

***Вариант** 3*

***ЗАДАЧА**: определение удельной активности грибов по ^{137}Cs до и после отваривании в солевом растворе с добавлением уксуса; оценка возможности уменьшения содержания ^{137}Cs в грибах с помощью указанной кулинарной обработки.*

Проведение измерений и обработка полученных результатов

1. Взять порцию грибов массой приблизительно 200 – 300 г, очистить от земли и нарезать на куски.
2. Взвесить измерительный сосуд прибора, затем заполнить его грибами и снова взвесить. По разности масс заполненного и пустого сосуда опре-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

делить массу пробы, взятой для измерения активности. Записать результаты взвешивания в тетрадь. *Ввиду того, что в процессе кулинарной обработки масса грибов может существенно меняться, для расчета удельной активности пробы по ^{137}Cs на всех стадиях ее обработки следует использовать значение исходной массы грибов.*

3. В соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора измерить *гамма*-активность грибов по ^{137}Cs. Записать результат измерения в тетрадь. Рассчитать удельную активность грибов по ^{137}Cs в Бк/кг (формула 1). Сравнить полученный результат с РДУ.
4. *Промывка грибов.* Грибы тщательно промыть в течение 3 – 5 мин. в проточной воде или в большом объеме воды. Измерить *гамма*-активность грибов по ^{137}Cs. Записать результат измерения в тетрадь. Рассчитать удельную активность грибов по ^{137}Cs в Бк/кг.
5. I *отваривание.* Приготовить холодный солевой подкисленный раствор, добавив на 1 л воды 2 столовых ложки соли и 2 столовых ложки уксуса. Залить грибы приготовленным раствором, довести до кипения и варить 10 мин. Отвар слить. Измерить *гамма*-активность грибов по ^{137}Cs. Записать результат измерения в тетрадь. Рассчитать удельную активность грибов по ^{137}Cs в Бк/кг.
6. II *отваривание.* Приготовить раствор, как для I отваривания, и залить им грибы, довести до кипения и варить 20 мин. Отвар слить. Измерить *гамма*-активность грибов по ^{137}Cs. Записать результат измерения в тетрадь. Рассчитать удельную активность грибов по ^{137}Cs в Бк/кг.
7. Сравнить полученные результаты. Оценить, во сколько раз после каждой стадии обработки уменьшается удельная активность грибов по ^{137}Cs по сравнению с предыдущей.
8. Оценить, какой стала конечная удельная активность грибов после всех стадий обработки. Сравнить полученный результат с РДУ.
9. Оформить полученные результаты в виде таблиц 2 – 4 и оценить возможность употребления грибов в пищу после кулинарной обработки.

Таблица 2. *Гамма*-активность грибов по ^{137}Cs до и после различных стадий кулинарной обработки.

Масса грибов, кг	Активность грибов по ^{137}Cs, Бк			
	исходная, Бк	после промывки в проточной воде	после I отваривания (10 мин.)	после II отваривания (20 мин.)

Таблица 3. Удельная *гамма*-активность грибов по ^{137}Cs до и после различных стадий кулинарной обработки.

Стадия обработки	Удельная активность грибов по ^{137}Cs, Бк/кг
Исходная	
После промывки в проточной воде	
После I отваривания	
После II отваривания (конечная)	

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Таблица 4. Уменьшение содержания ^{137}Cs в грибах в результате обработки

Отношение удельных гамма-активностей грибов по ^{137}Cs на разных стадиях обработки			
исходная / после промывки в проточной воде	после промывки в проточной воде / после I отваривания	после I отваривания / после II отваривания	исходная / после II отваривания (после всех стадий обработки)

Пример расчета

1) Исходная масса грибов ($M_{гр.}$)составляет 0,2 кг. Исходная *гамма*-активность грибов по ^{137}Cs ($A_{гр.исх.}$) составляет 100 Бк.
Рассчитаем исходную удельную активность грибов ($A_{гр.исх.\ уд.}$) по формуле (1):

$$A_{гр.исх.уд.} = \frac{100}{0,2} = 500\ (Бк/кг)$$, что больше РДУ = 370 Бк/кг

2) Промоем грибы в проточной воде. Активность грибов после промывки ($A_{гр.пром.}$) составляет 80 Бк. Рассчитаем удельную активность этих грибов после промывки в проточной воде по формуле (1):

$$A_{гр.пром.уд.} = \frac{80}{0,2} = 400\ (Бк/кг)$$

3) Проведем I отваривание: отварим грибы в течение 10 мин в кипящей воде. Активность грибов после I отваривания ($A_{гр.I\ отв.}$) составила 60 Бк. Рассчитаем удельную активность грибов после первого отваривания ($A_{гр.\ I\ отв.\ уд.}$) по формуле (1):

$$A_{гр.\ I\ отв.\ уд.} = \frac{60}{0,2} = 300\ (Бк/кг)$$

4) Проведем II отваривание: снова отварим грибы в течение 20 мин в кипящей воде. Активность грибов после II отваривания ($A_{гр.\ II\ отв.}$) составила 50 Бк. Рассчитаем удельную активность грибов после второго отваривания ($A_{гр.\ II\ отв.\ уд.}$) по формуле (1):

$$A_{гр.\ II\ отв.\ уд.} = \frac{50}{0,2} = 250\ (Бк/кг)$$

1) Заполним таблицы 2 и 3:

Таблица 2. *Гамма*-активность грибов по ^{137}Cs до и после различных стадий кулинарной обработки.

Масса грибов, кг	Активность грибов по ^{137}Cs, Бк			
	исходная, Бк	после промывки в проточной воде	после I отваривания (10 мин.)	после II отваривания (20 мин.)
0,2	100	80	60	50

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Таблица 3. Удельная *гамма*-активность грибов по ^{137}Cs до и после различных стадий кулинарной обработки.

Стадия обработки	Удельная активность грибов по ^{137}Cs, Бк/кг
Исходная	500
После промывки в проточной воде	400
После I отваривания	300
После II отваривания (конечная)	250

1) Оценим уменьшение содержания ^{137}Cs в грибах, которое мы наблюдали на каждой стадии кулинарной обработки.
Возьмем результаты, представленные в таблице 3.
   а) Определим, во сколько раз уменьшилась удельная активность грибов после промывки.
   Исходная удельная активность грибов $A_{гр.\ исх.\ уд.} = 500$ (*Бк/кг*). Удельная активность грибов после промывки $A_{гр.\ пром.\ уд.} = 400$ (*Бк/кг*). Отношение исходной удельной активности грибов к удельной активности грибов после промывки равно:
   $$\frac{A_{гр.исх.уд.}}{A_{гр.пром.уд.}} = \frac{500}{400} = 1,25$$
   б) Определим, во сколько раз уменьшилась удельная активность грибов после I отваривания.
   Удельная активность грибов после промывки $A_{гр.\ пром.\ уд.} = 400$ (*Бк/кг*). Удельная активность грибов после I отваривания $A_{гр.\ I отв.\ уд.} = 300$ (*Бк/кг*). Отношение удельной активности грибов после промывки в проточной воде к удельной активности грибов после I отваривания равно:
   $$\frac{A_{гр.пром.уд.}}{A_{гр.I\ отв.уд.}} = \frac{400}{300} = 1,33$$
   в) Определим, во сколько раз уменьшилась удельная активность грибов после II отваривания.
   Удельная активность грибов после I отваривания $A_{гр.\ I отв.\ уд.} = 300$ (*Бк/кг*). Удельная активность грибов после II отваривания:
   $A_{гр.\ II отв.\ уд.} = 250$ (*Бк/кг*). Отношение удельной активности грибов после I отваривания к удельной активности грибов после II отваривания равно:
   $$\frac{A_{гр.I\ отв.уд.}}{A_{гр.II\ отв.уд.}} = \frac{300}{250} = 1,2$$
   г) Определим, во сколько раз уменьшилась исходная удельная активность грибов после всех стадий кулинарной обработки. Исходная удельная активность грибов $A_{гр.\ исх.\ уд.} = 500$ (*Бк/кг*).
   Удельная активность грибов после II отваривания $A_{гр.\ II отв.\ уд.} = 250$ (*Бк/кг*). Отношение исходной удельной активности грибов к удельной активности грибов после II отваривания равно:

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$\frac{A_{гр.исх.уд.}}{A_{гр.II отв.уд.}} = \frac{500}{250} = 2$$

7) Заполним таблицу 4:

Таблица 4. Уменьшение содержания ^{137}Cs в грибах в результате обработки

Отношение удельных гамма-активностей грибов по ^{137}Cs на разных стадиях обработки			
исходная / после промывки в проточной воде	после промывки в проточной воде / после I отваривания	после I отваривания / после II отваривания	исходная / после II отваривания (после всех стадий обработки)
1,25	1,33	1,2	2

Полученные результаты показывают, что в результате промывки в проточной воде и двух последовательных кипячений в течение 10 и 20 минут исходная удельная активность грибов уменьшилась в 2 раза. Таким образом, удельная активность грибов стала меньше РДУ после промывки и I отваривания. Следовательно, они стали пригодны для употребления в пищу, и дальнейшая специальная обработка для них не требуется.

Контрольные вопросы

1. При каком варианте кулинарной обработки удалось добиться наибольшего снижения содержания ^{137}Cs в грибах?
2. На какой стадии обработки больше ^{137}Cs перешло в раствор: после I или после II отваривания?
3. Как вы думаете, приведет ли увеличение продолжительности отваривания к дополнительному снижению активности грибов по ^{137}Cs?
4. Позволит ли увеличение числа кипячений со сменой раствора дополнительно уменьшить содержание в грибах ^{137}Cs?
5. Какова должна быть максимальная удельная активность грибов по ^{137}Cs, выше которой кулинарная обработка, позволяющая снижать содержание радионуклида в 7 раз, не позволяет получать пищевую продукцию, соответствующую РДУ?

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Лабораторная работа 11 (три варианта)

Тема: **определение содержания ^{137}Cs в овощах и корнеплодах до и после кулинарной обработки**.

Цель работы: *освоить способы кулинарной обработки овощей и корнеплодов, позволяющие снизить содержание радиоактивного цезия; оценить, во сколько раз уменьшается содержание ^{137}Cs в овощах и корнеплодах в зависимости от способа обработки.*

Краткие теоретические сведения

При подготовке к употреблению овощей, выращенных на радиоактивно загрязненных территориях, рекомендуется использовать простейшие приемы первичной очистки, что приводит к снижению уровня радиоактивного загрязнения продуктов от 2 до 10 и более раз. Все овощи следует тщательно промыть в 2 – 3 водах. Такая начальная обработка может снизить поверхностное радиоактивное загрязнение картофеля, томатов, огурцов в 5 – 7 раз. У капусты наиболее загрязнены верхние листья, и если удалить 3 – 4 кроющих листа, то загрязнение капусты может уменьшиться до 40 раз. У свеклы, моркови, турнепса желательно срезать верхний кончик корнеплода, они станут чище в 15 – 20 раз.

После промывки рекомендуется снять с овощей кожуру. Например, удаление кожуры позволяет снизить уровень радиоактивного загрязнения промытого картофеля в 2 раза. В целях дальнейшего уменьшения содержания радионуклидов в овощах полезно отварить их в подсоленной воде (можно с добавлением уксуса или лимонной кислоты). Квашение, маринование, засолка овощей и фруктов приводит к дополнительному снижению содержания радиоактивных веществ в готовых продуктах, при этом рассолы и маринады использовать в пищу не рекомендуется.

В соответствии с Республиканскими допустимыми уровнями содержания радионуклидов в пищевых продуктах и питьевой воде (РДУ) содержание ^{137}Cs в овощах и корнеплодах не должно превышать 100 Бк/кг.

Приборы, материалы и методическое обеспечение

– *гамма*-радиометры и спектрометры (любой из перечисленных):
РКГ-АТ 1320 А,
РКГ-01 А и РКГ-02 А,
РУГ-93 СМ,
РУГ-91 М Адани,
РУГ-90 Адани,
радиометр РКГ-02 «Алиот»,
гамма-спектрометр EL 1309,
гамма-бета-спектрометр МКС-АТ 1315;
– весы;
– набор кухонной посуды и кухонных принадлежностей;
– плита кухонная настольная (электрическая или газовая);
– поваренная соль;

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- уксус;
- документация по эксплуатации приборов.

