



**Электронный  
учебно-методический комплекс**

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ  
ИНСТИТУТ ИМЕНИ А. Д. САХАРОВА  
БЕЛОРУССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА**

# **РАДИАЦИОННАЯ ЭПИДЕМИОЛОГИЯ И ГИГИЕНА**

---

*специальность  
1-33 81 02 – Радиобиология*

**Пояснительная записка  
Теоретический раздел  
Практический раздел  
Раздел контроля знаний  
Вспомогательный раздел**

**Минск  
ISEI BSU  
2017**

УДК 612  
ББК 28.707.3

**Радиационная эпидемиология и гигиена** [Электронный ресурс] / А.Г. Сыса, Н.М. Новикова, Е.Г. Бусько. – Электрон. дан. (4,6 МБ). – Минск : МГЭИ имени А.Д. Сахарова БГУ, 2017. – 1 электрон. опт. диск (*DVD*).

Систем. требования (миним.) : *Intel Pentium* (или аналогичный процессор других производителей) 1 ГГц ; 512 МБ оперативной памяти ; 250 МБ свободного дискового пространства ; привод *DVD* ; операционная система *Microsoft Windows 2000 SP 4 / XP SP 2 / Vista* (32 бит) или более поздние версии ; *Adobe Reader 7.0* (или аналогичный продукт для чтения файлов формата *pdf*).

Компьютерная вёрстка: А.Г.Сыса

Номер гос. регистрации в НИРУП «Институт прикладных программных систем» от г.

Настоящее издание является электронным учебно-методическим комплексом по дисциплине «Радиационная эпидемиология и гигиена», включающим: учебную программу, лекционный материал, лабораторные работы, методическое обеспечение контроля самостоятельной работы магистранта (тестовые задания, контрольные работы и вопросы к экзамену).

Комплекс предназначен для магистрантов радиоэкологического и радиобиологического направлений подготовки по специальности 1-33 81 02 – Радиобиология.

© МГЭИ имени А.Д. Сахарова БГУ, 2017

Содержимое ресурса охраняется законом об авторском праве. Несанкционированное копирование и использование данного продукта запрещается. Встречающиеся названия программного обеспечения, изделий, устройств или систем могут являться зарегистрированными товарными знаками тех или иных фирм.

Объем 4,6 МБ

Минск: МГЭИ имени А.Д. Сахарова БГУ, 220070, Минск, ул. Долгобродская 23/1

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Предлагаемый электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) по дисциплине «Радиационная эпидемиология и гигиена» разработан на основании Положения об учебно-методическом комплексе на уровне высшего образования (утверждено постановлением Министерства образования Республики Беларусь 26.07.2011, №167), в соответствии с Законом Республики Беларусь о высшем образовании от 11 июля 2007, № 252-3, Концепцией развития педагогического образования в Республике Беларусь и образовательным стандартом высшего образования и предназначен для *студентов второй ступени* специальности 1-33 81 02 Радиобиология.

**Целью** изучения дисциплины является ознакомление студентов с основными принципами радиационной защиты и гигиенической регламентации облучения человека в различных сферах деятельности.

Учебная дисциплина «Радиационная эпидемиология и гигиена» входит в комплекс дисциплин для подготовки специалистов-радиобиологов, компетентных в научно-исследовательском, образовательном, медико-профилактическом и культурно- и санитарно-просветительском видах деятельности и включена в развитие компетенций для решения *профессиональных задач*:

- в научно-исследовательской деятельности: экспертная оценка воздействия факторов окружающей среды на человека;

- в научно-производственной деятельности: экспертная оценка влияния на человека, различные группы населения и популяции вредных и агрессивных факторов окружающей среды с целью, прогнозирования и профилактики патологических процессов; разработка комплекса медико-профилактических мероприятий для случаев экологических (в том числе и радиационных) инцидентов, аварий и катастроф; экспертная оценка и контроль качества общественного здоровья популяций человека.

Для изучения дисциплины «Радиационная эпидемиология и гигиена» необходимы знания по следующим дисциплинам: «Общая физика», «Основы радиобиологии».

В результате изучения дисциплины обучаемый должен:

**знать:**

- задачи радиационной гигиены и основные принципы радиационной защиты в различных сферах деятельности человека;

- принципы гигиенической регламентации облучения человека;

- гигиенические характеристики радиоактивных источников и загрязнений окружающей среды;

- принципы работы дозиметрической и спектрометрической аппаратуры

**уметь:**

- использовать нормативные акты в области радиационной гигиены;
- рассчитывать дозы облучения, полученные человеком при различных ситуациях;
- проводить количественную оценку риска стохастических эффектов облучения;

**владеть:**

- методами анализа медико-биологических данных с применением пакетов прикладных программ SPSS, Statistica, R.

**Характеристика используемых методов обучения.** При организации обучения рекомендуется использовать традиционные методы преподавания дисциплины: лабораторные занятия, а также элементы самостоятельной работы студентов. Обучение организуется с использованием традиционных и современных учебно-информационных ресурсов (компьютерных презентаций практических занятий), интерактивных ресурсов в локальной компьютерной сети института и Internet.

Самостоятельная работа студента организуется во время внеаудиторной работы с использованием следующих форм:

- решение ситуационных задач.

Дисциплина изучается в течение 1-го семестра. Форма контроля – зачет. Учебные занятия проводятся в форме лекций и лабораторных занятий в учебных аудиториях. Также предусмотрена самостоятельная работа. Предполагается, что в процессе обучения будут использоваться средства вычислительной техники.

В соответствии с учебным планом изучение дисциплины «Радиационная эпидемиология и гигиена» рассчитано на объем 50 учебных часов (1 зачетная единица), из них – 50 аудиторных. Примерное распределение аудиторных часов по видам занятий: лекций - 20 часов, лабораторных работ – 30 часов.

Целью ЭУМК является разработка средства для осуществления инновационных технологий обучения, которые позволяют существенно изменить способы обучения. Внедрения ЭУМК позволяет решить проблему приобретения учащимися навыков практического знания и формирования профессиональных компетенций путем повышения качества обучения и контроля знаний.

**Содержание ЭУМК** включает в себя: теоретический, практический и вспомогательный разделы, а также раздел контроля знаний.

В содержании теоретического раздела представлен конспект лекций по учебной дисциплине «Радиационная эпидемиология и гигиена», учебные пособия.

Практический раздел включает в себя практикум по учебной дисциплине «Радиационная эпидемиология и гигиена», в котором приводится

подробное содержание и описание лабораторных занятий для студентов, а также методики выполнения данных работ, сборники задач и упражнений.

Раздел контроля знаний содержит материалы к промежуточному контролю знаний и текущей аттестации студентов: вопросы к зачету, индивидуальные (контрольные задания), варианты заданий для промежуточного контроля.

Вспомогательный раздел состоит из учебно-программной документации.

### **Организация самостоятельной работы студентов**

Самостоятельная работа студентов является важным аспектом в успешном освоении дисциплины, при этом решаются следующие задачи:

- самостоятельно конспектировать части проблемного лекционного материала и решать задания для самостоятельной работы различной сложности;
- составлять макета отчета при подготовке к лабораторной работе студенты и решать индивидуальные контрольные задания, необходимые для допуска к выполнению лабораторной работы.

### **Рекомендации по организации работы с ЭУМК**

Для успешного выполнения учебного плана студенту необходимо:

- изучить при подготовке к занятию лекционный материал, находящийся в теоретическом разделе ЭУМК;
- используя материалы практического и вспомогательного раздела ЭУМК, решить индивидуальное контрольное задание;
- при подготовке к лабораторной работе составить макет отчета, используя материалы практикума из практического раздела ЭУМК;
- для успешной защиты лабораторной работы решить задания УСРС;
- при подготовке к текущей контрольной работе и итоговом контроле знаний по дисциплине использовать весь материал всех разделов ЭУМК, ориентируясь на раздел контроля знаний.

## Лекция 1. Гигиеническая регламентация облучения человека

### 1.1. Радиационная гигиена как наука

*Теоретические основы радиационной гигиены.  
История развития радиационной гигиены.*

В конце XIX и в последующие десятилетия XX века произошел ряд выдающихся научных открытий, которые глубоко отразились на условиях жизни человечества. Речь, прежде всего, идет об открытиях в области ядерной физики, позволивших в дальнейшем использовать атомную энергию во всех областях народного хозяйства, науки и техники.

В 1895 г. В.К.Рентген обнаружил новый вид излучения, названный впоследствии рентгеновскими лучами, а в 1896 г. А.Беккерель выявил самопроизвольное испускание ураном невидимых лучей. Таким образом, была открыта радиоактивность и ионизирующее излучение. Также было установлено, что оба излучения способны ионизировать и приводить в возбужденное состояние атомы и молекулы, которые при этом приобретают новые свойства.

В 1899 г. Э.Резерфорд открыл  $\alpha$ - и  $\beta$ -излучения, испускаемые при распаде радионуклидов. В 1918 г. он обнаружил возможность искусственных ядерных превращений. Следующим крупным открытием в области атомной физики было открытие в начале 30-х годов нейтрона (работы Резерфорда, Ф.Жолио-Кюри и Дж.Чедвика). Дальнейшая работа по изучению ядерных реакций с помощью облучения нейтронами привела к открытию распада ядер урана и цепной реакции деления урана (при делении ядер урана на осколки выделяется несколько свободных нейтронов, которые, попадая в соседние ядра, могут вызвать их деление; деление может продолжаться само собой с нарастанием).

Открытие цепной реакции предоставило невиданные возможности практического использования ядерных реакций в самых разных областях человеческой деятельности. В 1942 г. Э.Ферми запустил в Чикаго первый атомный реактор. Но вторая мировая война привела и к появлению ядерного оружия. В этот же период была установлена возможность термоядерной реакции (реакции синтеза легких ядер).

Под руководством академика И.В.Курчатова в 1946 г. в СССР осуществлена управляемая цепная реакция деления ядер урана, а в 1949 г. испытана первая советская атомная бомба. В 1954 г. была построена первая в мире атомная электростанция и создано термоядерное оружие. В настоящее время АЭС эксплуатируются во многих странах мира.

Радионуклиды и ионизирующие излучения широко используются в науке и на практике.

*Промышленность.* С помощью атомной энергии можно получать вещества и материалы с заданными свойствами, чего невозможно добиться

обычными химическими реакциями. Метод меченых атомов широко применяется в научных исследованиях. Излучения применяются для контроля качества изделий в металлургии, судостроении, строительстве ( $\gamma$ - и рентгенодефектоскопия). Ядерная энергия может применяться для опреснения воды.