***Вариант** 1*

***ЗАДАЧА**: определение содержания ^{137}Cs до и после отваривания в воде; оценка возможности уменьшения содержания ^{137}Cs в овощах (корнеплодах) с помощью такой кулинарной обработки .*

Проведение измерений и обработка полученных результатов

1. Взять овощи (например , морковь) в количестве , достаточном для заполнения измерительного сосуда, тщательно очистить их от земли и нарезать на крупные куски. Взвесить измерительный сосуд прибора, затем заполнить его овощами и снова взвесить. По разности масс заполненного и пустого сосуда определить массу пробы, взятой для измерения активности. Записать результат взвешивания в тетрадь. *Ввиду того, что в процессе кулинарной обработки масса овощей может существенно меняться, для расчета удельной активности пробы по ^{137}Cs на всех стадиях её обработки следует использовать значение исходной массы овощей.*
2. Определить *гамма*-активность пробы по ^{137}Cs. Записать результат измерения в тетрадь. Рассчитать удельную активность овощей по ^{137}Cs в Бк/кг (формула 1). Сравнить полученный результат с РДУ.
3. *Промывка овощей.* Овощи тщательно промыть не менее 3 – 5 минут в проточной воде или в большом количестве воды, не допуская потерь пробы. Измерить *гамма*-активность овощей по ^{137}Cs. Записать результат измерения в тетрадь. Рассчитать удельную активность овощей по ^{137}Cs в Бк/кг.
4. *Очистка овощей от кожуры.* Снять с каждого кусочка овощей кожуру. Измерить *гамма*-активность овощей по ^{137}Cs. Записать результат измерения в тетрадь. Рассчитать удельную активность овощей по ^{137}Cs в Бк/кг.
5. *I отваривание.* Залить овощи холодной водой. Довести до кипения и варить 10 мин. Отвар слить. Измерить *гамма*-активность овощей по ^{137}Cs. Записать результат измерения в тетрадь. Рассчитать удельную активность овощей по ^{137}Cs в Бк/кг.
6. *II отваривание.* Залить овощи водой, как при I отваривании, довести до кипения и варить 20 мин. Отвар слить. Измерить *гамма*-активность овощей по ^{137}Cs. Записать результат измерения в тетрадь. Рассчитать удельную активность овощей по ^{137}Cs в Бк/кг. Сравнить полученный результат с РДУ.
7. Оценить, во сколько раз уменьшается удельная активность овощей по ^{137}Cs после каждой обработки по сравнению с предыдущей стадией.
8. Оценить, во сколько раз уменьшается удельная активность овощей по ^{137}Cs после всех стадий обработки по сравнению с исходной.
9. Оформить полученные результаты в виде таблиц 1 — 3.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Вариант *2*

ЗАДАЧА*: определение содержания ^{137}Cs в овощах (корнеплодах) до и после отваривании в солевом растворе; оценка возможности уменьшения содержания ^{137}Cs в овощах (корнеплодах) с помощью такой кулинарной обработки*

Проведение измерений и обработка полученных результатов

1. Взять овощи в количестве, достаточном для заполнения измерительного сосуда прибора, тщательно очистить их от земли и нарезать на крупные куски. Взвесить измерительный сосуд прибора, затем заполнить его овощами и снова взвесить. По разности масс заполненного и пустого сосуда определить массу пробы, взятой для измерения активности. Записать результат взвешивания в тетрадь. *Ввиду того, что в процессе кулинарной обработки масса овощей может существенно меняться, для расчета удельной активности пробы по ^{137}Cs на всех стадиях её обработки следует использовать значение исходной массы овощей.*
2. Определить *гамма*-активность пробы по ^{137}Cs. Записать результат измерения в тетрадь. Рассчитать удельную активность овощей по ^{137}Cs в Бк/кг (формула 1). Сравнить полученный результат с РДУ.
3. *Промывка овощей.* Овощи тщательно промыть в течение 3 – 5 минут в проточной воде или в большом количестве воды. Измерить *гамма*-активность овощей по ^{137}Cs. Записать результат измерения в тетрадь. Рассчитать удельную активность овощей по ^{137}Cs в Бк/кг.
4. *Очистка овощей от кожуры.* Снять с каждого кусочка овощей кожуру. Измерить *гамма*-активность овощей по ^{137}Cs. Записать результат измерения в тетрадь. Рассчитать удельную активность овощей по ^{137}Cs в Бк/кг.
5. *I отваривание.* Приготовить холодный солевой раствор, добавив на 1 л воды две столовых ложки соли (30 г). Залить овощи приготовленным раствором, довести до кипения и варить 10 мин. Отвар слить. Измерить *гамма*-активность овощей по ^{137}Cs. Записать результат измерения в тетрадь. Рассчитать удельную активность овощей по ^{137}Cs в Бк/кг.
6. *II отваривание.* Приготовить раствор, как для I отваривания, и залить им овощи. Довести его до кипения и варить 20 мин. Отвар слить. Измерить *гамма*-активность овощей по ^{137}Cs. Записать результат измерения в тетрадь. Рассчитать удельную активность овощей по ^{137}Cs в Бк/кг. Сравнить полученный результат с РДУ.
7. Оценить, во сколько раз уменьшается удельная активность овощей по ^{137}Cs после каждой стадии обработки по сравнению с предыдущей стадией.
8. Оценить степень снижения удельной активности овощей по ^{137}Cs после всех стадий обработки по сравнению с исходной стадией.
9. Оформить полученные результаты в виде таблиц 1 — 3.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

***Вариант** 3*

***ЗАДАЧА**: определение содержания ^{137}Cs в овощах (корнеплодах) до и после отваривании в солевом растворе с добавлением уксуса; оценка возможности уменьшения содержания ^{137}Cs в овощах (корнеплодах) с помощью такой кулинарной обработки .*

Проведение измерений и обработка полученных результатов

1. Взять овощи в количестве, достаточном для заполнения измерительного сосуда прибора, тщательно очистить их от земли и нарезать на крупные куски. Взвесить измерительный сосуд прибора, затем заполнить его овощами и снова взвесить. По разности масс заполненного и пустого сосуда определить массу пробы, взятой для измерения активности. Записать результат взвешивания в тетрадь. *Ввиду того, что в процессе кулинарной обработки масса овощей может существенно меняться, для расчета удельной активности пробы по ^{137}Cs на всех стадиях её обработки следует использовать значение исходной массы овощей.*
2. Определить *гамма*-активность пробы по ^{137}Cs. Записать результат измерения в тетрадь. Рассчитать удельную активность овощей по ^{137}Cs в Бк/кг (формула 1). Сравнить полученный результат с РДУ.
3. *Промывка овощей.* Овощи тщательно промыть в течение 3 – 5 минут в проточной воде или в большом количестве воды. Измерить *гамма*-активность овощей по ^{137}Cs. Записать результат измерения в тетрадь. Рассчитать удельную активность овощей по ^{137}Cs в Бк/кг.
4. *Очистка овощей от кожуры.* Снять с каждого кусочка овощей кожуру. Измерить *гамма*-активность овощей по ^{137}Cs. Записать результат измерения в тетрадь. Рассчитать удельную активность овощей по ^{137}Cs в Бк/кг.
5. *I отваривание.* Приготовить холодный солевой подкисленный раствор, добавив на 1 л воды 2 столовых ложки соли и 2 столовых ложки уксуса. Залить овощи приготовленным раствором, довести его до кипения и варить 10 мин. Отвар слить. Измерить *гамма*-активность овощей по ^{137}Cs. Записать результат измерения в тетрадь. Рассчитать удельную активность овощей по ^{137}Cs в Бк/кг.
6. *II отваривание.* Приготовить раствор, как для I отваривания, и залить им овощи, довести до кипения и варить 20 мин. Отвар слить. Измерить *гамма*-активность овощей по ^{137}Cs. Записать результат измерения в тетрадь. Рассчитать удельную активность овощей по ^{137}Cs в Бк/кг. Сравнить полученный результат с РДУ.
7. Оценить, во сколько раз уменьшается удельная активность овощей по ^{137}Cs после каждой обработки по сравнению с предыдущей стадией.
8. Оценить, во сколько раз уменьшается удельная активность овощей по ^{137}Cs после всех стадий обработки по сравнению с исходной стадией.
9. Оформить полученные результаты в виде таблиц 1 — 3.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Таблица 1. *Гамма*-активность овощей по ^{137}Cs до и после различных стадий кулинарной обработки.

Масса овощей, кг	Активность овощей по ^{137}Cs, Бк			
	исходная, Бк	после промывки в проточной воде	после I отваривания (10 мин.)	после II отваривания (20 мин.)

Таблица 2. Удельная *гамма*-активность овощей по ^{137}Cs до и после различных стадий кулинарной обработки

Стадия обработки	Удельная активность овощей по ^{137}Cs, Бк/кг
Исходная	
После промывки в проточной воде	
После I отваривания	
После II отваривания (конечная)	

Таблица 3. Уменьшение содержания ^{137}Cs в овощах в результате обработки

Отношение удельных активностей овощей по ^{137}Cs			
исходная / после промывки в проточной воде	после промывки в проточной воде / после I отваривания	после I отваривания / после II отваривания	исходная / после II отваривания (после всех стадий обработки)

Пример расчета

1) Исходная масса овощей ($M_{ов.}$) составляет 0,4 кг. Исходная *гамма*-активность овощей по ^{137}Cs ($A_{ов.\ исх.}$) составляет 52 Бк. Рассчитаем исходную удельную активность овощей ($A_{ов.\ исх.\ уд.}$) по формуле (1):

$$A_{ов.исх.уд.} = \frac{52}{0{,}4} = 130\ (Бк/кг), \quad \text{что больше РДУ} = 100\ \text{Бк/кг}$$

2) Промоем овощи в проточной воде. Активность овощей после промывки ($A_{ов.\ пром.}$) составляет 44 Бк. Рассчитаем удельную активность этих овощей после промывки в проточной воде по формуле (1):

$$A_{ов.пром\,уд.} = \frac{44}{0{,}4} = 110\ (Бк/кг)$$

3) Проведем I отваривание: отварим овощи в течение 10 мин в кипящей воде. Активность овощей после I отваривания ($A_{ов.\ I\ отв.}$) составила 32 Бк. Рассчитаем удельную активность овощей после первого отваривания ($A_{ов.\ I\ отв.\ уд.}$) по формуле (1):

$$A_{ов.\ I\ отв.\ уд.} = \frac{32}{0{,}4} = 80\ (Бк/кг)$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

4) Проведем II отваривание: снова отварим овощи в течение 20 мин в кипящей воде. Активность овощей после II отваривания ($A_{ов.\ II\ отв.}$) составила 28 Бк. Рассчитаем удельную активность овощей после второго отваривания ($A_{ов.\ II\ отв.\ уд.}$) по формуле (1):

$$A_{ов.\ II\ отв.\ уд.} = \frac{28}{0{,}4} = 70\ (Бк/кг)$$

Таблица 2. *Гамма*-активность овощей по ^{137}Cs до и после различных стадий кулинарной обработки.

Масса овощей, кг	Активность овощей по ^{137}Cs, Бк			
	исходная, Бк	после промывки в проточной воде	после I отваривания (10 мин.)	после II отваривания (20 мин.)
0,2	52	44	32	28

Таблица 3. Удельная *гамма*-активность овощей по ^{137}Cs до и после различных стадий кулинарной обработки.

Стадия обработки	Удельная активность овощей по ^{137}Cs, Бк/кг
Исходная	130
После промывки в проточной воде	110
После I отваривания	80
После II отваривания (конечная)	70

5) Оценим уменьшение содержания ^{137}Cs в овощах, которое мы наблюдали на каждой стадии кулинарной обработки.
Возьмем результаты, представленные в таблице 3.

а) Определим, во сколько раз уменьшилась удельная активность овощей после промывки.
Исходная удельная активность овощей $A_{ов.\ исх.\ уд.} = 130\ (Бк/кг)$. Удельная активность овощей после промывки $A_{ов.\ пром.\ уд.} = 110\ (Бк/кг)$. Отношение исходной удельной активности овощей к удельной активности овощей после промывки равно:

$$\frac{A_{ов.исх.уд.}}{A_{ов.пром.уд.}} = \frac{130}{110} \approx 1{,}2$$

б) Определим, во сколько раз уменьшилась удельная активность овощей после I отваривания. Удельная активность овощей после промывки $A_{ов.\ пром.\ уд.} = 110\ (Бк/кг)$. Удельная активность овощей после I отваривания $A_{ов.\ I отв.\ уд.} = 80\ (Бк/кг)$. Отношение удельной активности овощей после промывки в проточной воде к удельной активности овощей после I отваривания равно:

$$\frac{A_{ов.пром.уд.}}{A_{ов.I\ отв.уд.}} = \frac{110}{80} \approx 1{,}4$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

в) Определим, во сколько раз уменьшилась удельная активность овощей после II отваривания. Удельная активность овощей после I отваривания $A_{ов.\ I\ отв.\ уд.}$ = 80 (*Бк/кг*). Удельная активность овощей после II отваривания $A_{ов.\ II\ отв.\ уд.}$ = 70 (*Бк/кг*). Отношение удельной активности овощей после I отваривания к удельной активности овощей после II отваривания равно:

$$\frac{A_{ов.I\ отв.\ уд.}}{A_{ов.II\ отв.\ уд.}} = \frac{80}{70} \approx 1,1$$

г) Определим , во сколько раз уменьшилась исходная удельная активность овощей после всех стадий кулинарной обработки. Исходная удельная активность овощей: $A_{ов.\ исх.\ уд.}$ = 130 (*Бк/кг*). Удельная активность овощей после II отваривания: $A_{ов.\ II\ отв.\ уд.}$ = 70 (*Бк/кг*). Отношение исходной удельной активности овощей к удельной активности овощей после II отваривания равно:

$$\frac{A_{ов.исх.\ уд.}}{A_{ов.II\ отв.\ уд.}} = \frac{130}{70} \approx 1,9$$

6) Заполним таблицу 4:

Таблица 4. Уменьшение содержания ^{137}Cs в овощах в результате обработки

Отношение удельных гамма-активностей грибов по ^{137}Cs на разных стадиях обработки			
исходная / после промывки в проточной воде	после промывки в проточной воде / после I отваривания	после I отваривания / после II отваривания	исходная / после II отваривания (после всех стадий обработки)
1,2	1,4	1,1	1,9

Полученные результаты показывают, что после промывки в проточной воде и двух последовательных кипячений в течение 10 и 20 минут исходная удельная активность овощей уменьшилась почти в 2 раза. Таким образом, удельная активность овощей стала меньше РДУ после промывки и I отваривания. Следовательно, они стали пригодны для употребления в пищу, и дальнейшая специальная обработка для них не требуется.