*Сельское хозяйство.* Излучения используются для борьбы с насекомыми (стерилизация облучением), повышения продуктивности и сроков хранения семенного материала, для стерилизации и пастеризации продуктов, уничтожения паразитов и грибов.

*Медицина.* Применение рентгеновского излучения, а также радиоактивных изотопов для диагностики и лечения.

Таким образом, применение ионизирующего излучения расширяется с каждым годом во всех областях народного хозяйства. Вместе с этим неизбежно растет число лиц, имеющих непосредственный контакт с радионуклидами. Кроме того, при некоторых процессах получения и применения атомной энергии возможно поступление радиоактивных отходов в окружающую среду. Испытания атомного оружия создали нерегулируемое радиационное воздействие на человечество. Атомная энергия несет возможность облучения значительных популяций людей и загрязнения окружающей среды при отсутствии мер радиационной защиты.

Перед наукой, в первую очередь, перед гигиеной, стоит проблема защиты человека от поражающего действия ионизирующей радиации. Для успешного решения этой задачи необходимо знать физическую природу ионизирующего излучения, явления радиоактивности, процесса взаимодействия ионизирующего излучения с веществом, т.е. основы *ядерной физики*.

Вторым неперемнным условием развития радиационной гигиены является знание механизмов и закономерностей биологического действия ионизирующей радиации, т.е. основ *радиобиологии*.

Наконец, необходимо иметь представление о санитарно-гигиенических условиях любых контактов человека с источниками ионизирующей радиации и радионуклидами.

Радиационная гигиена – это сложная комплексная наука, основанная на ряде фундаментальных дисциплин. В тесном сотрудничестве с врачами-гигиенистами работают физики, радиохимики и радиобиологи.

**Радиационная гигиена** – наука, изучающая условия, виды и последствия воздействия ионизирующих излучений на человека и разрабатывающая мероприятия, направленные на охрану его здоровья.

Как самостоятельная гигиеническая наука радиационная гигиена получила развитие в начале 40-х годов прошлого века. Но вопросы защиты человека от повреждающего воздействия ИИ возникли почти одновременно с открытием рентгеновского излучения и радиоактивного распада.

Предпосылки для этого:

- быстрое применение открытых излучений в науке и практике;

- обнаружение повреждающего воздействия этих излучений на организм.

Впервые такое воздействие было описано в 1896 г. (рентгеновские дерматиты у больных, которым делали рентгеновские снимки, и у врачей, их выполнявших). Лучевые поражения возникали спустя определенный промежуток времени (в зависимости от дозы), заболевание протекало длительно. Такая же картина была выявлена после воздействия радия (Пьер и Мария Кюри). Эти поражения встречались часто, но не препятствовали дальнейшему изучению и применению излучений.

В 1901 г. французский врач Данло применил радий для лечения злокачественных новообразований. Вначале использовался метод аппликации, а затем – внутритканевого введения препаратов радия. Физические свойства и механизмы действия излучений еще не были изучены, применение было произвольным и малоэффективным, с осложнениями в виде лучевых поражений. Но лучевая терапия быстро развивалась во всех странах.

Начало теоретических и экспериментальных исследований в области радиобиологии относится к первым годам открытия рентгеновских лучей и радия. Исследования ученых свидетельствовали о высокой активности ИИ по отношению к биологическим объектам, а также об их повреждающем воздействии на организм человека. Стали возникать вопросы о необходимости защиты персонала, контактирующего с ИИ. В 1906 г. Д.Ф Решетило указывал на необходимость защиты глаз очками из свинцового стекла, а тела – защитными фартуками и экранами. Кроме того, он отмечал значимость времени облучения и расстояния от источника для снижения доз облучения.

В 1914 г. состоялся первый Всероссийский съезд по борьбе с онкологическими заболеваниями, где обсуждались и вопросы охраны труда медперсонала, подвергающегося облучению в профессиональных условиях. В резолюции было указано на необходимость разработки специальных правил по защите работающих с ИИИ. Это было одно из первых требований в области обеспечения радиационной безопасности человека.

Многие врачи-энтузиасты стали жертвами поиска новых путей и методов лечения. В Германии воздвигнут мемориал, на котором высечены имена 186 рентгенологов и радиологов – жертв лучевых поражений.

Положительные результаты терапевтического применения радия способствовали увеличению спроса на этот препарат, в результате чего было налажено его промышленное производство. Первые поиски радиоактивных руд в России начались в 1916 г., а в 1921 г. были получены первые препараты радия из руд, добываемых в районе Ухты. Одновременно возникла необходимость в изучении вопросов гигиены труда в радиевой промышленности.

В 1935 г. учеными Центрального института гигиены труда и промышленной санитарии была издана книга, посвященная состоянию здоровья и мероприятиям по охране труда рабочих радиевой промышленности. Многие положения этой работы сохранили свое значение до настоящего времени.

В 1928 г. на II Международном конгрессе радиологов в Стокгольме была создана Международная комиссия по защите от рентгеновских лучей и радия (с 1950 г. – Международная комиссия по радиационной защите – МКРЗ). Она сыграла важную роль в разработке рекомендаций, касающихся допустимых уровней профессионального облучения и облучения населения в целом.

В результате развития атомной промышленности перед гигиеной встали новые задачи, обусловленные необходимостью обеспечения радиационной безопасности не только работающих, но и населения вследствие возможного поступления в окружающую среду радиоактивных отходов.

Взрывы атомных бомб и испытания атомного и термоядерного оружия привели к поступлению в биосферу планеты огромного количества искусственных радионуклидов. Возникла необходимость оценки этого явления и его возможных последствий.

Указанные задачи не могли быть решены отдельными исследователями. Поэтому организовывались специальные учреждения, объединявшие многих ученых. Первая специальная радиологическая лаборатория в СССР была создана в 1945 г. в НИИ гигиены труда и профессиональных заболеваний. В 1946 г. создается ряд специализированных лабораторий в Институте биофизики МЗ СССР, в дальнейшем реорганизованных в сектор радиационной гигиены. В 1956 г. начинает работать Ленинградский НИИ радиационной гигиены, в 1957 – радиологические лаборатории в некоторых общегигиенических институтах.

Важным этапом в развитии радиационной гигиены стало создание в составе МЗ СССР и союзных республик отделов радиационной безопасности и радиологических групп на базе республиканских, областных и городских центров санэпиднадзора (с 1958 г.)

Разрабатываются и создаются санитарные правила, инструктивно-методические указания, имеющие законодательный характер и обязательные для всех предприятий, учреждений и ведомств, работающих с радиоактивными веществами и ИИИ. В результате научных изысканий были решены основные вопросы радиационной безопасности лиц, занятых в этой отрасли, разработаны методы и способы, позволяющие предупредить загрязнение радиоактивными веществами.

Была организована специальная система подготовки кадров в области радиационной гигиены. В 1957 г. году создается первая кафедра радиационной гигиены в Московском институте усовершенствования врачей. С 1960 г. радиационная гигиена как самостоятельная дисциплина включена в программу подготовки врачей на санитарно-гигиенических (медико-профилактических) факультетах.

Т.о., формирование радиационной гигиены как предмета научного исследования и преподавания было закончено в 1960 г.

Радиационная гигиена включает *дозиметрическое* (изучение источников и уровней облучения) и *радиобиологическое* (изучение в эксперименте и с помощью эпидемиологических исследований эффектов и последствий воздействия излучения на здоровье) направления, *теорию и*

методологию гигиенического регламентирования уровней допустимого облучения и санитарно-организационное направление, разрабатывающее конкретные меры противорадиационной защиты. Третье и четвертое направление иногда объединяют: обоснование и разработка санитарно-гигиенических регламентов и защиты.

Радиационная гигиена делится на *РГ труда*, которая изучает условия труда и разрабатывает защитные и профилактические мероприятия при работе с ИИИ, и *коммунальную РГ*, освещающую проблемы радиационной безопасности населения.

Особенность радиационной гигиены – выделение по признаку изучения действующего фактора (ИИ). Это обусловлено особой значимостью и большим разнообразием источников, видов и путей воздействия различных излучений и нуклидов на человека, высокой специфичностью действия, большой сложностью проблемы.

## 1.2. Понятия о дозовых пределах и принципы радиационной защиты населения

*Понятия о дозовых пределах и принципы радиационной защиты населения. Дозовые пределы внешнего облучения. Допустимые уровни внутреннего облучения. Предел годового поступления. Требования к ограничению облучения населения.*

В основе критериев радиационной безопасности лиц, по роду своей профессиональной деятельности имеющих дело с радионуклидами и ИИИ, а также и населения в целом лежат сведения о биологическом действии радиационных факторов. По мере накопления и уточнения этих сведений на протяжении нескольких десятилетий допустимый уровень облучения постепенно снижался. В первые годы работы с рентгеновским излучением и естественными радионуклидами, несмотря на понимание опасности ИИ, попытки к лимитированию облучения человека не предпринимались. Впервые мысль о необходимости ограничения облучения населения высказал в 1902 г. английский ученый В.Роллинз. В дальнейшем рекомендации по защите от излучений обсуждались на съездах рентгенологов и радиологов. К 1921 г. во многих странах мира были созданы национальные комитеты по защите от ионизирующей радиации.

В 1958 г. МКРЗ было принято решение об утверждении предельно допустимых уровней облучения 5 бэр/год. Уточнения отдельных положений системы радиационной безопасности отражаются в публикациях МКРЗ (Рекомендации МКРЗ 1990. Публикация 60 МКРЗ).

<http://www.chernobyl.info/>

Последние нормы радиационной безопасности (НРБ-2000) утверждены Постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 25 января 2000 г. Они применяются для обеспечения безопасности человека во

всех условиях воздействия на него ионизирующего излучения искусственного или природного происхождения:

- облучение в условиях нормальной эксплуатации техногенных ИИИ;
- облучение в условиях радиационной аварии;
- облучение природными ИИИ;
- медицинское облучение.

Требования и нормативы, установленные Нормами, являются обязательными для всех юридических лиц, независимо от их подчиненности и формы собственности, в результате деятельности которых возможно облучение людей, а также для местных распорядительных и исполнительных органов, граждан Республики Беларусь, иностранных граждан и лиц без гражданства, проживающих на территории Республики Беларусь. Нормы являются основополагающим документом, регламентирующим требования Закона Республики Беларусь "О радиационной безопасности населения" в форме основных пределов доз, допустимых уровней воздействия ионизирующего излучения и других требований по ограничению облучения человека.