Контрольные вопросы

1. Сравните все рассмотренные выше варианты обработки овощей: отваривание в воде, в солевом растворе или в солевом растворе с добавлением уксуса. Какой из них наиболее эффективно снижает содержание радиоактивного цезия в овощах?
2. Как вы думаете, при какой удельной активности овощей по ^{137}Cs можно ограничиться их отариванием в воде?

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

3. При какой удельной активности овощей по ^{137}Cs можно использовать способ отваривания в солевом растворе с добавлением уксуса?
4. При какой удельной активности овощей по ^{137}Cs ни один из рассмотренных способов кулинарной обработки не обеспечивает получение продуктов питания, соответствующих РДУ?

Лабораторная работа *12 (два варианта)*

Тема: **определение содержания** ^{137}Cs **в молоке и продуктах его переработки**.

Цель работы: *освоить способы переработки молока, позволяющие снизить содержание радионуклидов в молочных продуктах; оценить, во сколько раз уменьшается содержание* ^{137}Cs *в конечных продуктах в зависимости от способа переработки молока.*[1]

Краткие теоретические сведения

Радионуклиды могут поступать в молоко в результате процессов миграции: радионуклиды могут переходить из почвы в растения, которыми питаются животные, а также поступать в организм животных с другими растительными кормами и далее в молоко.

Если получено молоко с содержанием радионуклидов выше уровня, установленного Республиканскими допустимыми уровнями содержания радионуклидов в пищевых продуктах и питьевой воде (РДУ), то его можно переработать в продукты с более низким содержанием радионуклидов: сливки, сметану, творог, сыры, сливочное и топленое масла. Поскольку радионуклиды цезия и стронция не связаны с жировой частью молока, при его переработке на сливки, сметану, сливочное масло основная часть радионуклидов переходит в пахту и промывную воду. Переработка молока на масло во многих случаях позволяет практически полностью избавиться от радионуклидов.

Получение из загрязненного молока творога, сыра также позволяет получить продукты с более низким содержанием радионуклидов . Соединения некоторых радионуклидов (например , ^{137}Cs) хорошо растворимы в сыворотке, получаемой при свертывании молока. Однако соединения стронция в этих условиях практически не переходят в раствор. Для того чтобы перевести в растворимое состояние труднорастворимые соединения стронция, молоко нужно подкислить лимонной или соляной кислотой. Образующиеся при этом соли стронция хорошо растворимы в воде. Использование кислотного способа приготовления сыров позволяет легко удалять стронций вместе с сывороткой во время прессования.

[1] При переработке молока на сливки, сметану, творог, масло масса полученного молочного продукта существенно ниже (в 3-7 раз) исходной массы молока. Это необходимо помнить при проведении лабораторной работы, чтобы после переработки молока получить достаточное для проведения измерений количество конечного продукта.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

В процессе переработки загрязненного молока до 90 % содержащихся в нем радионуклидов остаются в сыворотке (побочном продукте, получаемом при производстве творога и сыров) и пахте (обезжиренных сливках, являющихся побочным продуктом при сбивании масла), которые следует исключить из употребления в пищу.

В таблице 1 показано, во сколько раз удается уменьшить содержание ^{137}Cs в молочных продуктах при переработке молока в домашних условиях. Чем выше жирность готового продукта (сливок, сметаны, масла), тем меньше радиоактивного цезия в нем остается.

Таблица 1. Степень снижения содержания ^{137}Cs в продуктах переработки молока

Конечный продукт	Снижение содержания ^{137}Cs в продукте по сравнению с молоком
сливки	от 10 до 20 раз
сметана	от 3 до 20 раз
творог	от 4 до 20 раз
сыр (сычужный)	от 8 до 10 раз
сливочное масло	от 3 до 50 раз
топленое масло	от 90 до 100 раз

В соответствии с РДУ содержание ^{137}Cs в молоке и молочных продуктах не должно превышать 100 Бк/л, в твороге и сырах — 50 Бк/кг, в сливочном масле — 100 Бк/кг.

Приборы, материалы и методическое обеспечение

– *гамма*-радиометры и спектрометры (любой из перечисленных):
РКГ-АТ 1320 А,
РКГ-01 А и РКГ-02 А,
РУГ-93 СМ,
РУГ-91 М Адани,
РУГ-90 Адани,
радиометр РКГ-02 «Алиот»,
гамма-спектрометр EL 1309,
гамма-бета-спектрометр МКС-АТ 1315;
– весы;
– набор кухонной посуды и кухонных принадлежностей;
– плита кухонная настольная (электрическая или газовая);
– сепаратор;
– уксус;
– документация по эксплуатации приборов.

Вариант *1*

ЗАДАЧА*: определение содержания ^{137}Cs в молоке и полученном из него твороге; оценка возможности уменьшения содержания ^{137}Cs в молочных продуктах в результате переработки на творог.*

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Проведение измерений и обработка полученных результатов

1. Измерить объем молока, предназначенного для анализа. Записать результат измерения в тетрадь.
2. В соответствии с инструкцией используемого прибора измерить *гамма*-активность молока по ^{137}Cs. Записать результат измерения в тетрадь. Рассчитать объемную активность молока по ^{137}Cs в Бк/л (по формуле 2) и удельную активность молока (по формуле 1, приняв плотность молока равной 1 г/см^3). Сравнить полученный результат с РДУ.
3. Переработать молоко на творог: добавить к молоку несколько капель уксуса и поставить его на 30 мин. на водяную баню (в кастрюлю с горячей водой).
4. Полученный творог взвесить. Записать результат взвешивания в тетрадь.
5. Измерить *гамма*-активность творога по ^{137}Cs. Записать результат измерения в тетрадь.
6. Рассчитать активность творога по ^{137}Cs в Бк/кг (по формуле 1). Сравнить полученный результат с РДУ для творога и творожных изделий.
7. Оценить во сколько раз удельная активность полученного творога по ^{137}Cs меньше исходной активности молока, из которого был получен творог.
8. Оформить полученные результаты в виде таблиц 2 и 3. В таблицу 2 записать полученные **в результате измерений** активности исследованных продуктов по ^{137}Cs (Бк). В таблице 3 привести полученные **расчетным** путём величины объёмной активности молока (Бк/л) и удельных активностей молока и творога по ^{137}Cs (Бк/кг), результаты оценки уменьшения содержания радионуклида в твороге, а также результаты сравнения удельных активностей исходного молока и полученного из него творога с РДУ.

Таблица 2. Результаты измерения *гамма*-активности молока полученных из него продуктов по ^{137}Cs

Молоко		Творог	
Объем, л	Активность по ^{137}Cs, Бк	Вес, кг	Активность по ^{137}Cs, Бк

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Таблица 3. Содержание ^{137}Cs в молоке и полученных из него продуктах.

Объемная активность молока по ^{137}Cs, Бк/л	
Удельная активность молока по ^{137}Cs, Бк/кг	
Удельная активность творога по ^{137}Cs, Бк/кг	
Во сколько раз исходная объемная активность молока по ^{137}Cs отличается от РДУ	
Во сколько раз удельная активность полученного творога по ^{137}Cs отличается от РДУ	
Во сколько раз активность творога по ^{137}Cs меньше активности молока, из которого он получен	

Пример расчета

1)

Рассчитаем объемную активность молока ($A_{м.\,об.}$, Бк/л) по формуле 2:
Исходный объем молока ($V_{м.\,исх.}$) составляет 0,5 *л*.
Исходная активность молока ($A_{м.\,исх.}$) составляет 75 *Бк*.

$$A_{м.об.} = \frac{75\ Бк}{0{,}5\ л} = 150\ (Бк/л),$$ что выше РДУ в 1,5 раза

2) Рассчитаем удельную активность молока ($A_{м.\,уд.}$, Бк/кг) по формуле (1):
Примем плотность молока равной 1 г/см^3. Рассчитаем исходную массу молока $M_{м.\,исх.}$ Исходный объем молока равен 0,5 л или 500 см

$$M_{м.\,исх.} = V_{м.\,исх.} \cdot \rho \qquad (3)$$

Подставив численные значения в формулу (3), получаем:

$$M_{м.\,исх.} = 500\ см^3 \cdot 1\ г/см^3 = 0{,}5\ (кг)$$

Исходная активность молока ($A_{м.\,исх.}$) составляет 75 *Бк*.
Подставив численные значения в формулу 1, получаем:

$$A_{м.\,уд.} = \frac{75\ Бк}{0{,}5\ кг} = 150\ (Бк/кг)$$

3) Рассчитаем удельную активность творога ($A_{тв.\,уд.}$, Бк/кг) по формуле (1):
Полученная масса творога ($M_{тв.}$) составляет 0,1 кг.
Активность полученного творога ($A_{тв.}$) составляет 4 Бк.

$$A_{тв.\,уд.} = \frac{4\ Бк}{0{,}1\ кг} = 40\ (Бк/кг),$$ что меньше РДУ в 1,25 раза

4) Оценим, во сколько раз активность творога ($A_{тв.}$, Бк) меньше активности молока ($A_{м.\,исх.}$, Бк).

Активность молока составляет 75 *Бк*.

Активность полученного творога составляет 4 *Бк*.

Следовательно, активность творога меньше исходной активности молока в 18,75 раза.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Вывод: исходная удельная (объемная) активность молока составляет 150 *Бк/кг* (150 *Бк/л*), что больше РДУ для молока и цельномолочных продуктов в 1,5 раза. Удельная активность творога, полученного из этого молока, составила 40 *Бк/кг*, что меньше РДУ для творога и творожных изделий в 1,25 раза. Следовательно, переработка молока на творог позволила получить продукт пригодный для употребления в пищу.

Вариант *2*

ЗАДАЧА*: определение содержания* ^{137}Cs *в молоке и полученных из него сливках; оценка возможности уменьшения содержания* ^{137}Cs *в молочных продуктах в результате переработки в более жирные продукты*.

Проведение измерений и обработка полученных результатов

1. Определить объём измерительного сосуда прибора. Записать результат в тетрадь.
2. В соответствии с инструкцией используемого прибора измерить *гамма*-активность молока по ^{137}Cs. Записать результат измерения в тетрадь. Рассчитать объемную активность молока по ^{137}Cs в Бк/л (по формуле 2). Сравнить полученный результат с РДУ для молока и цельномолочной продукции.
3. Переработать молоко на сливки с помощью сепаратора.
4. Измерить объём полученных сливок. Записать результат измерения в тетрадь.
5. Измерить *гамма*-активность сливок по ^{137}Cs. Записать результат измерения в тетрадь. Рассчитать объемную активность сливок по ^{137}Cs в Бк/л (по формуле 2). Сравнить полученный результат с РДУ для цельномолочной продукции.
6. Оценить во сколько раз активность полученных сливок по ^{137}Cs уменьшилась по сравнению с исходной активностью молока.
7. Оформить полученные результаты в виде таблиц 4 и 5. В таблицу 4 записать полученные **в результате измерений** активности исследованных продуктов по ^{137}Cs (Бк). В таблице 5 привести полученные **расчетным** путём величины объёмных активностей молока и сливок по ^{137}Cs (Бк/л), результаты оценки уменьшения содержания радионуклида в сливках, а также результаты сравнения объемных активностей исходного молока и полученных из него сливок с РДУ.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Таблица 4. Результаты измерения *гамма*-активности молока и полученных из него продуктов по ^{137}Cs

Молоко		Сливки	
Объем , л	Активность по ^{137}Cs, Бк	Объем , л	Активность по ^{137}Cs, Бк

Таблица 5. Содержание ^{137}Cs в молоке и полученных из него продуктах.

Объемная активность молока по ^{137}Cs, Бк/л	
Объемная активность сливок по ^{137}Cs, Бк/л	
Во сколько раз объемная активность молока по ^{137}Cs отличается от РДУ	
Во сколько раз объемная активность полученных сливок по ^{137}Cs отличается от РДУ для молока и цельномолочной продукции	
Во сколько раз активность сливок по ^{137}Cs меньше активности молока, из которого они получены	

Пример расчета

1) Рассчитаем объемную активность молока ($A_{м.\,об.}$, Бк/л) по формуле 2:

Исходный объем молока ($V_{м.\,исх.}$) составляет 0,5 *л*.