Нормы распространяются на следующие виды воздействия ионизирующего излучения на человека: в условиях нормальной эксплуатации техногенных источников излучения; в результате радиационной аварии; от природных источников излучения; при медицинском облучении.

Требования Норм не распространяются на источники излучения, создающие при любых условиях обращения с ними: индивидуальную годовую эффективную дозу не более 10 мкЗв; индивидуальную годовую эквивалентную дозу в коже не более 50 мЗв и в хрусталике не более 15 мЗв; коллективную годовую эффективную дозу не более 1 чел.-Зв либо когда при коллективной дозе более 1 чел.-Зв оценка по принципу оптимизации показывает нецелесообразность снижения коллективной дозы. Требования Норм не распространяются также на космическое излучение на поверхности Земли и внутреннее облучение человека, создаваемое природным калием, на которые практически невозможно влиять.

Главной **целью** радиационной безопасности является охрана здоровья населения, включая персонал, от вредного воздействия ионизирующего излучения путем соблюдения основных принципов и норм радиационной безопасности без необоснованных ограничений полезной деятельности при использовании излучения в различных областях хозяйства, в науке и медицине. Основу системы радиационной безопасности составляют современные международные научные рекомендации, опыт стран, достигших высокого уровня радиационной защиты населения, и отечественный опыт.

Для обеспечения радиационной безопасности при нормальной эксплуатации источников излучения необходимо руководствоваться следующими основными **принципами**:

- непревышение допустимых пределов индивидуальных доз облучения человека от всех источников излучения (принцип нормирования);

- запрещение всех видов деятельности по использованию источников излучения, при которых полученная для человека и общества польза не превышает риск возможного вреда, причиненного дополнительным облучением (принцип обоснования);
- поддержание на возможно низком и достижимом уровне с учетом экономических и социальных факторов индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц при использовании любого источника излучения

Ответственность за соблюдение Норм устанавливается в соответствии с Законами Республики Беларусь "О санитарно-эпидемическом благополучии населения", "О радиационной безопасности населения".

Устанавливаются следующие **категории облучаемых лиц**:

- персонал (физические лица, работающие с источниками излучения или находящиеся по условиям работы в зоне их воздействия);
- все население, включая лиц из персонала, вне сферы и условий их производственной деятельности.

Для категорий облучаемых лиц устанавливаются три класса **нормативов**:

- основные пределы доз (ПД);
- допустимые уровни монофакторного воздействия (для одного радионуклида, пути поступления или одного вида внешнего облучения), являющиеся производными от основных пределов доз: пределы годового поступления (ПГП), допустимые среднегодовые объемные активности (ДОВА), среднегодовые удельные активности (ДУА) и др.;
- контрольные уровни (дозы, уровни, активности, плотности потоков и др.). Их значения должны учитывать достигнутый в организации уровень радиационной безопасности и обеспечивать условия, при которых радиационное воздействие будет ниже допустимого.

**Предел дозы (ПД)** - величина годовой эффективной или эквивалентной дозы техногенного облучения, которая не должна превышать в условиях нормальной работы. Соблюдение предела годовой дозы предотвращает возникновение детерминированных эффектов, а вероятность стохастических эффектов сохраняется при этом на приемлемом уровне.

**Предел годового поступления (ПГП)** - допустимый уровень поступления данного радионуклида в организм в течение года, который при монофакторном воздействии приводит к облучению условного человека ожидаемой дозой, равной соответствующему пределу годовой дозы.

**Контрольный уровень** - значение контролируемой величины дозы, мощности дозы, радиоактивного загрязнения и т.д., устанавливаемое для оперативного радиационного контроля, с целью закрепления достигнутого уровня радиационной безопасности, обеспечения дальнейшего снижения облучения персонала и населения, радиоактивного загрязнения окружающей среды.

Основные пределы доз облучения приведены в таблице 1. Основные пределы доз не включают в себя дозы от природного и медицинского облучения, а также дозы вследствие радиационных аварий. На эти виды облучения устанавливаются специальные ограничения.

Эффективная доза для персонала не должна превышать за период трудовой деятельности (50 лет) - 1000 мЗв, а для населения за период жизни (70 лет) - 70 мЗв. При одновременном воздействии на человека источников внешнего и внутреннего облучения годовая эффективная доза не должна превышать установленных пределов доз.

Таблица 1.

ОСНОВНЫЕ ПРЕДЕЛЫ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ

Нормируемые величины*	Пределы доз, мЗв	
	Персонал	Население
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная доза за год:		
в хрусталике глаза**	150	15
коже***	500	50
кистях и стопах	500	50

\* Допускается одновременное облучение до указанных пределов по всем нормируемым величинам.

\*\* Относится к дозе на глубине 300 мг/кв.см.

\*\*\* Относится к среднему по площади в 1 кв.см значению в базальном слое кожи толщиной 5 мг/кв.см под покровным слоем толщиной 5 мг/кв.см. На ладонях толщина покровного слоя - 40 мг/кв.см. Указанным пределом допускается облучение всей кожи человека при условии, что в пределах усредненного облучения любого 1 кв.см площади кожи этот предел не будет превышен. Предел дозы при облучении кожи лица обеспечивает не превышение предела дозы на хрусталик от бета-частиц.

В стандартных условиях монофакторного поступления радионуклидов годовое поступление радионуклидов через органы дыхания и среднегодовая объемная активность их во вдыхаемом воздухе не должны превышать числовых значений ППП и ДОА, приведенных в приложениях 2 (значения дозовых коэффициентов, пределов годового поступления с воздухом и допустимой среднегодовой объемной активности в воздухе отдельных радионуклидов для персонала) и 3 (значения дозовых коэффициентов, пределов годового поступления с воздухом и пищей, допустимой объемной активности во вдыхаемом воздухе и уровни вмешательства при поступлении с водой отдельных радионуклидов для населения), где пределы доз взяты равными 20 мЗв в год для персонала и 1 мЗв в год для населения.

Предел годового поступления радионуклидов в организм зависит от степени опасности радиоактивных элементов при их попадании внутрь и определяется их радиотоксичностью (свойством вызывать патологические

изменения при попадании в организм). Предел годового поступления находят на основании оценки дозового предела (ДП) и дозового коэффициента (Е):

$$\text{ППП} = \text{ДП}/\text{Е}.$$

При одновременном воздействии источников внешнего и внутреннего облучения должно выполняться условие, чтобы отношение дозы внешнего облучения к пределу дозы и отношение годовых поступлений нуклидов к их пределам в сумме не превышали 1.

В условиях нестандартного поступления радионуклидов величины ППП и ДОА устанавливаются методическими указаниями республиканского органа санитарно-эпидемиологической службы Министерства здравоохранения Республики Беларусь.

Для женщин в возрасте до 45 лет, работающих с источниками излучения, вводятся дополнительные ограничения: эквивалентная доза на поверхности нижней части области живота не должна превышать 1 мЗв в месяц, а поступление радионуклидов в организм за год не должно быть более 1/20 предела годового поступления для персонала. В этих условиях эквивалентная доза облучения плода за 2 месяца невыявленной беременности не превысит 1 мЗв.

Администрация предприятия обязана перевести беременную женщину на работу, не связанную с источниками ионизирующего излучения, со дня ее информации о факте беременности на период беременности и грудного вскармливания ребенка.

Для студентов и учащихся старше 16 лет, проходящих профессиональное обучение с использованием источников излучения, годовые дозы не должны превышать 1/4 значений, установленных для персонала.

*Планируемое облучение персонала* выше установленных пределов доз при ликвидации или предотвращении аварии может быть разрешено только в случае необходимости спасения людей и (или) предотвращения их облучения. Планируемое повышенное облучение допускается для мужчин старше 30 лет лишь при их добровольном письменном согласии после информирования о возможных дозах облучения и риске для здоровья. Регламентируется ведомственными документами, согласованными с Министерством здравоохранения Республики Беларусь. 27. Планируемое повышенное облучение в эффективной дозе до 100 мЗв в год и эквивалентных дозах не более двукратных значений, приведенных в таблице 1, допускается с разрешения территориальных органов санитарно-эпидемиологической службы МЗ РБ, а облучение в эффективной дозе до 200 мЗв в год и четырехкратных значений эквивалентных доз, приведенных в таблице 1, - только с разрешения республиканского органа санитарно-эпидемиологической службы МЗ РБ.

Повышенное облучение не допускается: для работников, ранее уже облученных в результате аварии или запланированного повышенного облучения с эффективной дозой 200 мЗв или с эквивалентной дозой, превышающей в четыре раза соответствующие пределы доз; для лиц,

имеющих медицинские противопоказания для работы с источниками излучения.

Облучение эффективной дозой свыше 200 мЗв в течение года должно рассматриваться как потенциально опасное. Лица, подвергшиеся такому облучению, должны немедленно выводиться из зоны облучения и направляться на медицинское обследование. Последующая работа с источниками излучения этим лицам может быть разрешена только в индивидуальном порядке с учетом их согласия по решению компетентной медицинской комиссии. Лица, не относящиеся к персоналу, привлекаемые для проведения аварийных и спасательных работ, должны быть оформлены и допущены к работам как персонал.

#### ***Требования к защите от природного облучения в производственных условиях***

Эффективная доза облучения природными источниками излучения всех работников, включая персонал, не должна превышать 5 мЗв в год в производственных условиях (любые профессии и производства). Воздействие космических излучений на экипажи самолетов нормируется как природное облучение в производственных условиях.

#### ***Требования к ограничению облучения населения***

Радиационная безопасность населения достигается путем ограничения воздействия всех основных видов облучения. Возможности регулирования разных видов облучения существенно различаются, поэтому регламентация их осуществляется отдельно с применением разных методологических подходов и технических способов. В отношении всех источников облучения населения следует принимать меры как по снижению дозы облучения у отдельных лиц, так и по уменьшению числа лиц, подвергающихся облучению, в соответствии с принципом оптимизации.

Облучение населения техногенными источниками излучения ограничивается путем обеспечения сохранности источников излучения, контроля технологических процессов и ограничения выброса (сброса) радионуклидов в окружающую среду, а также другими мероприятиями на стадии проектирования, эксплуатации и прекращения использования источников излучения.