Исходная активность молока ($A_{м.\,исх.}$) составляет 75 *Бк*.

$$A_{м.об.} = \frac{75\ Бк}{0{,}5\ л} = 150\ (Бк/л),$$ что выше РДУ в 1,5 раза

2) Рассчитаем объемную активность полученных сливок ($A_{сл.\,об.}$, Бк/л) по формуле (2):

Полученный объем сливок ($V_{сл.}$) составляет 0,2 *л*.

Активность полученных сливок ($A_{сл.}$) составляет 16 *Бк*.

$$A_{м.об.} = \frac{16\ Бк}{0{,}2\ л} = 80\ (Бк/л),$$ что меньше РДУ в 1,25 раза

3) Оценим, во сколько раз активность сливок ($A_{сл.}$, Бк) меньше активности молока ($A_{м.\,исх.}$, Бк).

Активность молока составляет 75 *Бк*.

Активность полученных сливок составляет 16 *Бк*.

Следовательно, активность сливок меньше исходной активности молока почти в 4,7 раза.

Вывод: исходная объемная активность молока составляет 150 *Бк/л*, что больше РДУ для молока и цельномолочных продуктов в 1,5 раза. Объемная активность сливок, полученных из этого молока, составила 80 *Бк/л*, что меньше РДУ для молока и цельномолочной продукции в 1,25 раза. Следовательно , переработка молока на сливки позволила получить продукт пригодный для употребления в пищу.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Контрольные вопросы

1. Как вы думаете, при какой исходной удельной (объемной) активности молока необходима его переработка на молочные продукты?
2. При какой исходной удельной (объемной) активности молока можно ограничиться его переработкой на сливки или сметану, а при какой следует перерабатывать на масло?

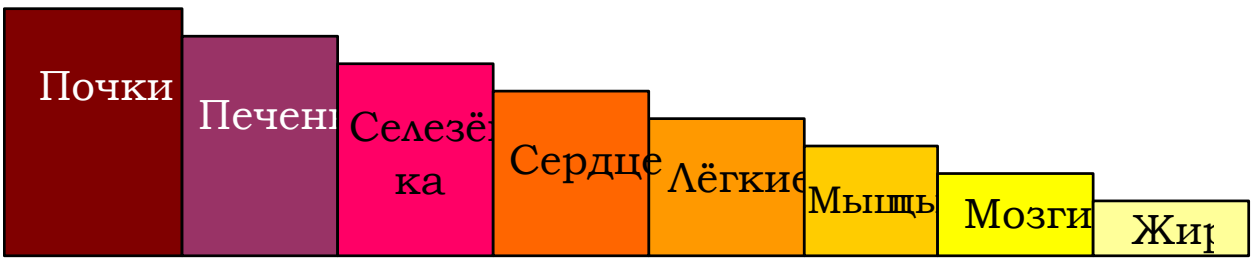
Лабораторная работа *13 (два варианта)*

Тема: **определение содержания** ^{137}Cs **в мясе до и после кулинарной обработки**.

Цель работы: *освоить способы кулинарной обработки мяса, позволяющие снизить содержание радионуклидов; оценить во сколько раз уменьшается содержания* ^{137}Cs *в мясе в зависимости от способа обработки.*

Краткие теоретические сведения

При попадании в организм животных, мясо которых человек употребляет в пищу, радионуклиды разной химической природы неодинаковым образом распределяются между органами и тканями. Так, ^{137}Cs накапливается преимущественно в мягких тканях, а ^{90}Sr — в костной ткани животных. В организме животных даже один и тот же радионуклид распределяется неравномерно. Например, различные органы и ткани животных могут быть расположены в порядке снижения способности накапливать ^{137}Cs в следующим образом:



Как правило, в свинине содержится значительно меньше радионуклидов, чем в баранине, говядине, мясе птицы и диких животных.

При приготовлении в домашних условиях мяса, загрязнённого радиоактивным цезием, содержание в нем радионуклида можно уменьшить в несколько раз. Для этого перед кулинарной обработкой мясного сырья следует удалить участки соединительной ткани, а затем тщательно вымыть мясо. Наибольшего снижения содержания радионуклидов удается добиться при вымачивании мяса в воде или в растворе поваренной соли. При этом, чем мельче нарезано мясо и продолжительнее вымачивание, тем больше радиоактивных веществ переходит в раствор.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Однако следует иметь в виду, что при вымачивании сильно измельченного мяса может быть потеряно до 36 % питательных веществ. Чтобы избежать подобных потерь, в соленую воду рекомендуется добавлять немного уксусной эссенции или аскорбиновой кислоты.

Уровень радиоактивного загрязнения мяса можно значительно уменьшить посредством засолки в специально приготовленном рассоле. Наибольший эффект достигается при нарезке мяса на куски и многократной смене солевого раствора, в который переходит ^{137}Cs. Содержание радиоактивных веществ в мясе можно снизить и при обычном отваривании. Для этого в процессе варки первый бульон после 10 минут кипячения следует сливать. При использовании для приготовления первых блюд мясокостного бульона необходимо учитывать, что в процессе варки из мяса в раствор переходит более 50 % радионуклидов, а из костей — порядка 1 %.

В таблице 1 показано, во сколько раз удается уменьшить содержание ^{137}Cs в мясных продуктах после соответствующей кулинарной обработки.

Таблица 1. Снижение содержания ^{137}Cs в мясных продуктах при разных способах переработки сырья

Способ переработки	Снижение содержания ^{137}Cs в получаемом продукте
Отваривание в течение 30 – 40 минут	от 3 до 6 раз
Приготовление жаркого	в 2 раза
Вымачивание и засолка мяса с четырехкратной сменой рассола	от 3 до 10 раз
Промывка в проточной воде или в растворе поваренной соли в течение 6 – 12 часов	от 1,5 до 3 раз

В соответствии с Республиканскими допустимыми уровнями содержания радионуклидов в пищевых продуктах и питьевой воде (РДУ) содержание ^{137}Cs в говядине и баранине не должно превышать 500 Бк/кг, в свинине и птице — 180 Бк/кг.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Приборы, материалы и методическое обеспечение:

– *гамма*-радиометры и спектрометры (любой из перечисленных):
  РКГ-АТ 1320 А,
  РКГ-01 А и РКГ-02 А,
  РУГ-93 СМ,
  РУГ-91 М Адани,
  РУГ-90 Адани,
  радиометр РКГ-02 «Алиот»,
  гамма-спектрометр EL 1309,
  гамма-бета-спектрометр МКС-АТ 1315;
– весы;
– набор кухонной посуды и кухонных принадлежностей;
– плита кухонная настольная (электрическая или газовая);
– поваренная соль;
– документация по эксплуатации приборов.

***Вариант** 1*

***ЗАДАЧА**: определение содержания ^{137}Cs в мясе до и после вымачивания; оценка возможности уменьшения содержания ^{137}Cs в мясе в результате такой обработки.*

Проведение измерений и обработка полученных результатов[1]

1. Взять около 0,5 — 1,0 кг мяса. Нарезать на куски.
2. Взвесить измерительный сосуд прибора, затем поместить в него нарезанные куски мяса и снова взвесить. По разности масс заполненного и пустого сосуда определить массу пробы, взятой для измерения активности. Записать результат взвешивания в тетрадь.
3. Измерить *гамма*-активность пробы по ^{137}Cs. Записать результат измерения в тетрадь. Рассчитать удельную активность мяса по ^{137}Cs в Бк/кг (формула 1). Сравнить полученный результат с РДУ для данного вида мяса. *При расчете удельной активности мяса по ^{137}Cs на всех стадиях вымачивания следует использовать значение массы исходного продукта, поскольку в процессе кулинарной обработки масса мяса может существенно меняться.*
4. *I вымачивание.* Приготовить холодный солевой раствор, добавив на 1 л воды 2 столовых ложки соли (30 г).[2] Вымачивать мясо в течение 30 минут. Раствор слить. Измерить *гамма*-активность мяса по ^{137}Cs. Записать результат измерения в тетрадь. Рассчитать удельную активность мяса по ^{137}Cs в Бк/кг (формула 1).
5. *II вымачивание.* Приготовить раствор, как для I вымачивания, и залить им мясо. Вымачивать мясо в течение 30 минут. Раствор слить.

[1] При проведении работы рекомендуется поэкспериментировать на различных видах мяса, меняя объем воды или солевого раствора, продолжительность обработки (вымачивания, вываривания) и т. д.

[2] Одна группа учеников может использовать воду, другая – солевой раствор, а после завершения работы сравнить результаты, полученные в двух группах.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

6. Измерить *гамма*-активность мяса по ^{137}Cs. Записать результат измерения в тетрадь. Рассчитать удельную активность мяса по ^{137}Cs в Бк/кг (формула 1).
7. *III вымачивание*. Приготовить раствор, как для I вымачивания, и залить им мясо. Вымачивать мясо в течение 60 минут. Раствор слить. Измерить *гамма*-активность мяса по ^{137}Cs. Записать результат измерения в тетрадь Рассчитать удельную активность мяса по ^{137}Cs в Бк/кг (формула 1). Сравнить полученный результат с РДУ.
8. Сравнить полученные в результате расчётов удельные активности мяса по ^{137}Cs на разных этапах кулинарной обработки. Оценить, во сколько раз уменьшается удельная активность мяса после каждой обработки по сравнению с предыдущей стадией.
9. Оформить полученные результаты в виде таблиц 2 – 4. В таблицу 2 записать значения активностей, полученные в результате **измерений** содержания ^{137}Cs в мясе (Бк). В таблице 3 привести полученные **расчетным** путём величины удельных активностей мяса по ^{137}Cs на разных стадиях обработки (Бк/кг).
10. Сформулировать выводы об оптимальных способах кулинарной обработки мяса и мясных продуктов перед употреблением в пищу.

Таблица 2. *Гамма*-активность мяса по ^{137}Cs до и после различных стадий кулинарной обработки

Масса мяса, кг	Активность мяса по ^{137}Cs после обработки, Бк			
	исходная	после I вымачивания в течение 30 минут	после II вымачивания в течение 30 минут	после III вымачивания в течение 60 минут

Таблица 3. Удельная *гамма*-активность мяса по ^{137}Cs до и после различных стадий кулинарной обработки

Стадия обработки	Удельная активность мяса по ^{137}Cs, Бк/кг
Исходная	
После I вымачивания	
После II вымачивания	
После III вымачивания (конечная)	

Таблица 4. Снижение содержания ^{137}Cs в мясе в результате кулинарной обработки

Отношение удельных *гамма*-активностей мяса по ^{137}Cs на разных стадиях кулинарной обработки			
исходная / после I вымачивания	после I вымачивания / после II вымачивания	после II вымачивания / после III вымачивания	исходная / после III вымачивания

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

***Вариант** 2*

***Задача**: определение содержания ^{137}Cs в мясе до и после отваривния; оценка возможности снижения содержания ^{137}Cs в мясе в результате такой кулинарной обработки.*

Проведение измерений и обработка полученных результатов

1. Взять около 0,5 — 1,0 кг мяса. Нарезать его на куски.
2. Взвесить измерительный сосуд прибора, затем поместить в него нарезанные куски мяса и снова взвесить. По разности масс заполненного и пустого сосуда определить массу пробы, взятой для измерения активности. Записать результат взвешивания в тетрадь.
3. Измерить *гамма*-активность пробы по ^{137}Cs. Записать результат измерения в тетрадь. Рассчитать удельную активность мяса по ^{137}Cs в Бк/кг (формула 1). Сравнить полученный результат с РДУ для данного вида мяса. *При расчете удельной активности мяса по ^{137}Cs на всех стадиях отваривания следует использовать значение исходной массы продукта, поскольку в процессе кулинарной обработки масса мяса может существенно меняться.*
4. *I отваривание.* Приготовить холодный солевой раствор, добавить на 1 л воды 2 столовых ложки соли (30 г).[1] Поместить мясо в кастрюлю, залить его приготовленным раствором и довести до кипения. Варить 10 минут. Бульон слить. Измерить *гамма*-активность мяса по ^{137}Cs. Записать результат измерения в тетрадь. Рассчитать удельную активность мяса по ^{137}Cs в Бк/кг (формула 1).
5. *II отваривание.* Приготовить раствор, как для I отваривания, залить им мясо и довести до кипения. Варить 20 минут. Бульон слить. Измерить *гамма*-активность мяса по ^{137}Cs. Записать результат измерения в тетрадь. Рассчитать удельную активность мяса по ^{137}Cs в Бк/кг (формула 1).
6. *III отваривание.* Приготовить раствор, как для I отваривания, залить им мясо и довести до кипения. Варить 30 минут. Бульон слить. Измерить *гамма*-активность мяса по ^{137}Cs. Записать результат измерения в тетрадь. Рассчитать удельную активность мяса по ^{137}Cs в Бк/кг (формула 1). Сравнить полученный результат с РДУ.
7. Оценить, во сколько раз уменьшается удельная *гамма*-активность мяса по ^{137}Cs после каждой обработки, по сравнению с предыдущей стадией.
8. Оформить полученные результаты в виде таблиц 5 – 7. В таблицу 5 записать значения активностей, полученные в результате **измерений** содержания ^{137}Cs в мясе (Бк). В таблице 6 привести полученные **расчетным** путём величины удельных активностей мяса по ^{137}Cs на разных стадиях обработки (Бк/кг).
9. Сформулировать рекомендации по снижению удельной активности мяса с помощью различных способов кулинарной обработки.

[1] Одна группа учеников может использовать воду, другая – солевой раствор, а после завершения работы сравнить результаты, полученные в двух группах

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Таблица 5. *Гамма*-активность мяса по ^{137}Cs до и после различных стадий кулинарной обработки.

Масса мяса, кг	Активность мяса по ^{137}Cs после обработки, Бк			
	исходная	после I отваривания в течение 10 минут	после II отваривания в течение 20 минут	после III отваривания в течение 30 минут

Таблица 6. Удельная *гамма*-активность мяса по ^{137}Cs до и после различных стадий кулинарной обработки.

Стадия обработки	Удельная активность мяса по ^{137}Cs, Бк/кг
Исходная	
После I отваривания	
После II отваривания	
После III отваривания (конечная)	

Таблица 7. Снижение содержания ^{137}Cs в мясе в результате кулинарной обработки.

Отношение удельных *гамма*-активностей мяса по ^{137}Cs на разных стадиях кулинарной обработки			
исходная / после I отваривания	после I отваривания / после II отваривания	после II отваривания / после III отваривания	исходная / после III отваривания

Пример расчета

1) Исходная масса говядины ($M_г$) составляет 0,3 кг. Исходная *гамма*-активность этого мяса по ^{137}Cs ($A_{г.\,исх.}$) составляет 180 Бк.

Рассчитаем исходную удельную активность говядины ($A_{г.\,исх.\,уд.}$) по формуле (1):

$$A_{г.исх.\,уд.} = \frac{180}{0{,}3} = 600\ (Бк/кг),$$ что больше ПДК = 500 Бк/кг

2) Проведем I отваривание: отварим мясо в течение 10 мин в кипящей воде. Активность говядины после I отваривания ($A_{г.\,I отв.}$) составила 90 Бк. Рассчитаем удельную активность исследуемого мяса после первого отваривания ($A_{г.\,I отв.\,уд.}$) по формуле (1):

$$A_{г.\,I\,отв.\,уд.} = \frac{90}{0{,}3} = 300\ (Бк/кг)$$

3) Проведем II отваривание: снова отварим говядину в течение 20 мин в кипящей воде. Активность мяса после II отваривания ($A_{г.\,II отв.}$) составила 60 Бк. Рассчитаем удельную активность исследуемой говядины после второго отваривания ($A_{г.\,II отв.\,уд.}$) по формуле (1):

$$A_{г.\,II\,отв.\,уд.} = \frac{60}{0{,}3} = 200\ (Бк/кг)$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

4) Проведем III отваривание: отварим мясо в течение 30 мин в кипящей воде. Активность говядины после III отваривания ($A_{г.\ III отв.}$) составила 45 Бк. Рассчитаем удельную активность исследуемого мяса после третьего отваривания ($A_{г.\ III\ отв.\ уд.}$) по формуле (1):

$$A_{г.\ III\ отв.\ уд.} = \frac{45}{0{,}3} = 150\ (Бк/кг)$$

5) Заполним таблицы 5 и 6:

Таблица 5. *Гамма*-активность мяса по ^{137}Cs до и после различных стадий кулинарной обработки.

Масса мяса, кг	Активность мяса по ^{137}Cs после обработки, Бк			
	исходная	после I отваривания в течение 10 минут	после II отваривания в течение 20 минут	после III отваривания в течение 30 минут
0,3	180	90	60	45

Таблица 6. Удельная *гамма*-активность мяса по ^{137}Cs до и после различных стадий кулинарной обработки.

Стадия обработки	Удельная активность мяса по ^{137}Cs, Бк/кг
Исходная	600
После I отваривания	300
После II отваривания	200
После III отваривания (конечная)	150

6) Оценим уменьшение содержания ^{137}Cs в исследуемой говядине, которое мы наблюдали на каждой стадии кулинарной обработки. Возьмем результаты, представленные в таблице 6.

а) Определим, во сколько раз уменьшилась удельная активность мяса после I отваривания.

Исходная удельная активность говядины $A_{г.\ исх.\ уд.} = 600\ (Бк/кг)$. Удельная активность мяса после I отваривания $A_{г.\ I отв.\ уд.} = 300\ (Бк/кг)$. Отношение исходной удельной активности говядины к удельной активности этого мяса после I отваривания равно:

$$\frac{A_{г.исх.уд.}}{A_{г.I\ отв.уд.}} = \frac{600}{300} = 2$$

б) Определим, во сколько раз уменьшилась удельная активность говядины после II отваривания. Удельная активность мяса после I отваривания $A_{г.\ I отв.\ уд.} = 300\ (Бк/кг)$. Удельная активность говядины после II отваривания $A_{г.\ II\ отв.\ уд.} = 200\ (Бк/кг)$. Отношение удельной активности говядины после I отваривания к удельной активности исследуемого мяса после II отваривания равно:

$$\frac{A_{г.I\ отв.\ уд.}}{A_{г.II\ отв.\ уд.}} = \frac{300}{200} = 1{,}5$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

в) Определим, во сколько раз уменьшилась удельная активность говядины после III отваривания. Удельная активность мяса после II отваривания $A_{г.\ II\ \ отв.\ \ уд.}$ = 200 (*Бк / кг*). Удельная активность исследуемой говядины после III отваривания $A_{г.\ III\ \ отв.\ уд.}$ = 150 (*Бк/кг*). Отношение удельной активности говядины после II отваривания к удельной активности этого мяса после III отваривания равно:

$$\frac{A_{г.\,II\,отв.\,уд.}}{A_{г.\,III\,отв.\,уд.}} = \frac{200}{150} \approx 1{,}3$$

г) Определим, во сколько раз уменьшилась исходная удельная активность говядины после всех стадий кулинарной обработки. Исходная удельная активность мяса $A_{г.\ \ исх.\ \ уд.}$ = 600 (*Бк/кг*). Удельная активность исследуемой говядины после III отваривания $A_{г.\ III\ \ отв.\ \ уд.}$ = =150 (*Бк/кг*). Отношение исходной удельной активности говядины к удельной активности этого мяса после III отваривания равно:

$$\frac{A_{г.\,исх.\,уд.}}{A_{г.\,III\,отв.\,уд.}} = \frac{600}{150} = 4$$

7) Заполним таблицу 7:

Таблица 7. Снижение содержания ^{137}Cs в мясе в результате кулинарной обработки.

Отношение удельных *гамма*-активностей мяса по ^{137}Cs на разных стадиях кулинарной обработки			
исходная / после I отваривания	после I отваривания / после II отваривания	после II отваривания / после III отваривания	исходная / после III отваривания
2	1,5	1,3	4

Полученные результаты показывают, что в результате трех последовательных кипячений в течение 10, 20 и 30 минут исходная удельная активность исследованной говядины уменьшилась в 4 раза. Удельная активность этого мяса стала меньше РДУ после I отваривания. Следовательно, оно стало пригодным для употребления в пищу, и дальнейшая специальная обработка для него не требуется.

Контрольные вопросы

1. Как вы думаете, при какой удельной активности мяса только с помощью вымачивания можно снизить содержание ^{137}Cs до уровня, рекомендованного РДУ?

2. Какой из рассмотренных способов кулинарной обработки наиболее эффективен для снижения содержания ^{137}Cs в мясе?

3. Приведет ли увеличение продолжительности вымачивания или отваривания мяса к увеличению степени снижения содержания ^{137}Cs в готовом продукте?

4. Возрастет ли эффективность переработки, если вначале мясо вымочить, а затем отварить?

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

ФОРМЫ И МЕТОДЫ ВНЕУРОЧНОЙ РАБОТЫ ПО РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОМУ ВОСПИТАНИЮ УЧАЩИХСЯ

Глава 15

Ключевые слова и словосочетания: игра, совместная деятельность детей и взрослых, позитивное отношение к жизни, радиоэкологическое воспитание, радиоактивное загрязнение, радиопротектор, Красная книга

Изучив главу...



Вы ознакомитесь с методикой внеурочной работы по радиоэкологическому воспитанию учащихся, которая основана на игровых формах и приемах, являющихся эффективными способами закрепления и практического применения полученных школьниками на уроках радиоэкологических знаний

15.1. *Игры*



Среди форм и методов обучения и воспитания, обеспечивающих усвоение новых знаний и опыта, особое место занимает игра. Использование игры особенно важно в радиоэкологическом образовании учащихся.

Во-первых, участие школьников в игровой деятельности способствует обогащению их системы ценностей, развитию эмоциональной сферы растущей личности, творческих способностей, ответственности за принятое решение.

Во-вторых, применение игровых форм и приемов позволяет снизить их умственную нагрузку и эмоциональное напряжение в сложном процессе овладения радиоэкологическими знаниями и умениями, придать этому процессу личностно значимый характер. Кроме того, применение игровых форм способствует развитию у учащихся фантазии, нестандартного мышления, наблюдательности, радостного восприятия окружающего мира.

Игра приучает ребенка к умственному труду, развивает логическое мышление, что немаловажно в условиях, где каждому проживающему на загрязненной территории надо знать и уметь применять меры предосторожности.

Основными целями представленных ниже игр является формирование и закрепление у учащихся радиоэкологических знаний и умений; развитие общей экологической культуры, что будет содействовать развитию инициативы учащихся в организации безопасной жизнедеятельности в условиях повышенного радиационного риска.

Игра-путешествие в мир радиоэкологии

Методика

Педагог играет роль специалиста-радиоэколога и на доступном уровне вводит детей в мир радиоэкологии. Детям предлагается перечень вопросов, отвечая на которые педагог вместе с детьми составляет простейшую радиоэкологическую азбуку, формирует у них соответству-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



ющие радиоэкологические знания и умения, побуждает учащихся к анализу, сравнению и обобщению полученных знаний, поиску новой информации или решения, постановке вопросов или проблем.

Ход игры

Вступительное слово педагога

В чудесный , по-летнему теплый весенний день в один из красивейших уголков мира пришла беда. В результате катастрофы на Чернобыльской атомной электростанции произошло загрязнение территории Республики Беларусь радиоактивными веществами . Вследствие этого загрязненные поля и пашни, дары лесов и водоемов стали источником дополнительного радиоактивного облучения людей.

С тех пор каждого жителя белорусской земли волнует вопрос: как защитить организм от длительного воздействия малых доз радиации? Ответить на этот и многие другие вопросы могут специалисты в области радиоэкологии. От них мы узнали много полезной информации, которой решили поделиться с вами.

Примерный перечень вопросов для обсуждения

- Давно ли существует радиация?
- Как устроены вещества?
- Разве изотопы имеют отношение к радиации?
- Где находятся радиоактивные изотопы, какие они?
- Может ли естественный радиационный фон быть опасным?
- Какие вы знаете радиоактивные изотопы, формирующие естественный радиационный фон?
- Правда ли, что в медицине для лечения некоторых заболеваний используются радоновые ванны?
- Встречаются ли радиоактивные элементы внутри организма человека?
- Почему человек не ощущает естественный радиационный фон?
- Если есть естественный радиационный фон, значит должен быть и искусственный… Что такое искусственный радиационный фон?
- Какие частицы выделяются при распаде ядер? Какое действие эти частицы оказывают на живые организмы?
- Чем опасны заряженные частицы для человека?
- Что такое радиоактивное загрязнение? Должно ли оно нас беспокоить?

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- Многие люди любят собирать грибы. Этот продукт по питательной ценности не уступает мясу, содержит почти все незаменимые аминокислоты. Можно ли собирать грибы в лесах Беларуси?
- Если радионуклиды содержатся в почве, значит, они могут поступать в растения вместе с водой. А загрязненные растения могут съесть животные и человек…
- Видимо, как и грибы, растения по-разному накапливают радионуклиды?
- А как распределяются радионуклиды в организме животных?
- Что нужно делать, чтобы уменьшить поступление радионуклидов в организм человека с продуктами питания?
- Разве человек не может создать эффективные способы защиты от радиации?

Ролевая игра «Академия занимательных биологических наук»

Методика

Учащимся предлагается сыграть роли специалистов-радиоэкологов, которые готовят выступления на симпозиуме. Президент произносит приветственную речь и представляет ученый совет (жюри) и оппонентов.



Путем жеребьевки определяется состав групп. Каждой группе предлагается текст (по выбору). В нём пропущены слова (словосочетания), отражающие суть конкретной проблемы.