На основании значений ПГП радионуклидов через органы пищеварения, соответствующих пределу дозы 1 мЗв за год, может быть рассчитана для конкретных условий допустимая удельная активность основных пищевых продуктов с учетом их распределения по компонентам рациона и в питьевой воде, а также с учетом поступления радионуклида через органы дыхания и внешнего облучения.

Допустимое значение эффективной дозы, обусловленной суммарным воздействием природных источников излучения, для населения не устанавливается. Снижение облучения населения достигается путем установления системы ограничений на облучение населения отдельными природными источниками излучения. Нормируется облучение дочерними продуктами радона и торона в воздухе помещений, удельная активность

природных радионуклидов в строительных материалах (щебень, гравий, песок, бутовый и пиленный камень, цементное и кирпичное сырье и пр.), содержание природных и искусственных радионуклидов в питьевой воде (для минеральных и лечебных вод устанавливаются специальные нормативы), удельная активность природных радионуклидов в фосфорных удобрениях и мелиорантах.

Принципы контроля и ограничения радиационных воздействий в медицине основаны на получении необходимой и полезной диагностической информации или терапевтического эффекта при минимально возможных уровнях облучения. При этом не устанавливаются пределы доз, но используются принципы обоснования назначения радиологических медицинских процедур и оптимизации мер защиты пациентов. С целью снижения уровней облучения пациентов Министерством здравоохранения устанавливаются контрольные уровни медицинского облучения при рентгенологической и радионуклидной диагностике.

При проведении профилактических медицинских рентгенологических исследований и научных исследований практически здоровых лиц годовая эффективная доза облучения этих лиц не должна превышать 1 мЗв. Установленный норматив годового профилактического облучения может быть превышен лишь в условиях неблагоприятной эпидемиологической обстановки, требующей проведения дополнительных исследований или вынужденного использования методов с большим дозообразованием.

При использовании источников излучения в медицинских целях контроль доз облучения пациентов является обязательным.

### ***Требования по ограничению облучения населения в условиях радиационной аварии***

В случае возникновения аварии должны быть приняты практические меры для восстановления контроля над источником излучения и сведения к минимуму доз облучения, количества облученных лиц, радиоактивного загрязнения окружающей среды, экономических и социальных потерь, вызванных радиоактивным загрязнением.

Ограничение облучения осуществляется защитными мероприятиями, применимыми, как правило, к окружающей среде и (или) к человеку. Эти мероприятия могут приводить к нарушению нормальной жизнедеятельности населения, хозяйственного и социального функционирования территории, т.е. являются вмешательством, влекущим за собой не только экономический ущерб, но и неблагоприятное воздействие на здоровье населения, психологическое воздействие на население и неблагоприятное изменение состояния экосистем. Поэтому при принятии решений о характере вмешательства (защитных мероприятий) следует руководствоваться следующими *принципами*:

- предлагаемое вмешательство должно принести обществу и облучаемым лицам больше пользы, чем вреда;

– форма, масштаб и длительность вмешательства должны быть оптимизированы таким образом, чтобы чистая польза от снижения дозы была бы максимальной (принцип оптимизации вмешательства).

Если предполагаемая поглощенная доза облучения за короткий срок (2 суток) достигает уровней, при превышении которых возможны клинически определяемые детерминированные эффекты, необходимо срочное вмешательство (меры защиты).

При аварии, повлекшей за собой радиоактивное загрязнение обширной территории, на основании контроля и прогноза радиационной обстановки устанавливается зона радиационной аварии. В зоне радиационной аварии проводится контроль радиационной обстановки и осуществляются мероприятия по снижению уровней облучения населения.

На поздней стадии радиационной аварии, повлекшей за собой загрязнение обширных территорий долгоживущими радионуклидами, решения о защитных мероприятиях принимаются с учетом складывающейся радиационной обстановки и конкретных социально-экономических условий. При этом вмешательство обосновывается величиной годовой эффективной дозы (ГЭД), которая может быть получена жителями в отсутствие мер радиационной защиты. Под ГЭД здесь понимается эффективная доза, средняя у жителей населенного пункта за текущий год, обусловленная искусственными радионуклидами, поступившими в окружающую среду в результате радиационной аварии.

В НРБ приведены критерии для принятия неотложных решений в начальном периоде аварийной ситуации, критерии для принятия решений об отселении и ограничении потребления загрязненных пищевых продуктов.

Таблица 2.

**Основные дозовые пределы, допустимые и контрольные уровни в зависимости от категории облучаемых лиц.**

Показатель	Категории облучаемых лиц	
	Персонал (категория А)	Население
Основной дозовый предел	Предельно допустимая доза	Предел дозы
Допустимые уровни	ППП ДОО в воздухе Допустимая мощность дозы Допустимая плотность потока Допустимые уровни радиоактивного загрязнения поверхности	ППП ДОО в воздухе ДОО в воде Допустимая мощность дозы Допустимая плотность потока
Уровни контроля	Контрольное годовое поступление Контрольная ОА в воздухе Контрольная МД Контрольная ПП Контрольное ЗП	Контрольное годовое поступление Контрольная ОА в воздухе Контрольная МД Контрольная УА в воде

## Лекция 2. Гигиена труда при работе с источниками ионизирующих излучений

*(Мероприятия, позволяющие обеспечить условия радиационной безопасности при применении открытых и закрытых источников ионизирующих излучений. Применение источников ионизирующих излучений в промышленности и медицине.)*

"Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСП-2002)".

По воздействию на человека все источники излучения можно разделить на две группы:

- 1) закрытые источники – рентгеновские установки, ускорители, реакторы, закрытые радиоактивные препараты. Человек подвергается облучению только во время нахождения в опасной зоне вблизи самих источников.
- 2) открытые источники – радиоактивные вещества, распределенные в среде (например, в почве, воде, воздухе) или находящиеся на поверхности предметов, с которыми соприкасается человек. Действие этих источников связано с попаданием р/а в-ва внутрь организма и не м.б. прекращено с удалением человека из опасной зоны.

Задача защиты от ионизирующих излучений заключается в применении специальных устройств и оборудования, снижающих уровень излучения на месте нахождения персонала до предельно допустимой дозы.

### ***Закрытые источники***

Закрытые источники излучения относятся к невозстановливаемым промышленным изделиям, непрерывно расходующим свой ресурс, и не подлежат ремонту. После окончания назначенного срока службы или при нарушении условий эксплуатации использование источника или его хранение должно быть прекращено.

По характеру действия м.б. условно разделены на две группы:

- источники излучения непрерывного действия (установки различного назначения, нейтронные,  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучатели);
- источники, генерирующие излучение периодически (рентгеновские аппараты и ускорители заряженных частиц). При ускорении частиц до энергий  $> 10$  МэВ, возможно образование искусственных радионуклидов и возникает потенциальная опасность поступления р/а изотопов в организм.

### *Область применения и вид используемых закрытых источников*

Металлургия	Ускорители заряженных частиц, рентгеновские аппараты, аппараты для $\gamma$ -дефектоскопии, радиоизотопные приборы (уровнемеры)
Строительство	Ускорители заряженных частиц, рентгеновские аппараты, аппараты для $\gamma$ -дефектоскопии

Химическая промышленность	Мощные $\gamma$ -установки, радиоизотопные приборы (уровнемеры, толщиномеры, приборы для снятия электростатических зарядов)
Легкая промышленность	Радиоизотопные приборы (уровнемеры, толщиномеры, приборы для снятия электростатических зарядов)
Пищевая промышленность	Мощные $\gamma$ -установки, радиоизотопные приборы (уровнемеры)
Геология	Нейтронные и $\gamma$ -источники, радиоизотопные приборы (уровнемеры)
Медицина и биология	Ускорители заряженных частиц, рентгеновские и $\gamma$ -аппараты, $\beta$ - и $\gamma$ -источники
Сельское хозяйство	Мощные $\gamma$ -установки
Научные исследования	Ускорители заряженных частиц, рентгеновские и аппараты, мощные $\gamma$ -установки, нейтронные, $\beta$ - и $\gamma$ -источники

В качестве  $\gamma$ -излучателей в основном служат искусственные р/а элементы, помещаемые в порошкообразном или твердом состоянии в герметичные стальные ампулы (наиболее часто используются кобальт-60, селен-75, кадмий-109, теллур-127, цезий-134 и 137, европий-154, тулий-170, тантал-182, иридий-192).

Нейтронные источники готовят из смеси радия, полония или плутония с бериллием или бором, помещенной в герметичные стальные ампулы. В качестве  $\beta$ -излучателей используют искусственные р/а изотопы (фосфор-32, стронций-90, иттрий-90, рутений-106, родий-106, церий-144, празеодим-144, прометий-147, золото-198, талий-204).

Активность закрытых источников для различных целей может изменяться в широких пределах (от МБк в медицине до ПБк в промышленности).

Обеспечение радиационной безопасности при работе с закрытыми источниками ИИ достигается комплексом санитарно-гигиенических, инженерно-технических и организационных мероприятий. В основу всех мероприятий положено главное требование о том, чтобы дозы облучения как персонала, так и других лиц не превышали допустимых величин.

**Основные принципы радиационной безопасности** вытекают из законов распространения ИИ и характера его взаимодействия с веществом:

- *уменьшение мощности* источников до минимальных величин (защита количеством). Основывается на уменьшении мощности излучения в прямой пропорции; не имеет широкого применения, т.к. ограничен требованиями технологического процесса; уменьшение активности увеличивает срок облучения.

- *сокращение времени работы* с источниками (защита временем). Сокращая срок работы, можно в значительной степени уменьшить дозы облучения. Особенно часто следует соблюдать при работе с источниками

относительно малой активности при прямых манипуляциях с ними персонала (медицинский персонал, важна высокая квалификация).

- *увеличение расстояния* от источников до работающих (защита расстоянием). Обеспечивается достаточным удалением работающих от излучателя. При работе с источниками малой активности используются простые инструменты (например, пинцет). Для источников большей активности рекомендуются манипуляторы сложного устройства, иногда управляемые с большого расстояния. Но достаточно эффективными м.б. и простые приспособления (тележки с длинной ручкой для перевозки контейнеров).

- *экранирование* ИИ материалами, поглощающими излучение (защита экранами). Применение защиты временем и расстоянием ограничено требованиями технологии и иногда не имеет смысла (очень большая мощность источника, необходимость длительного облучения). В этих случаях большую роль играет защита экранами. Для изготовления экранов применяют различные материалы (свинец, уран, просвинцованное стекло, железо, бетон, вода, для  $\beta$ -излучений – оргстекло, пластмасса, алюминий), толщина определяется мощностью излучения.