Каждый играющий получает текст и заполняет пропуски. После коллективного обсуждения индивидуальных решений, группа вырабатывает единый вариант, который докладывает ученому совету (жюри). В обсуждении докладов принимают участие оппоненты из других групп, заметившие ошибки докладчиков.

Затем даётся общая оценка работы команды, в которой учитывается индивидуальная работа каждого, оценка групповой работы и выступлений.

Ход игры

Академия готовится к симпозиуму. Представители научно-исследовательских институтов (группы учащихся по 5 – 6 человек) выступают с докладами по разным направлениям в области радиационной безопасности. Предлагается обсудить на симпозиуме следующие вопросы:

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- естественный и искусственный радиационный фон Земли;
- опасные радионуклиды и их поведение в организме человека;
- поглощение и накопление радионуклидов компонентами окружающей среды;
- питание в атомном веке и др.

Примерные тексты докладов

Самый главный

Считается, что наибольший вклад в естественный радиационный фон Земли вносит _____, точнее короткоживущие продукты его распада (изотопы _____).

В воздух _____ поступает в основном из _____ _____, где он образуется при распаде _____ и распределяется на высоте около _____. Второй по значимости источник _____ в воздухе помещений – _____ _____. Значительное количество _____ может поступать в наши квартиры из _____ и с _____ _____.

Слова для справок: радон, радий, радон, земная кора, радия-226, 10 км, радон, строительные материалы, радий, водопровод, бытовой газ.

Чужеродные вещества

Радионуклиды _____ и _____ сходны по своим химическим свойствам с _____ и _____, но являются опасными радиоактивными изотопами. _____ вследствие своего сходства с _____ очень легко проникает в _____ ткань. _____ накапливается в _____, замещая _____. Периоды полураспада этих элементов равны соответственно 29 и 30 годам. Таким образом, они остаются в организме и могут накапливаться в количествах, вредных для здоровья.

Слова для справок: ^{90}Sr, ^{137}Cs, кальций, калий, ^{90}Sr, кальций, костная, ^{137}Cs, мышцы, калий.

Воздух, вода, земля

Радионуклиды, попавшие из атмосферы в почву и воду, могут мигрировать, переходя в растительность и организм животных и человека. На переход радиоактивных веществ в растения влияет механический состав почв, кислотность и содержание гумуса. Из бедных минеральных почв в культурные растения попадает _____ ^{90}Sr, чем из почв, богатых гумусом. Переход радионуклидов из почвы в растения _____ в кислых почвах, чем в нейтральных.

Основное загрязнение растений радионуклидами происходит через _____ _____. Однако проникновение их через поверхность _____ также возможно.

Таким образом, на _____ почвах резко снижается переход радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию. Поэтому эффективным способом снижения поступления радионуклидов в

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

растения является _____ _____,_____ _____ _____.

Слова для справок: больше, выше, корневая система, листья, высокоплодородные, внесение удобрений, известкование кислых почв.

Знаем ли мы своих защитников?

Питание в атомном веке имеет большое значение. Вещества, которые повышают устойчивость организма к действию ионизирующих излучений, называются _____. Это _____, _____, _____. Они составляют конкуренцию _____, _____, _____Используя таблицу, составьте пары «_____ - _____» и предложите перечень продуктов, которым следует отдать предпочтение в рационе питания жителей Беларуси.

Радионуклид	Радиопротектор	Продукты питания, содержащие радиопротекторы
Стронций-90	Кальций блокирует стронций-90	Зеленые листовые овощи, капуста, лук, репа, хрен, орехи, семена подсолнечника, творог, сыр, яйца
Йод радиоактивный	Йод стабильный блокирует йод радиоактивный	Океаническая рыба, морская капуста, креветки, кальмары, овес, гречка, редис, морковь, йодированная соль
Цезий-137	Калий блокирует цезий-137	Изюм, курага, чернослив, абрикос, гранат, свекла, орехи

***Слова для справок*:** радиопротекторы, калий, кальций, йод стабильный, ^{137}Cs, ^{90}Sr, йод радиоактивный, радионуклид – радиопротектор.

По следам Робинзона

Большая часть радионуклидов, попавших в лесные биогеоценозы, сконцентрирована в верхнем 3 - 5-см слое лесной подстилки. Высокое их содержание отмечается в коре деревьев, валежнике, мхе, лишайниках, а также грибах и ягодах.

Из ягод _____ загрязнение имеют ягоды рябины и калины, _____ – черники, клюквы, голубики, брусники.

Слова для справок: наименьшее, наибольшее.

Оцените дары природы в баллах:

- Опасности не представляют (сигнальных слов нет) — *0*;
- Небольшая опасность (сигнальное слово «Осторожно») — *1*;
- Умеренная опасность (сигнальное слово «Предупреждение») — *2*;
- Большая опасность (сигнальное слово «Опасность») — *3*.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Дарылеса	Опасность	Действия
А. Грибы польский, моховик, рыжик, масленок, свинушка, горькушка		
Б. Грибы волнушка, груздь, зелёнка, сыроежка		
В. Грибы белый, подосиновик, подберезовик, лисичка, рядовка		
Г. Грибы опенок, зонтик, дождевик, строчок, шампиньон, вешенка		

Ответы:

А. — *3*. «Опасность». Собирать можно в местах с плотностью загрязнения до *37 кБк/м²* (*1 Ки/км²*). Проверка на содержание радионуклидов обязательна.

Б. — *2*. «Предупреждение». Собирать можно в местах с плотностью загрязнения до *37 кБк/м²* (*1 Ки/км²*). Проверка на содержание радионуклидов обязательна.

В. — *1*. «Осторожно ». Собирать можно в местах с плотностью загрязнения до *74 кБк/м²*(*2 Ки/км²*). Проверка на содержание радионуклидов обязательна.

Г. — *0*. Собирать можно в местах с плотностью загрязнения до *74 кБк/м²* (*2 Ки/км²*). Проверка на содержание радионуклидов обязательна.

Игра - викторина «Аукцион радиоэкологических тайн»



Методика

Ведущий (педагог или старшеклассник) предлагает учащимся вопросы разного уровня сложности, ответы на которые оцениваются в *5*, *4* и *3* балла в зависимости от количества попыток сформулировать правильный ответ. Ведущий выдает заранее заготовленные разноцветные квадратики-жетоны:

- красные — 5 баллов (если правильный ответ прозвучал с первой попытки);
- желтые — 4 балла (если правильный ответ прозвучал со второй попытки);
- синие — 3 балла (с третьей попытки).

На аукционе могут «продаваться» и супервопросы, стоимость ответов на которые может достигать 20 – 30 баллов.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

В конце аукциона его участники подводят итог, победители получают призы. Результатом работы является обобщение и систематизация имеющихся радиоэкологических знаний.

Ход игры

Вступительное слово педагога

Сегодня мы будем говорить о проблемах, связанных с радиоактивным загрязнением территории после катастрофы на Чернобыльской АЭС, которые волнуют жителей нашей республики.

В окружающей нас среде (в воздухе, воде, почве, зданиях и прочих сооружениях), а также предметах обихода всегда находятся те или иные радионуклиды. Одни из них, так называемые природные радионуклиды, извечно находились на Земле. Другие же появились в результате деятельности человека (испытаний ядерного оружия, работы предприятий ядерного топливного цикла и аварий на этих объектах).

Событие, произошедшее на ЧАЭС 26 апреля 1986 года — это катастрофа глобального масштаба. Значительная часть территории Беларуси была загрязнена чернобыльскими радионуклидами.

Много ли мы знаем о радионуклидах и их действии на организм? Выяснить это поможет аукцион радиоэкологических тайн.

После вступительного слова ведущий объявляет участникам аукциона: «Вы попали на аукцион знатоков радиоэкологии. Сейчас состоится «распродажа знаний». У каждого из Вас есть возможность «выкупить» как можно больше знаний из тайника (показывает коробку с вопросами) и тем самым заработать победное количество баллов».

Далее ведущий читает вопросы.

Примерные вопросы и ответы

- Она не имеет ни вкуса, ни цвета, ни запаха. Ее нельзя увидеть, услышать или почувствовать. И все-таки она есть. Кто она?

  Ответ: Радиация.

- Что такое радиоактивность?

  Ответ: Самопроизвольное превращение неустойчивых атомных ядер в более устойчивые ядра, сопровождающееся выделением энергии в виде излучений.

- Что изучает радиоэкология?

  Ответ: Радиоэкология изучает особенности существования организмов и их сообществ в условиях постоянного воздействия радиоактивных (ионизирующих) излучений.

- По одной из версий, едва ли не самой главной причиной гибели римской цивилизации стал свинец, разрушивший организмы римлян. Как же они смогли употребить его в таких опасных количествах?

  Ответ: Построили водопровод из свинцовых труб.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- Как можно в домашних условиях снизить уровень загрязнения организма человека радионуклидами и токсичными веществами?

  Ответ: Организовать рациональное питание.
- Какие продукты больше всего «любят радионуклиды»?

  Ответ: Грибы, ягоды, мясо диких животных.
- Где содержится больше цезия и стронция: в говядине, свинине, мясе птицы, баранине?

  Ответ: В говядине.
- Какая овощная культура накапливает самое большое количество радионуклидов?

  Ответ: Щавель.
- Какой напиток лучше всего употреблять в зонах повышенной радиации?

  Ответ: Хлебный квас и зеленый чай.
- Какие продукты питания, снижающюще уровень радионуклидов в организме, нужно употреблять ежедневно?

  Ответ: Рыба, чеснок, овсяные хлопья, овощи и фрукты, фасоль, мясо.
- Где в лесу сосредоточено основное количество радионуклидов?

  Ответ: В верхнем слое лесной подстилки.
- Что необходимо предпринять, чтобы радиоактивная пыль не попадала в колодезную воду?

  Ответ: Закрыть колодец крышкой.
- Недостаток этого элемента вызывает заболевание щитовидной железы (зоб). Что это за элемент?

  Ответ: Йод.
- Чему способствует употребление в пищу продуктов, обогащенных йодом?

  Ответ: Повышению иммунитета у детей и взрослых и снижению накопления радиоактивного йода, если он присутствует в окружающей среде.
- Что необходимо добавить в соляной раствор при вымачивании мяса, чтобы сохранить питательные вещества?

  Ответ: Немного уксусной эссенции или аскорбиновой кислоты.
- Где у животных откладываются цезий и стронций?

  Ответ: Цезий - в мышцах животного, стронций - в костях.
- Какие внутренние органы человека играют важную роль в выведении из организма радионуклидов?

  Ответ: Печень и почки.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Игровое моделирование

Экологическая цепочка

Методика

Учащиеся делятся на группы. Каждый школьник будет представлять компоненты биогеоценоза : растения , животных , грибы , микро - организмы и абиотическую среду (включая свет, влажность, температуру, соленость почвы и воды, магнитный и радиационный фон Земли).

Дети , представляющие растения , животных , грибы , микро - организмы, образуют внутренний круг, стоя лицом к центру. Попросите их сделать шаг в центр круга, чтобы расстояние между ними стало минимальным, и взяться за руки.

Учащиеся , представляющие абиотические факторы , образуют внешний круг. Они стоят, взявшись за руки, лицом к тем, кто образует внутренний круг. Оба круга, образованные учащимися, должны быть очень тесными. Они символизируют биогеоценоз.

По команде педагога все учащиеся начинают перемещаться (идут боком).

Ведущий игру сообщает учащимся об изменении условий среды из-за засухи, наводнения, пожара, деградации почв, аварии на АЭС и т. п. Учащиеся, представляющие изменившиеся факторы, приседают, не разжимая рук. Чтобы удержаться, находящиеся рядом, должны также присесть. Дети внутреннего круга, чтобы не упасть, садятся на колени детям внешнего круга.

Ведущий предлагает продолжать всем движение.

Результатом работы может стать наглядное представление о тесном взаимодействии и взаимозависимости всех компонентов биогеоценоза и нарушении связи между ними в результате необдуманной человеческой деятельности.

Примерные темы игровых заданий

- Что происходит в биогеоценозе при изменении радиационного фона?
- Легко ли восстановить налаженное тысячелетиями взаимодействие между живой и неживой природой?
- Может ли сохраниться биогеоценоз и что для этого необходимо?

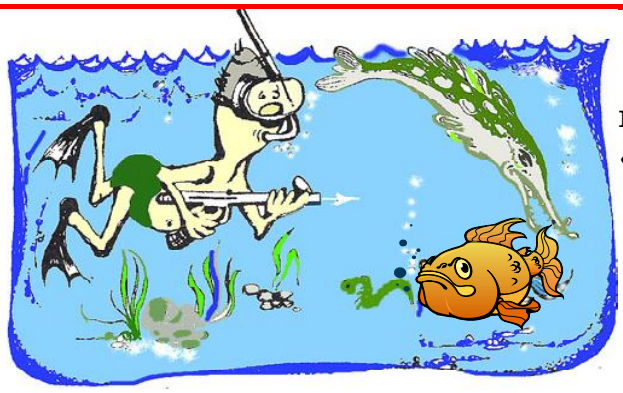
Пирамида питания

Методика

Целью игры является наглядная демонстрация распределения солнечной энергии по звеньям пищевой цепи.

Распределяются роли участников игры: пять человек будут играть роль растений — производителей органического вещества (рожь), три человека — роль первичных потребителей — травоядных животных (мышь), один — роль вторичного потребителя — хищного животного (лисица).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



Каждый участник пирамиды берет стакан и занимает свое место в пирамиде : « растения » садятся , «мыши » становятся за ними на колени, «лиса» стоит позади всех.

Скажите детям, что вода символизирует солнечную энергию, которая поступает на Землю. Растения в процессе фотосинтеза переводят солнечную энергию в энергию молекул органического вещества . «Растения» должны заполнить стаканы водой.



Первичные потребители (мыши) питаются растениями, используя энергию, которую они запасают в своих тканях. «Растения» переливают воду из своих стаканов в стаканы « мышей ». Часть воды проливается. Это энергия, которую первичные потребители используют на поддержание температуры своего тела и процессы жизнедеятельности.

Первичные потребители (мыши) служат пищей для вторичных потребителей (лисица). Попросите «мышей» перелить свою «энергию» в стакан «лисицы».

Положите в стакан каждого «растения» небольшие предметы (камни, пуговицы, др.). Представьте, что они символизируют радионуклиды. По мере переливания воды в стаканах становится всё больше предметов, пока они все не окажутся в стакане «лисы».

Примерные вопросы для обсуждения

- Как происходит накопление ядовитых веществ (в том числе радионуклидов) в высших звеньях пищевой пирамиды?
- Какие биологические объекты (растения , насекомые , рыбы , земноводные , птицы , млекопитающие) являются наиболее радиочувствительными?
- Составьтекакможнобольшепримеровпищевыхцепочек: растение (производительорганическоговещества) —первичныйпотребитель — вторичный потребитель.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Упражнения по развитию у учащихся системы ценностей и радилогических представлений

Установление рейтинга

Методика

Ведущий предлагает учащимся вопрос с несколькими вариантами ответов. Вопрос и ответы записываются на доске или на отдельных листах. Учащиеся будут индивидуально ранжировать ответы и с учетом этого формировать группы. Членов групп просят по очереди рассказать, почему они расположили ответы именно в данном порядке. Проводится коллективное обсуждение в группах.

Каждая группа должна кратко описать свою систему составления рейтинга и принцип определения приоритетов. Результатом работы может стать выработка решения, отражающего общий взгляд на проблему.

Примерные вопросы и ответы

- Если бы Вы отвечали за государственное финансирование энергетики страны, куда бы вы в первую очередь направляли средства?
  - Ø На разработку безопасных атомных реакторов.
  - Ø На утилизацию отработанного ядерного топлива и радиоактивных отходов.
  - Ø На использование иных (не атомных) источников энергии.
- Согласны ли вы с заявлением некоторых ученых о грядущем энергетическом кризисе и единственном выходе из него — строительстве в республике атомных электростанций?
  - Ø Да. Атомная энергия — самая дешевая. Человечеству хватит ядерного топлива на долгие времена.
  - Ø Нет. Используемые в Беларуси производственные технологии получения энергии должны быть перестроены с учетом рационального и экономного использования энергетических ресурсов (торф, древесина, горючие сланцы).
  - Ø Нет. Следует максимально использовать возобновляемые источники энергии, которые благоприятно воздействуют на окружающую среду: энергию ветра, малых рек, биомассы и др.
- Все типы загрязнений (в том числе радиоактивные) можно уменьшить при помощи:
  - Ø тщательного соблюдения законов;
  - Ø повышения общественной сознательности с помощью средств массовой информации;
  - Ø участия общественности в экологической деятельности.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Противоположности

Упражнения такого типа называются *«Встаньте в ряд»*. С их помощью школьники учатся определять свою позицию, выражать и аргументировано доказывать свою точку зрения, анализировать и оценивать разные подходы к разрешению экологических проблем.

Методика

На доске Ведущий записывает проблемный вопрос и два противоположных ответа. На доске или на полу он рисует длинную прямую линию. Предложенные ведущим ответы обозначаются в крайних точках прямой линии. Прямая делится на 5 равных частей и эти части нумеруются . Учащимся предлагается стать у той части, которая соответствует их мнению. Ученики, оказавшиеся у одной цифры, составляют одну группу и объясняют свой выбор. Представители от каждой группы рассказывают о своем выборе другим. Учащиеся имеют право менять место, если в ходе обсуждения их мнение изменилось.

Примерные вопросы и ответы

- Что вы думаете об ионизирующем излучении?
  - Ø Радиация — явление потенциально опасное. Нельзя допускать воздействия необоснованно высоких доз ионизирующего излучения на человека.
  - Ø Ионизирующее излучение, как и другие постоянно действующие факторы окружающей среды, в определенных дозах необходимо для нормальной жизнедеятельности.

Завершение незаконченных предложений

Методика

Ведущий раздает учащимся карточки с написанными на них незавершенными предложениями (не более 5 – 6). Он просит ребят закончить предложения за определенный промежуток времени. Далее, как и в упражнении «Установление рейтинга», формируются малые группы, в которых учащиеся будут обмениваться аргументами, вырабатывать общее мнение и подходы к разрешению проблемы.

Примерные предложения

- Для того, чтобы ускорить выведение радиоактивных веществ из организма, необходимо…
- Ионизирующее излучение оказывает на живые существа разрушительное действие, что проявляется в виде…
- Для того, чтобы экономить электричество дома, я …
- Каждому человеку нужен йод. В рационе питания жителей Беларуси наблюдается недостаток этого элемента. Около 90 % йода поступает в организм с …

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- Если бы я мог решить только одну радиоэкологическую проблему, я бы выбрал…

Игра - диалог «Да - нет»

Методика

Один из играющих произносит утверждение, другой должен согласиться или не согласиться с ним, обосновав свою точку зрения. Можно придать игре соревновательный характер. Побеждает тот, кто предлагает больше обоснованных утверждений или опровержений. Экспертизу может проводить группа аналитиков из числа хорошо успевающих учеников. Итоги игры подводит педагог совместно со школьниками.

Примерные темы диалогов

- Необходимо включать в рацион питания как можно больше продуктов с высоким содержанием клетчатки: хлеб грубого помола, крупы, свеклу, морковь, чернослив.
- Хорошо, что в Республике Беларусь нет атомных электростанций.
- В каждом доме должен быть фильтр для очистки воды.
- Для всех собранных грибов проверка на содержание радионуклидов обязательна.
- В лесных кварталах с повышенным уровнем радиации самовольная заготовка дров и валежника строго запрещена.

Дидактические игры-задания

Каждое задание имеет информационную часть (банк данных) и вопрос, направленный на осмысление и закрепление учащимися представленной информации и развитие у них мыслительных приемов.

Предлагаются задания как репродуктивного, так и творческого характера.



Задание 1

Изучив учебную, научно-популярную литературу, определите основные положительные и отрицательные аспекты использования различных видов энергоресурсов (заполните таблицу).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Виды энергоресурсов	Аспекты использования	
	положительные	отрицательные
1. Топливные ресурсы: Нефть		
Уголь		
Природный газ		
2. Энергия падающей воды (гидроэнергия)		
5. Энергия ветра		
6. Солнечная энергия (гелиоэнергия)		
7. Биоэнергия		
8. Энергия земных недр (геотермальная энергия)		
9. Энергия морских приливов и отливов		
10. Ядерная энергия		

Задание 2

Одной из серьезных проблем сегодня является утилизация радиоактивных отходов.

В настоящее время используются разнообразные методы переработки радиоактивных отходов: битумирование, цементирование, стеклование и др. с последующим захоронением под землёй или на дне океана. Но эти методы не решают проблему отходов в целом.

Ответьте на следующие вопросы:

- В чем вы видите решение проблемы радиоактивных отходов?
- Какие методы утилизации (ликвидации, захоронения) радиоактивных отходов, с вашей точки зрения, наиболее перспективны?
- Предложите и обоснуйте свой проект утилизации отходов АЭС.

Задание 3

Обеспечение ядерной безопасности в мире — это комплекс мероприятий, направленных на предупреждение распространения ядерного оружия, предотвращение аварий на предприятиях ядерноготопливного комплекса и уменьшение последствий таких аварий. Контролирующую функцию в данной сфере осуществляет Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ).

Есть ли атомные электростанции в республике Беларусь и вблизи ее границ? Перечислите их.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

***Задание** 4*

Природные источники ионизирующего излучения создают около 4 / 5 суммарной дозы, получаемой человеком от всех источников ионизирующего излучения. Наибольший вклад в дозу облучения населения вносит радон и продукты его распада в воздухе помещений. Основным источником радона является геологическое пространство под зданием.

Предложите и обоснуйте способы уменьшения концентрации радона в жилом помещении.

15.2. Экскурсии

Важнейшее место в радиоэкологическом воспитании и образовании школьников занимают такие внеклассные формы, как экскурсии, походы, полевые практикумы. Они носят тематический характер и могут быть направлены на изучение экологического состояния окружающей среды (например, водоемов, лесов, источников загрязнений, в том числе радиоактивных), выявление мест обитания редких видов растений и животных.

Важным дидактическим элементом при организации походов, экскурсий или полевых практикумов в системе радиоэкологического воспитания школьников выступает наблюдение предмета изучения в естественных условиях.

Наблюдения способствуют более глубокому изучению объектов, явлений, процессов, взаимосвязей между ними, изменений окружающей среды под влиянием различных факторов, выработке понимания единства природы и общества. В результате наблюдений за объектами и явлениями, которые происходят в природе, у школьников формируется представление о целостности и изменяемости природы.

Особую ценность имеют наблюдения, которые связаны с изучением экологической ситуации родного края. Учащиеся старшего школьного возраста под руководством специалистов могут разрабатывать научные проекты, направленные на прогнозирование дальнейших экологических изменений, определение и обновление путей оздоровления среды или способов безопасной жизнедеятельности в условиях радиационного загрязнения.

Благодаря наблюдениям у учащихся вырабатываются ответственное отношение к природе, интерес к ней, формируются соответствующие знания и опыт, экологическая культура.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

ЭКСКУРСИЯ «МИР ГРИБОВ»



Во время экскурсии учащиеся

- систематизируют знания о строении грибов и их роли в природе и жизни человека;
- учатся определять грибы и отличать съедобные грибы от ядовитых,
- учатся проводить фенологические наблюдения , дозиметрический контроль;
- усваивают правила безопасного поведения в лесу на загрязненных территориях.

I. ***Подготовка к экскурсии***

При подготовкек экскурсии важно восстановитьв памятиучащихся основные сведения о строении, размножении, условиях произрастания грибов. Желательно заранее подготовить рисунки с изображениями грибов, наборы открыток, таблицы.

II. ***Ход экскурсии***

Вводная беседа



Перед экскурсией учитель сообщает ее план и задачи, напоминает правила поведения, отмечая, что в лесу нельзя шуметь, ломать деревья и кустарники, разжигать костер , уходить далеко от группы.

Педагог рассказывает о видовом разнообразии грибов Беларуси, условиях их произрастания , значении для леса, химическом составе, а также о пользе и правилах употребления грибов в пищу.

По дороге учитель напоминает школьникам о характерных особенностях лесного биогеоценоза, обращает внимание учащихся на опавшие листья, отмершие надземные части травянистых растений. Он объясняет, как обилие растительных остатков благоприятствует образованию перегноя и развитию таких организмов , которые приспособились к питанию как органическими веществами живых организмов , так и мертвыми органическими остатками . Такими организмами являются грибы.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Учитель спрашивает, кто из учащихся сможет узнать «грибные места», по каким признакам их можно определить. Можно предложить школьникам вспомнить пословицы и поговорки, подсказывающие, когда и где следует искать грибы.

Работа на экскурсионной площадке

После беседы о строении, способах питания и правилах сбора грибов учитель знакомит учащихся с их разнообразием.



В первую очередь необходимо показать ядовитые грибы.

Показывая ядовитые грибы, ни в коем случае нельзя допустить, чтобы учащиеся брали их в руки.

Отличительные признаки этих грибов должны быть очень хорошо усвоены учащимися, чтобы в дальнейшем они могли их различать.

Одновременно нужно обсудить основные правила первой помощи при отравлении ядовитыми грибами.

Охрана грибов

Учитель спрашивает учащихся: «Пользу или вред приносят грибники лесу, сбивая шляпки малознакомых, несъедобных и ядовитых грибов?»

В процессе беседы необходимо подчеркнуть, что любые грибы надо охранять, а грибные места беречь от неразумного, хищнического истребления. Ядовитые для человека грибы входят в состав природных биогеоценозов и нужны многим животным.

О некоторых грибах можно сказать особо. Это редкие виды, нуждающиеся в охране: в Красную книгу Республики Беларусь занесено 17 видов грибов.