При расчете защиты с помощью экранов исходят из требований НРБ. По своему назначению экраны м.б. разделены на 5 групп:

- защитные экраны-контейнеры (для хранения и транспортировки);
- защитные экраны для оборудования;
- передвижные защитные экраны;
- защитные экраны, монтируемые как части строительных конструкций
- экраны индивидуальных средств защиты (щитки, смотровые стекла, перчатки).

### ***Открытые источники***

При использовании открытых источников возможно попадание радионуклидов в окружающую среду. При этом м.б. не только внешнее, но и дополнительное внутреннее облучение персонала, которое происходит при поступлении р/н в окружающую рабочую среду в виде газов, аэрозолей и твердых и жидких р/а отходов. Источниками образования р/а аэрозолей м.б. не только производственные операции, но и загрязненные р/н рабочая поверхность, спецодежда и обувь.

Все объекты, которые представляют опасность загрязнения радионуклидами, можно разделить на две группы:

- I группа – лаборатории, учреждения и предприятия, где использование открытых источников предусмотрено технологией производства (медучреждения, лаборатории сельскохозяйственного и промышленного профиля и т.д.);
- II группа – р/н в открытом виде образуются как неизбежные или побочные нежелательные продукты технологического процесса (рудники, АЭС, экспериментальные реакторы, мощные ускорители).

Потенциальная опасность внутреннего переоблучения персонала на указанных объектах неравнозначна. Она зависит от общей активности р/н на

рабочих местах, степени их радиотоксичности, характера производственных операций.

Радионуклиды как потенциальные источники внутреннего облучения разделяются по степени радиационной опасности на четыре группы в зависимости от минимально значимой (допустимой) активности (МЗА):

- группа А - радионуклиды с особо высокой радиотоксичностью (минимально значимая активность на рабочем месте составляет  $10^4$  Бк)
- группа Б – радионуклиды с высокой радиотоксичностью (МЗА  $10^5$  Бк);
- группа В – радионуклиды со средней радиотоксичностью (МЗА  $10^6$  Бк);
- группа Г - радионуклиды с малой радиотоксичностью (МЗА  $10^7$  Бк и более).

Все формы открытых источников по степени потенциальной опасности внутреннего переоблучения подразделяют на три класса, в зависимости от группы радиационной опасности и активности на рабочем месте. Чем выше класс выполняемых работ (1- самый высокий), тем жестче гигиенические требования.

***Основные принципы защиты:***

- *соблюдение принципов защиты при работе с источниками облучения в закрытом виде;*

- *герметизация производственного оборудования* для изоляции процессов, которые могут явиться источниками поступления р/н в окружающую среду. Позволяет максимально ограничить поступление р/н в воздух производственной зоны. Используют «горячие камеры», камеры-боксы и вытяжные шкафы.

- *планировка помещений.* Предполагает максимальную изоляцию работ с радионуклидами от других помещений и участков с иным функциональным назначением. Работы 1 класса можно проводить в отдельном здании или изолированной части здания с отдельным входом, 2 класса – изолированно от других помещений, 3 класса – в специально выделенных комнатах).

- *оптимизация санитарно-технических устройств и оборудования.* Предполагает устройство специальных систем вентиляции и канализации, отделку помещений специальными материалами и покрытиями (низкая степень фиксации р/н и легкая очистка).

- *использование средств индивидуальной защиты.* Важное место занимают средства индивидуальной защиты, предназначенные для защиты органов дыхания и кожного покрова. К средствам повседневного назначения относят халаты, комбинезоны, костюмы, спецобувь и некоторые типы противопылевых респираторов; к средствам кратковременного использования – изолирующие шланговые и автономные костюмы, пневмокостюмы, противогазы, перчатки и пленочную одежду. К дополнительным средствам защиты относят очки, щитки, ручные захваты. Использование средств индивидуальной защиты определяется классом проводимых работ.

- *санитарно-бытовые устройства.* В зависимости от класса выполняемых работ и числа работающих с открытыми источниками предусматривают такие санитарно-бытовые устройства, как умывальные,

душевые обычного типа, санитарные пропускники и санитарные шлюзы (для 1 и 2 класса). В состав санпропускника входят: душевые, гардеробная домашней одежды, гардеробная спецодежды, помещения для хранения средств индивидуальной защиты, пункт радиометрического контроля кожных покровов и спецодежды, кладовая грязной спецодежды, кладовая чистой спецодежды, туалетные комнаты. Планировка санпропускника должна обеспечивать раздельное прохождение персонала в рабочие помещения и в обратном направлении по разным маршрутам.

- *выполнение правил личной гигиены.* При попадании р/н на спецодежду и кожный покров работающих возможно как дополнительное облучение кожи, так и поступление их в ЖКТ и через неповрежденную кожу, появляется вероятность их переноса в чистые помещения. При работе с открытыми источниками необходимо выполнять требования радиационной асептики, направленной на предупреждение попадания р/н на спецодежду и кожный покров (например, специальные приемы надевания и снятия перчаток). В рабочей зоне запрещено курение, хранение продуктов, косметики, домашней одежды и др. предметов. При загрязнении кожного покрова требуется своевременная санитарная обработка. После выполнения работ обязательен дозиметрический контроль.

- очистка от р/а загрязнений поверхности строительных конструкций, аппаратуры и средств индивидуальной защиты. Благодаря спец. покрытиям загрязнения имеют слабую связь с поверхностями. Если фиксация прочная, используют специальные растворы. Индивидуальные средства защиты обрабатывают в специальных прачечных. Если при высоком уровне загрязнения обработка не дает эффекта, производится демонтаж приборов и оборудования, смену средств индивидуальной защиты, их переработка и захоронение.

### ***Гигиена труда при использовании ИИИ в медицине***

Диапазон лечебных и диагностических процедур, выполняемых с помощью источников излучений, в настоящее время широк и многообразен. Способы и методы применения источников с гигиенических позиций м.б. условно представлены следующими группами:

- дистанционная рентгено- и гамма-терапия с помощью излучений высоких энергий (ускорители);
- внутрисполостная, внутритканевая и аппликационная терапия с помощью закрытых источников;
- лучевая терапия и диагностические исследования с помощью открытых источников;
- рентгенодиагностика.

В целом система безопасности строится на реализации основных принципов защиты. Радиационная безопасность пациентов и населения должна быть обеспечена при всех видах медицинского облучения путем достижения максимальной пользы от рентгенорадиологических процедур и всесторонней минимизации радиационного ущерба при безусловном

превосходстве пользы для облучаемых над вредом. С целью обеспечения радиационной безопасности персонала и населения разработана система мероприятий, отраженная в санитарно-гигиенических нормах. В них установлены нормы площади кабинетов, рекомендации по размещению оборудования, требования к средствам защиты, допустимые мощности излучения. Постоянно проводится санитарно-дозиметрический контроль.

### ***Гигиена труда при применении ИИИ в промышленности***

В настоящее время ИИИ широко применяются в промышленности, где используют дефектоскопические методы, радиоизотопные приборы технологического контроля.

В общем виде схема радиационной безопасности при промышленной дефектоскопии состоит из двух элементов, включающих средства снижения уровня облучения и средства контроля. При стационарных методах просвечивания главное внимание уделяют радиационной защите помещений, блокировке, сигнализации и планировке, при проведении переносной дефектоскопии – радиационной защите установок, организационным мероприятиям по обеспечению радиационной безопасности персонала и населения.

Радиоизотопные приборы контроля используют для контроля уровней жидкости, плотности материалов, влажности и т.д.; для анализа состава и измерения концентрации в-ва; измерения давления и температуры, расхода газов и т.д. Принятая система радиационной защиты на всех этапах технологического процесса работы с радиоизотопными приборами обеспечивает безопасные условия работы персонала и населения.

*Радиационный контроль* при работе с источниками ИИ осуществляет служба радиационной безопасности предприятия, ведомственная служба и органы государственного санитарного надзора. Он м.б. плановым (проверка соответствия обстановки требованиями НРБ и ОСП) или специальным (при изменении технологии или аварийных ситуациях). Также проводится *медицинский* (предупреждение приема на работу лиц с противопоказаниями и обнаружение признаков радиационного поражения у персонала) и *санитарно-дозиметрический* (надзор за выполнением требований законодательных документов и радиоактивностью окружающей среды) контроль

### Лекция 3. Основы радиационной защиты населения. Основы регламентации и прогнозирования радиационных воздействий на человека

*(Природный радиационный фон. Потенциальные источники загрязнения окружающей среды. Поведение радионуклидов искусственного происхождения в окружающей среде. Радиационные аварии. Охрана окружающей среды от радиоактивных загрязнений).*

Под радиационным фоном принято понимать ионизирующее излучение от природных источников космического и земного происхождения, а также от искусственных радионуклидов, рассеянных в биосфере в результате деятельности человека. Имеет относительно постоянный уровень. Различают:

- *естественный (природный) РФ*: ионизирующее излучение, действующее на человека на поверхности Земли от природных источников космического и земного происхождения;

- *технологически измененный естественный РФ*: ИИ от природных источников, претерпевших изменения в результате деятельности человека (например, излучение от ЕР, поступающих в биосферу вместе с извлеченными полезными ископаемыми; при сгорании органического топлива; в помещениях, построенных из материалов, содержащих ЕРН). Считается, что в среднем в мире увеличение радионуклидов в промышленных потребительских товарах увеличивает дозу на 0.01 мЗв в год.;

- *искусственный РФ*: обусловлен радиоактивностью продуктов ядерных взрывов, отходами ядерной энергетики и аварий.

Мерой РФ является мощность экспозиционной дозы. Для сравнения биологической эффективности и оценки риска отдаленных последствий дозы за счет РФ выражают в показателях эффективной дозы.

#### ***Естественный РФ***

Природные источники подразделяют на внешние источники внеземного происхождения (космическое излучение); внешние источники земного происхождения (присутствующие в земной коре, воде, воздухе); внутренние источники (р/н естественного происхождения, содержащиеся в организме человека).

**Космическое излучение** является первичным и вторичным. Первичное излучение – это поток частиц с высокой энергией ( $10^{12} \div 10^{14}$  МэВ), попадающих в атмосферу из межзвездного пространства. Примерно 90% первичного космического излучения составляют протоны, около 10 % - альфа-частицы, около 1% составляют нейтроны, гамма-кванты и ядра легких элементов (Li, Be, B, N, O, C). Вторичное космическое излучение составляют практически все известные элементарные частицы, которые образуются при взаимодействии частиц первичного космического излучения с ядрами частиц воздуха.

**Естественные радионуклиды** – это радионуклиды либо земного, либо космогенного происхождения. К радионуклидам земного происхождения относятся:

- Радионуклиды радиоактивных семейств
- Радионуклиды элементов средней части таблицы Менделеева

Существуют три радиоактивных семейства:

1. семейство урана – радия:  $^{238}\text{U}_{92}$  ( $T_{1/2} = 4.468 \cdot 10^9$  лет)  $^{206}\text{Pb}_{82}$
2. семейство тория:  $^{232}\text{Th}_{90}$  ( $T_{1/2} = 1.405 \cdot 10^{10}$  лет)  $^{208}\text{Pb}_{82}$
3. семейство актиния (актиноурана):  $^{235}\text{U}_{92}$  ( $T_{1/2} = 7.038 \cdot 10^8$  лет)  $^{207}\text{Pb}_{82}$

Во всех семействах один из продуктов распада – газ, так называемые «эманации», представляющие собой различные изотопы радона: радон  $^{222}\text{Rn}_{86}$ , торон:  $^{220}\text{Tn}_{86}$ , актинон:  $^{219}\text{An}_{86}$

Радионуклиды средней части таблицы Менделеева – это  $^{40}\text{K}$ ,  $^{48}\text{Ca}$ ,  $^{87}\text{Rb}$ ,  $^{96}\text{Zr}$ ,  $^{115}\text{In}$  и большинство редкоземельных элементов с периодом полураспада, равным  $T_{1/2} = 10^{10} \div 10^{20}$  лет. Из этих радионуклидов только  $^{40}\text{K}$  вносит большой вклад в формирование естественного радиационного фона.

Радионуклиды космогенного происхождения образуются при взаимодействии космического излучения с ядрами атомов воздуха и реже – с ядрами атомов земной поверхности. К ним относятся:  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{32}\text{P}$ ,  $^{33}\text{P}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{85}\text{Kr}$  и другие. Наибольший вклад в естественный радиационный фон вносят  $^3\text{H}$  и  $^{14}\text{C}$ . Радионуклиды космогенного происхождения вносят небольшой вклад в дозу внутреннего облучения. Для углерода-14 годовая эффективная доза составляет 0.012 мЗв и примерно  $10^{-5}$  мЗв для трития.

В составе радиоактивных семейств имеются альфа-распадчики. Так как для альфа-частиц коэффициент качества действия излучения равен 20, то для таких нуклидов будет усиленное биологическое действие на организм. Годовая эффективная доза от  $^{238}\text{U}_{92}$  составляет 0.01 мЗв, от  $^{232}\text{Th}_{90}$  - 0.003 мЗв, от радия-226 и радия-228 - 0.19 мЗв.

Ощутимый вклад в дозу внутреннего облучения вносит  $^{210}\text{Po}_{84}$ , который является альфа-распадчиком с периодом полураспада  $T_{1/2} = 138$  суток. Годовая эффективная доза, обусловленная поступлением полония-210 (с продуктами курения!) и свинца-210 составляет 0.13 мЗв и выше. Усредненная годовая эффективная доза равна 0.85 мЗв для радона и 0,15 мЗв для торона. Суммарная годовая эффективная доза, обусловленная этими газообразными радионуклидами, а также свцом-210 и полонием-210 составляет 1,02 мЗв.

### ***Гигиеническая характеристика потенциальных источников загрязнения окружающей среды***

По потенциальной опасности возможного поступления р/а загрязнений в биосферу все источники м.б. разделены на несколько групп:

- испытания ядерного оружия;
- предприятия по добыче, переработке и получению расщепляющихся материалов и искусственных радионуклидов;
- учреждения, предприятия и лаборатории, использующие р/н в технологии производственного процесса.

*Глобальные выпадения радионуклидов* – это радионуклиды, образовавшиеся в результате проведения с 1945 по 1980 года 450 атомных и термоядерных взрывов в атмосфере. 90% мощности было проведено за 10 лет – с 1952 по 1962 гг. В результате ядерного взрыва и последующего распада образуется смесь продуктов деления из 200 изотопов 36 химических элементов. Эти радионуклиды вошли в биологические цепочки. Считается, что сейчас средняя эффективная эквивалентная доза за год, обусловленная проведенными испытаниями в атмосфере, составляет 0.02 – 0.025 мЗв. Наиболее потенциально опасными осколками ввиду включения в биологический цикл и большого периода полураспада являются цезий-137 и стронций-90.

К второй группе потенциальных источников загрязнения ОС относятся предприятия атомной промышленности: урановые рудники и гидрометаллургические заводы по получению обогащенного урана, заводы по очистке урановых концентратов и изготовлению твэлов, экспериментальные и энергетические реакторы, заводы по производству ядерного оружия.

К третьей группе относятся радиоизотопные лаборатории и радиологические отделения медицинских учреждений, применяющие открытые радионуклиды для целей терапии, лаборатории НИИ, где производят работы с открытыми р/а источниками и т.д. В зависимости от характера технологического процесса эти лаборатории м.б. источниками газообразных, жидких и твердых отходов с высоким содержанием разнообразных радиоактивных отходов. Следует отметить, что объем и удельная активность отходов данной группы сравнительно невелики, по сравнению с отходами предприятий, относящихся ко второй группе потенциальных источников загрязнений ОС.

Многие радионуклиды хорошо растворяются в воде и через пищевые цепочки попадают в организм человека. В общем виде можно определить следующие пищевые цепочки:

Выброс радионуклидов →  
 → Загрязнение земной поверхности →  
 растения → человек;  
 растения → животные → человек;  
 → Загрязнение водоема →  
 вода → человек  
 вода → растения → человек;  
 вода → растения → животные → человек;  
 вода → рыбы → человек.

### ***Радиационные аварии***

Интенсивное развитие энергетики и широкое использование разнообразных ИИИ в промышленности и медицине приводят в некоторых случаях к авариям. Радиационная авария – это потеря управления источником ИИ, вызванная неисправностью оборудования, стихийными бедствиями или

иными причинами, которые могли привести или привели к незапланированному облучению людей или р/а загрязнению ОС.

Наиболее типичные случаи, связанные с авариями:

- сознательное использование или хранение ИИИ с нарушением требований законодательства или правил ТБ, создающее прямую возможность облучения лиц из населения или персонала и загрязнения ОС;
- потеря, хищение или хранение ИИИ или радиационных установок и приборов;
- оставление ИИИ в скважинах;
- отказ радиационной техники, эксплуатируемой в промышленности, медицине, НИИ и т.д.
- неисправности на ядерных транспортных средствах (спутники, летательные аппараты, подлодки и т.д.)
- аварии и происшествия на АЭС и др. предприятиях атомной индустрии.

Примеры:

- 1983 г., Мексика. Источник, содержащий Со-60, попал в партию металлолома. Произошло загрязнение автомобиля, обочин и продукции, произведенной из этого металла. Облучению подверглись 300-500 чел., 10 из них – в дозе 1-3 Гр.

- 1984 г., Марокко. Источник Ir-192, который использовался для радиографической проверки сварочных швов на стройплощадке, выпал из крепления экранированного контейнера и упал на землю. Его подобрал прохожий и отнес домой. Вся семья в составе 8 человек погибла от очень высоких доз облучения в пределах 8-25 Гр.

Аварии, не связанные с эксплуатацией АЭС, как правило, приводят к переоблучению одного или нескольких человек. Больше всего аварий наблюдается при эксплуатации радиоизотопных приборов (48%), дефектоскопических установок, в медицине и НИИ. К наиболее частым причинам аварий при эксплуатации приборов и установок относятся нарушения правил хранения, транспортировки, технологии, а в медицине – отказы системы перемещения источников.

Радиационные аварии, не связанные с АЭС, по последствиям делят на 5 групп:

- аварии, которые не приводят к облучению персонала, населения выше ДП или загрязнению ОС, не создают реальной опасности переоблучения или загрязнения;
- аварии, в результате которых персонал и лица из населения получили дозу внешнего облучения выше ДП;
- аварии, в результате которых была загрязнена производственная или ОС (выше ДУ);

- аварии, в результате которых персонал и лица из населения получили дозу внешнего и внутр. облучения выше значений, предусмотренных НРБ;
- аварии, в результате которых произошло внешнее и внутренне облучение персонала, лиц из населения и загрязнение ОС.

При проведении мероприятий по ликвидации радиационных аварий и их последствий основная задача:

- предотвратить возможность дальнейшего воздействия ИИ на персонал и население;
- выявить очаги загрязнения и пути распространения загрязнения;
- предотвратить распространение р/н в ОС;
- ликвидировать источник аварии;
- устранить последствия аварии.

#### *Аварии на объектах атомной энергетики и промышленности*

С целью классификации и унификации событий на АЭС с точки зрения их тяжести в 1989-1990 гг. под эгидой МАГАТЭ была разработана международная шкала ядерных событий (INES – International Nuclear Event Scale).

Шкала INES имеет восемь уровней (от 0 до 7) оценок, причем наибольший балл получила пока одна авария – авария на Чернобыльской АЭС. Шкала разделена на две части. Нижняя включает три уровня (1-3) и относится к инцидентам (происшествиям), верхняя часть из четырех уровней (4-7) соответствует авариям.

Аварии: 7 уровень – глобальная; 6 – тяжелая (Уиндскейл, Великобритания, завод по получению плутония, 1957); 5 – с риском для ОС (АЭС Три-Майл-Айленд, США, 1979); 4 – в пределах АЭС (Сант-Лаурент, Франция, 1980). События уровня 4-7 представляют непосредственную опасность для населения. К этой группе относятся события, которые приводят к радиационному воздействию на население, превышающему допустимое воздействие при нормальной эксплуатации.

Нижняя группа событий (уровни 1-3) представляет фактически лишь потенциальную угрозу для населения. Появление таких событий может восприниматься как ухудшение работы АЭС и вызывать тревогу. Такая группа событий не несет еще реальной опасности для населения, но является уже потенциально опасной. 3 – серьезное происшествие; 2 – средней тяжести; 1 – незначительное. Оценка 0 относится к происшествию ниже уровня шкалы (не влияет на безопасность).