Самостоятельная работа в группах

Самостоятельная работа в группах предполагает сбор грибов, исследование фитоценоза, оценку радиационного фона. Приёмы измерения мощности эффективной дозы внешнего облучения на выбранной территории и методы определения удельной активности грибов по ^{137}Cs подробно описаны в главе 14.



После сбора грибов (30 – 40 минут) учащиеся образуют группы и выполняют работу по определению грибов. Для каждого гриба

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

заполняется этикетка с указанием его полного названия, места нахождения и даты сбора. На обратной стороне этикетки записываются основные сведения о грибе, его внешнем виде.



Подведение итогов экскурсии

По окончании экскурсии проводится итоговая беседа по вопросам:

- Какими признаками следует руководствоваться при поиске грибных мест?
- Как и где растут грибы?
- Всегда ли в лесу можно найти грибы? Почему?
- Что необходимо предпринять при подозрении на отравление грибами?
- Какие правила сбора грибов вам известны?
- Как подразделяются грибы в зависимости от их способности накапливать радионуклиды?
- На территории с каким уровнем радиоактивного загрязнения сбор грибов запрещен?
- В каких случаях обязателен радиометрический контроль собранных грибов?
- Какие способы кулинарной обработки грибов, позволяющие снизить содержание в них радионуклидов, Вы знаете?
- Во сколько раз можно уменьшить содержание радионуклидов в грибах с помощью различных видов кулинарной обработки?
- При каком уровне загрязнения грибов никакие способы обработки не позволят использовать их в пищу?

Задания для самостоятельной работы

- Изучить технологию выращивания экологически чистых грибов
- Подготовить проект по культивированию грибов на учебно-опытном участке школы или сельском подворье.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

СОДЕРЖАНИЕ

К читателям 3

ЧАСТЬ III **МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЙ ПО РАДИОЭКОЛОГИИ И ОСНОВАМ БЕЗОПАСНОЙ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

Глава** 11 **Занятия с детьми дошкольного возраста

11.1. Игровое обучающее занятие «Что такое радиация» 5

11.2. Экологическая сказка «О Королеве Радиации и атомной печи» 9

11.3. Экологическая сказка «О слугах Королевы Радиации — радионуклидах» 10

11.4. Экологическая сказка «О том, как найти, где прячется Королева Радиация со своими слугами».....12

11.5. Игровое обучающее занятие «Что значит быть здоровым» ...15

11.6. Экологическая сказка «О том, чего слуги Королевы Радиации испугались».....18

11.7. Экологическая сказка «О том, как мальчик Никита изгонял из своего дома Королеву Радиацию со слугами» 20

11.8. Экологическая сказка «О двух братьях Пете и Коле и основных правилах чистоты» 23

Глава** 12 **Занятия с учащимися** I **ступени общеобразовательных школ

12.1. *Первый класс*

Занятие 1. Ты и твое здоровье (слагаемые здоровья).....27

Занятие 2. Солнце, воздух и вода — твои верные друзья.....29

Занятие 3. С лукошком за грибами.....32

Занятие 4. Что надо знать о сборе ягод.....37

12.2. *Второй класс*

Занятие 1. Режим труда и отдыха.....42

Занятие 2. Ты и «волшебный экран» (правила просмотра телепередач.....45

Занятие 3. Правильное питание — залог здоровья.....49

Занятие 4. Мойся белее — будешь здоровее.....53

12.3. *Третий класс*

Занятие 1. Космическое излучение и твое здоровье.....58

Занятие 2. Тайны земного излучения.....63

Занятие 3. Что надо знать об искусственных источниках излучения...66

Занятие 4. Компьютер и твое здоровье.....69

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

12.4. *Четвертый класс*
Занятие 1. Как вредные вещества могут поступать в организм человека.....73
Занятие 2. Как защитить свой организм от поступления вредных веществ.....76
Занятие 3. Правила личной гигиены.....79
Занятие 4. Заключительное занятие «Что мы знаем и умеем».....81
Приложение I. Иллюстрации к главе 12.....88

Глава 13 Поурочные разработки для занятий с учащимися II и III ступени общеобразовательных школ

13.1. *Пятый класс*
Урок 1. Что мы знаем о Вселенной.....99
Урок 2. Звезды — источники излучения в космическом пространстве.....104
Урок 3. Солнце. Солнечное излучение. Солнечная активность.....108
Урок-игра 4. Путешествие в Солнечной системе.....113
Урок 5. Строение нашей планеты. Радионуклиды земной коры....116
Урок-спектакль 6. Газовые оболочки Земли и других планет 119
Урок 7. Какое излучение поступает на Землю из Космоса.....122
Урок 8 Итоговая контрольная работа.....124
Приложение II. Дополнительный материал и иллюстрации к разделу 13.1.....126

13.2. *Шестой класс*
Урок 1. Атомы устойчивые и неустойчивые. Радиоактивность.....148
Урок 2. Излучения, сопровождающие процессы ядерных превращений 155
Урок 3. Космическое излучение. Радиационный фон окружающей среды.....160
Урок 4. Радиационный фон земной коры.....169
Урок 5. Промежуточный контроль.....179
Урок 6. Эволюция радиационного фона под влиянием природных факторов.....183
Урок 7. Эволюция радиационного фона под влиянием антропогенных факторов.....187
Урок 8 Итоговая контрольная работа.....191
Приложение III. Иллюстрации к разделу 13.2.....195

13.3. *Седьмой класс*
Урок 1. Роль радиации в зарождении и поддержании жизни на Земле.....201

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Урок 2. Источники ионизирующего излучения, созданные человеком.....207
Урок 3. Атомные электростанции и аварии на них на примере событий на Чернобыльской АЭС.....212
Урок 4. Загрязнение территории Республики Беларусь радионуклидами чернобыльского выброса..... 218
Урок 5. Радионуклиды чернобыльского выброса в атмосферном воздухе.....226
Урок 6. Загрязнение радионуклидами почвы, лесных и других растительных сообществ.....232
Урок 7. Загрязнение радионуклидами водной среды.....240
Урок 8. Итоговая контрольная работа..... 247
Приложение IV. Иллюстрации к разделу 13.3.....249

13.4. *Восьмой класс*
Урок 1. Радиоактивность. Радионуклиды. Радиоактивные семейства.....264
Урок 2. Искусственная радиоактивность.....270
Урок 3. Закон радиоактивного распада. Период полураспада. Активность.....277
Урок 4. Основные виды ионизирующего излучения. *Альфа*-излучение и его свойства. Поглощенная доза ионизирующего излучения.....282
Урок 5. Основные виды ионизирующего излучения. *Бета*-излучение и его свойства.....289
Урок 6. Основные виды ионизирующего излучения. *Гамма*-излучение и его свойства.....293
Урок 7. Внешнее и внутреннее облучение человека. Эквивалентная и эффективная дозы облучения.....296
Урок 8. Итоговая контрольная работа.....304
Приложение V. Дополнительный материал и иллюстрации к разделу 13.4.....306

13.5. *Девятый класс*
Урок 1. Действие ионизирующего излучения на биологические молекулы и клетки.....314
Урок 2. Действие ионизирующего излучения на биологические молекулы и клетки (продолжение).....321
Урок 3. Действие ионизирующего излучения на ткани, органы и системы органов человека.....328
Урок. 4. Действие ионизирующего излучения на организм человека.....339
Урок 5. Пути поступления радионуклидов в организм человека и период биологического полувыведения радионуклидов....346
Урок 6. Последствия облучения организма человека.....355

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Урок 7. Принципы радиационной безопасности.....364
Урок 8. Итоговая контрольная работа.....373
Приложение VI. Иллюстрации к разделу 13.5.....376

13.6. *Десятый класс*

Урок.1. Использование радиоактивных изотопов и других источников ионизирующего излучения в медицине.....381
Урок 2. Использование источников ионизирующего излучения в научных исследованиях и промышленности 383
Урок 3. Использование источников ионизирующего излучения в промышленности (продолжение) и в сельском хозяйстве....387
Урок 4. Реакции ядерного деления и условия их протекания.....389
Урок 5. Получение тепловой и электрической энергии на атомных электростанциях. Перспективы развития ядерной энергетики.....396
Урок 6 Ядерный топливный цикл. Проблема радиоактивных отходов.....402
Урок 7. Аварии на ядерных установках и предприятиях ядерного топливного цикла.....410
Урок 8 Итоговая контрольная работа.....416
Приложение VII. Дополнительный материал и иллюстрации к разделу 13.6 419

Глава** 14 **Лабораторные занятия для учащихся старших классов

14.1. Определение эффективной дозы внешнего облучения человека 438
Лабораторная работа 1.
Определение мощности эффективной дозы (МЭД) внешнего облучения человека на выбранном участке, расположенном во дворе школы, частного дома, в зоне отдыха, в поле или в лесу, на приусадебном участке.....442
Лабораторная работа 2.
Определение мощности эффективной дозы (МЭД) внешнего облучения человека в жилых и производственных помещени.....444
Лабораторная работа 3.
Определение эффективной дозы внешнего облучения человека.....446
14.2. Измерение содержания *гамма* излучающих радионуклидов в почве 448
Лабораторная работа 4.
Определение содержания ^{137}Cs в верхнем (0 –5)-см слое почвы.....450
Лабораторная работа 5.
Оценка распределения ^{137}Cs по глубине почвенного профиля.....454

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

14.3. Оценка поступления *гамма*-излучающих радионуклидов в различные виды растительности и сельскохозяйственной продукции.....459

Лабораторная работа 6.
Определение содержания ^{137}Cs в различных видах растительности и оценка коэффициентов перехода ^{137}Cs из почвы в растения.....461

14.4. Определение содержания радионуклидов в продуктах питания. Оценка эффективной дозы внутреннего облучении человека.....468

Лабораторная работа 7 (два варианта).
Определение содержания ^{137}Cs в грибах, лесных и садовых ягодах, фруктах и овощах; оценка эффективной дозы внутреннего облучения человека, обусловленной употреблением их в пищу 467

Лабораторная работа 8 (два варианта) .
Определение содержания ^{137}Cs в молочных и мясных продуктах питания; оценка эффективной дозы внутрен него облучения человека, обусловленной употреблением в пищу этих продуктов.....478

Лабораторная работа 9.
Оценка годовой эффективной дозы внутреннего облучения человека по рациону питания.....482

14.5. Переработка продуктов питания с целью снижения содержания радионуклидов
Лабораторная работа 10 (три варианта).
Определение удельной активности грибов по ^{137}Cs до и после кулинарной обработки.....487

Лабораторная работа 11 (три варианта).
Определение содержания ^{137}Cs в овощах и корнеплодах до и послекулинарной обработки.....494

Лабораторная работа 12 (два варианта). Определение содержания ^{137}Cs в молоке и продуктах его переработки.....501

Лабораторная работа 13 (два варианта).
Определение содержания ^{137}Cs в мясе до и после кулинарной обработки.....507

Глава 15 Формы и методы внеурочной работы по радиоэкологическому воспитанию учащихся

15.1. *Игры*
Игра «Путешествие в мир радиоэкологии».....515
Ролевая игра «Академия занимательных биологических наук»... 517
Игра-викторина «Аукцион радиоэкологических тайн».....520

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Игровое моделирование.....523
Экологическая цепочка
Пирамида питания
Упражнения по развитию у учащихся системы ценностей и радиоэкологических представлений.....525
Установление рейтинга.
Противоположности.
Завершение незаконченных предложений
Игра-диалог «Да – нет».....527
Дидактические игры-задания.....527
15.2. *Экскурсии* 529

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

ОСНОВЫ РАДИОЭКОЛОГИИ И БЕЗОПАСНОЙ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Методическое пособие для учителей

Том II

Под общей редакцией Т.Н. Ковалевой, Г.А. Соколик, С.В. Овсянниковой

В подготовке II тома пособия принимали участие:

Глава 12 — канд. пед. наук *Комарова И.А.* (Могилевский университет); *Корсик С.Л.* (Министерство образования РБ);

Глава 13

раздел 13.1 — *Кузнецова Л.Ф.* (Министерство образования РБ); *Трафимова Г.В.*, *Трафимов С.А.* (СШ № 27, г. Орша);

разделы 13.2 – 13.8 — *Опарина В.В.* (Научно-методическое учреждение "Национальный институт образования"); *Романовец Г.С.* (Министерство образования РБ); канд. хим. наук *Кимленко И.М.* (Белгосуниверситет); *Захаренков В.В.* (Белгосуниверситет);

Глава 14 — канд. хим. наук *Лейнова С.Л.* (Белгосуниверситет); *Черевко Е.С.* (Белгосуниверситет); канд. техн. наук *Тушин Н.Н.* (Международный государственный экологический университет им. А.Д. Сахарова);

Глава 15 — *Полякова Н.Г.* (Республиканский экологический центр детей и юношества).

Компьютерная верстка, набор и дизайн *Максимович Д.М.* (Объединенный институт ядерных исследований — Сосны)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com