Исследование причин возникновения аварий показало, что:

- основная часть аварий произошла из-за недостатков конструкции и по вине операторов;
- в большинстве случаев аварии произошли во время технического обслуживания (включая перегрузку топлива) или испытаний;

- почти все аварии могли быть предотвращены операторами при своевременном распознавании сигналов контрольно-измерительных приборов;
- в некоторых случаях аварии произошли во время останова реактора.

Радиологически значимые радионуклиды. При нормальной эксплуатации реакторов, охлаждаемых водой, радиационная обстановка в районе размещения АЭС формируется в основном выбросами инертных радиоактивных газов (ИРГ) (изотопов Ar, Kr, Xe),  $^{131}\text{I}$  и других продуктов деления ( $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ), а также продуктов коррозии —  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{54}\text{Mn}$  и т. д. С точки зрения радиационной опасности для населения, кроме нуклидов Kr, Xe и I, наибольшее значение имеют радионуклиды  $^{89}\text{Sr}$  и  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  и  $^{137}\text{Cs}$ , а также  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{95}\text{Nb}$ ,  $^{144}\text{Ce}$ ,  $^{144}\text{Pr}$ ,  $^{103}\text{Ru}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ .

### ***Охрана окружающей среды от радиоактивных загрязнений***

Охрана ОС от радиоактивных загрязнений обеспечивается следующими мерами:

- использованием совершенной технологии производства, которая сводит к минимуму количество образующихся р/а отходов и предупреждает их утечку (герметизация процессов, связанных с образованием р/а газов и аэрозолей, применение оборотного цикла водоснабжения и т.д.);
- методами обезвреживания, централизованного сбора и захоронения р/а отходов;
- организацией санитарно-защитных зон и планировочными мероприятиями.

#### **Лекция 4. Медицинские последствия облучения населения. Последствия крупномасштабной ядерной аварии в Беларуси**

Оценка состояния здоровья основных категорий пострадавших проводится путем анализа результатов диспансеризации 1,6 млн. человек, в том числе 344 тысяч детей, данных, поступающих в Государственный регистр лиц, пострадавших от Чернобыльской катастрофы (180 тысяч человек), и результатов исследований, выполняемых научными учреждениями Минздрава в рамках государственных программ и международных проектов.

На состояние здоровья населения оказывает влияние комплекс факторов радиационной и нерадиационной природы, обуславливающий изменение основных тенденций заболеваемости.

Основные факторы чернобыльской катастрофы, влияющие на здоровье радиационные:

- внешнее и внутреннее облучение: дозообразующие радионуклиды йода, цезия, стронция, трансурановых элементов.
- нерадиационные:
  - социальные;
  - экономические;
  - стресс;
  - восприятие риска.

В результате чернобыльской катастрофы радиойод (прежде всего йод-131) был одним из главных источников облучения населения, который воздействовал прежде всего на щитовидную железу. Самыми облученными жителями Беларуси оказались дети и подростки, особенно дети в возрасте до 7 лет. Результаты прямых измерений 1986 г. показали, что около 30 % детей в возрасте до 2 лет получили дозы выше 1 Гр. В наиболее загрязненных сельских населенных пунктах средние дозы облучения щитовидной железы детей младших возрастов достигали 3 Гр и более. Коллективная доза облучения щитовидной железы у жителей Беларуси в "йодный" период составила более 500 тыс. чел.-Гр.

Облучение щитовидной железы продолжается и после йодного периода, хотя и в гораздо меньших дозах за счет внешнего и внутреннего воздействия радиоактивного цезия. За послеаварийный период коллективная доза облучения щитовидной железы за счет радиоцезия у жителей республики составила более 21 тыс. чел.-Гр.

Продолжающееся в настоящее время радиационное воздействие на жителей республики, более чем на 90 % обусловленное долгоживущими радионуклидами цезия, формирует разные по величине и вкладу дозы внешнего и внутреннего облучения в зависимости от радиоэкологических условий и уровней загрязнения территорий цезием-137. Примерно половина коллективной дозы облучения населения республики было реализовано в первый год и около 80 % - в первые пять лет. При этом дети в возрасте до 7 лет на момент аварии получили около 15 % всей коллективной дозы, в возрасте

7-17 лет - около 10 %, взрослые - более 70 % коллективной дозы. Почти 5 % коллективной дозы приходится на лиц, родившихся уже после аварии.

В результате воздействия радионуклидов йода на раннем этапе аварии и недостаточной эффективности мероприятий по защите щитовидной железы с 1990 г. в Беларуси начал регистрироваться рост заболеваемости раком щитовидной железы, особенно среди детей. По сравнению с доаварийным периодом количество случаев рака щитовидной железы после чернобыльской аварии возросло среди детей в 33,6 раза, среди взрослых в зависимости от возрастных групп - в 2,5-7 раз. Наибольшее число случаев рака щитовидной железы выявляется среди жителей Гомельской и Брестской областей.

Беспрецедентный рост заболеваемости раком щитовидной железы потребовал принятия решений об улучшении организации медицинской помощи этой категории лиц. С этой целью были открыты Республиканский научно-практический центр опухолей щитовидной железы, Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека, налажено тесное сотрудничество с клиникой ядерной медицины Вюрцбургского университета (Германия). Лечение больных раком щитовидной железы включает оперативное вмешательство (тотальная тиреоидэктомия с шейной диссекцией), радиоiodотерапию для абляции остатков тиреоидной ткани и лечения метастазов, супрессивную терапию L-тироксином и последующую реабилитацию. Применение комплексного лечения позволило добиться для больных раком щитовидной железы детей и подростков уровня летальности 0,3%.

Среднегодовые показатели заболеваемости лейкозами детского населения всех шести областей Беларуси в течение послеварийного периода остаются стабильными. Отмечены тенденции к увеличению заболеваемости лейкозами у лиц пожилого возраста, однако установить связь с воздействием радиационного фактора пока не представляется возможным.

Уровни заболеваемости лиц, участвовавших в 1986-87 гг. в ликвидации последствий аварии, оказались выше по сравнению с населением аналогичного возраста, не проходящего специальную диспансеризацию. Особенно высоки различия в уровнях заболеваемости болезнями эндокринной системы, системы кровообращения, пищеварения, ишемической болезнью сердца, новообразованиями. Отмечается выраженная полиморбидность среди этой категории пострадавших. Имеющаяся в настоящее время эпидемиологическая и дозиметрическая информация не позволяет определить роль радиационного фактора в различиях уровней заболеваемости.

Уровень первичной инвалидности участников ликвидации последствий аварии в 1,6 раза выше, чем среди взрослого населения республики (114,3 и 71,6 на 10000 человек соответственно). Основными причинами первичной инвалидности являются болезни системы кровообращения и новообразования. Уровень смертности участников ликвидации последствий аварии остается более низким по сравнению со смертностью взрослого населения.

У населения, проживающего на загрязненных радионуклидами территориях, регистрируется более высокая заболеваемость болезнями

нервной и эндокринной системы, злокачественными новообразованиями щитовидной железы по сравнению с населением, не проходящим специальную диспансеризацию.

Зарегистрированные при проведении специальной диспансеризации повышенные уровни заболеваемости населения и участников ликвидации последствий аварии могут быть связаны не только с влиянием радиационных и нерадиационных факторов чернобыльской катастрофы, но и с так называемым эффектом "скрининга". Для выяснения роли радиационного фактора в изменении состояния здоровья пострадавших необходимо проведение долгосрочных радиационно-эпидемиологических исследований, которые уже частично реализуются на территории Беларуси в рамках национальных и международных программ.

У населения Беларуси, проживающего на территориях с плотностью загрязнения цезием-137 более  $555 \text{ кБк/м}^2$ , отмечено достоверное возрастание частоты некоторых врожденных пороков развития по сравнению с доаварийным периодом.

Частота нестабильных (дицентрические хромосомы, кольца) индикаторов радиационных воздействий значимо повышена у жителей Гомельской области по сравнению с таковыми у групп из г. Минска. Значимо увеличена также частота полиплоидных и анеуплоидных клеток, что также указывает на биологически эффективное влияние на наследственный аппарат лимфоцитов крови мутагенных факторов радиационной природы.

На основании результатов исследований как новорожденных, так и детей школьного возраста можно заключить, что по степени интенсивности мутационного процесса в соматических клетках дети 1986-88 гг. рождения были подвержены более эффективному воздействию на геном ионизирующего излучения. Вследствие этого указанный контингент должен быть отнесен к группе повышенного генетического риска.

Наблюдаемое увеличение нарушений внутриутробного развития у населения Беларуси следует рассматривать как следствие комплексных негативных воздействий на репродуктивную функцию. Основное значение из таких факторов очевидно имеют физические мутагены (радионуклиды), химические эмбриотоксины и неполноценное питание. Однако такое заключение требует дополнительных широкомасштабных исследований.

В целом действующая в республике система динамического наблюдения за пострадавшими от катастрофы на Чернобыльской АЭС с проведением ежегодных медицинских осмотров позволяет выявлять заболевания и своевременно проводить необходимые лечебно-реабилитационные мероприятия, что способствует сохранению здоровья пострадавших.

## Лекция 5. Организация санитарно-эпидемиологического надзора в области радиационной гигиены

Государственный санитарно-эпидемиологический надзор в области радиационной гигиены включает:

- радиационно-гигиенический мониторинг окружающей среды на поднадзорной территории;
- контроль деятельности радиационно опасных объектов;
- радиационно-гигиеническую экспертизу и паспортизацию предприятий.

Контроль за радиоактивностью окружающей среды в полном объеме осуществляется областными ЦГЭиОЗ, имеющими в составе радиологической группы (отделения) должность инженера-физика и врача-лаборанта. Этот контроль включает:

- выявление источников радиационного воздействия (естественной и искусственной природы) на население;
- определение контрольных участков и систематическое проведение необходимых дозиметрических, радиометрических и радиохимических исследований различных объектов внешней среды (атмосферного воздуха, воды, почвы, пищевых продуктов и др.) на обслуживаемой территории;
- измерение  $\gamma$ -фона на контролируемой территории.

Районные ЦГиЭ, в штате которого не предусмотрены должности инженера-физика и врача-лаборанта, при проведении контроля за состоянием радиоактивности внешней среды ограничивается отбором и подготовкой проб и направлением их для исследования в соответствующих учреждениях по указанию вышестоящего органа.

Основными задачами санитарно-эпидемиологического надзора за деятельностью учреждений и предприятий при использовании источников ионизирующих излучений являются:

- надзор за своевременным выявлением и устранением неблагоприятных изменений условий радиационной безопасности в учреждении, ведомстве или на поднадзорной территории;
- надзор за своевременным приведением условий радиационной безопасности в соответствие с вновь утвержденными законодательными и другими регламентирующими документами.

Объем и содержание радиационно-гигиенического надзора определяются назначением учреждения, характером и масштабами используемых источников, мощностью (активностью) отдельных источников и их совокупности, особенностями технологического процесса, системы защитных мероприятий и другими факторами.

В частности, на условия радиационной безопасности, а следовательно, и содержание текущего надзора влияют виды применяемых источников:

- электронно-физические установки, генерирующие ионизирующие излучения;

- радиационно-технические установки и радиоизотопные приборы технологического контроля;
- закрытые радионуклидные источники;
- открытые радионуклидные источники;
- ядерные реакторы.

Основным содержанием радиационно-гигиенического надзора при наличии радиологических групп (отделений) являются:

- соблюдение учреждениями, организациями и прочими объектами требований санитарных правил и норм радиационной безопасности при проведении всех видов работ, связанных с производством и применением, хранением и транспортировкой радиоактивных веществ и других источников ионизирующих излучений и переработкой полезных ископаемых с повышенной естественной радиоактивностью, эксплуатацией пунктов захоронения радиоактивных отходов и др.;

- правильность ведения учреждениями и другими объектами соответствующей документации, предусмотренной санитарными правилами и нормами радиационной безопасности;

- своевременное переоформление или продление санитарных паспортов;
- деятельность служб радиационной безопасности (объектовых, ведомственных лиц, ответственных за радиационную безопасность), в том числе рентгенорадиологических отделений;

- проведение предварительных и периодических медицинских осмотров лиц, отнесенных к категории А, согласно НРБ;

- расследование аварийных ситуаций, обеспечение радиационной безопасности при проведении аварийных работ и организация мероприятий при ликвидации их последствий.

В процессе радиационно-гигиенического надзора необходимо систематически уточнять, не произошло ли изменений:

- в ведомственной принадлежности, составе руководства, ответственных лиц, штатном составе учреждения (участка) для работы с источниками;

- в наборе, мощности (активности), техническом состоянии источников;

- в обеспечении условий сохранности используемых и неиспользуемых источников (при наличии последних следует особо оценить условия хранения, меры по их ликвидации);

- в технологии работы с источниками излучений, составе и оборудовании помещений для работы с ними, соответствии этих изменений санитарному паспорту учреждения;

- в условиях сбора, временного хранения и удаления радиоактивных отходов;

- в организации радиационного контроля, предупредительных и периодических медосмотров.

Особое внимание должно быть обращено:

- на соблюдение сроков переоформления санитарного паспорта (по истечении срока его действия работы с источниками должны быть

прекращены, а источники переданы другим учреждениям или ликвидированы в установленном порядке);

- на все случаи выхода из строя источников, технологического и защитного оборудования, нарушения правил внутреннего распорядка и инструкций по радиационной безопасности, полноту разработанных мероприятий по ликвидации последствий возникновения аварий и устранение причин их возникновения;
- на все случаи превышения допустимых и контрольных уровней, изменений в состоянии здоровья персонала;
- на уровень подготовки новых сотрудников и соответствие другим требованиям санитарных правил;
- на своевременность переоформления инструкций и других документов учреждения, предусмотренных санитарными нормами и правилами.

ЦГЭиОЗ, имеющие в штате радиологические подразделения, осуществляют:

- экспертную оценку соответствия проектируемых, создаваемых, вводимых в эксплуатацию учреждений, применяющих источники ионизирующих излучений, отдельных участков для работ или технических установок и т.д. действующим санитарно-гигиеническим нормам и правилам;
- обоснование и контроль за соблюдением санитарногигиенических рекомендаций по оптимизации системы радиационной безопасности, представленной на согласование;
- обоснование и контроль за выполнением перспективных планов оптимизации системы радиационной безопасности в отдельных учреждениях, в ведомствах и на поднадзорных территориях.

Кроме того, они осуществляют:

- участие в отводе участков под строительство объектов, связанных с работой источников ионизирующих излучений и радиоактивных веществ;
- рассмотрение и подготовку заключений по проектам строительства и реконструкции учреждений и прочих объектов или по изменениям профиля и технологии применения радиоактивных веществ и других источников ионизирующих излучений;
- рассмотрение и подготовку заключений по технической документации на установки, приборы, аппараты и другую радиационную технику, а также защитное и технологическое оборудование в случаях, предусмотренных действующими санитарными правилами;
- санитарно-гигиеническое обследование учреждений, предприятий и прочих объектов в целях выявления условий для проведения работ с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений;
- выдачу разрешений на использование транспортных средств для транспортировки радиоактивных веществ и других источников ионизирующих излучений;

- взятие на учет учреждений, организаций и других объектов, где производятся и применяются радиоактивные вещества и другие источники ионизирующих излучений;

- рассмотрение перспективных планов использования радиоактивных веществ и других источников ионизирующих излучений на территории, обслуживаемой ЦГиЭ.

Районные ЦГиЭ:

- подготавливают проекты решений и постановлений органов власти регионов, а также приказов и распоряжений органов здравоохранения по вопросам радиационной гигиены;

- составляют годовые и перспективные планы профилактических и санитарно-гигиенических мероприятий и участвуют в разработке планов санитарно-оздоровительных мероприятий заинтересованных учреждений;

- рассматривают и согласовывают планы-задания по дальнейшему улучшению санитарного состояния поднадзорных учреждений, охране внешней среды от загрязнения радиоактивными веществами, снижению доз облучения, получаемых населением за счет проведения медицинских рентгенологических и радиоизотопных процедур;

- анализируют результаты наблюдений за условиями труда и состоянием здоровья лиц, работающих с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений, и влияния радиационного фактора окружающей среды на население;

- осваивают и внедряют в практику новые дозиметрические, радиометрические и другие методы исследований, организационные формы и методы работы центров гигиены и эпидемиологии;

- проводят разъяснительную и санитарно-просветительную работу среди медицинского персонала и лиц, имеющих профессиональный контакт с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений.

В соответствии с законом «О радиационной безопасности населения» РЦГЭиОЗ ведет:

- учет индивидуальных доз облучения персонала и населения;
- оценку риска возникновения стохастических эффектов;
- организацию работ по составлению радиационно-гигиенических паспортов предприятий и территорий.

## Лекция 6. Предмет, метод и задачи радиационной эпидемиологии

Несмотря на прошедшие 70 лет, изучение состояния здоровья населения, подвергнувшегося облучению в результате воздействия техногенных источников ионизирующего излучения, продолжает оставаться одной из важных проблем науки и здравоохранения.

Для современного мира характерно развитие атомной энергетики вкупе с прогрессом в использовании ионизирующего излучения в медицине. Недавно добавилась и проблема ядерного терроризма, которую нельзя сбрасывать со счетов, а также вопросы утилизации радиоактивных отходов. Не устранена также вероятность аварий на ядерных объектах, число которых в мире увеличивается. Поэтому вопросы радиационной безопасности приобретают все большую актуальность, а разработка соответствующей базы для расчета рисков становится все более масштабной, реализуясь в том числе в формировании и поддержании радиационно-эпидемиологических регистров.

Сформировавшись первоначально в русле радиационной биологии и радиационной гигиены, радиационная эпидемиология выкристаллизовалась в самостоятельное научное направление, имеющее свой предмет, свою методологию и несомненную значимость. Наиболее интенсивное развитие радиационная эпидемиология получила после аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 г. Несмотря на время, прошедшее после аварии, изучение состояния здоровья населения, подвергнувшегося облучению в результате катастрофы, продолжает оставаться одной из важных проблем науки и здравоохранения. В целом, картина медицинских последствий аварии ясна: драматического повышения уровня смертности и заболеваемости среди населения и профессионалов не произошло.

Для оценки и прогнозирования медицинских последствий аварии на ЧАЭС наряду с анализом результатов прямых эпидемиологических исследований огромное значение имеют вопросы дозиметрии, радиобиологии, медицинской генетики и ряда других научных дисциплин. Однако, несмотря на серьезный прогресс этих направлений, до настоящего момента не получено однозначных научно обоснованных объяснений ситуации: ухудшение состояния здоровья пострадавших контингентов, рост уровня и изменение структуры общесоматической патологии, рост инвалидизации отдельных групп населения. Экспериментальные исследования не всегда проясняют ситуацию, а попытки систематизировать огромный биохимический и лабораторный материал зачастую еще больше ее запутывают. Все это делает очевидным необходимость пересмотра существующих концепций оценки радиационных воздействий в плане углубления фундаментальных областей знаний и опирающихся на них дисциплин прикладного назначения.

Основным методом научных исследований в радиационной эпидемиологии является эпидемиологический анализ уровня, структуры и динамики заболеваемости, смертности или инвалидности за какой-либо период времени или на данный момент. Основой служит статистический метод – научно организованный по единой программе сбор, сводка и анализ данных (фактов)

о состоянии здоровья и ведущих факторов риска (включая радиационный), социально-экономических и демографических процессах, с регистрацией их наиболее существенных признаков в учетной документации. Исследование должно проводиться по заранее разработанной программе с научно обоснованным методологическим, программно-математическим и компьютерным обеспечением.

Таким образом, основные принципы проведения крупномасштабных эпидемиологических исследований и создания информационных медицинских регистров в области радиационной эпидемиологии можно сформулировать следующим образом:

1. Создание постоянно действующего в рамках направления коллектива.
2. Теоретические исследования.
3. Система сбора данных.
4. Анализ полученных данных.

### **Современное состояние и научно-методологические аспекты развития радиационной эпидемиологии**

До определенного времени большинство исследователей считало, что для определения атрибутивных индикаторов воздействия радиации (например, показателей частоты рака или смертности) вполне достаточно материалов государственной регистрации заболеваний и причин смерти. Но с наступлением эпохи малых доз при проведении эпидемиологических исследований одной из важнейших задач на этапах сбора информации стала ее достоверность. В данном случае исследование, основанное только на материалах официальной отчетной статистики, может носить лишь предварительный, обобщенный характер и служить только первым приближением к истинной оценке.

Существуют различные методы решения подобной задачи, одним из которых является сбор информации по регистровой технологии, т.е. создание регистра данных – организационной структуры, в рамках которой сбор, хранение и анализ информации осуществляются одним коллективом по единым методикам. Регистровая технология позволяет наиболее качественно и оперативно заниматься изучением и верификацией именно персонифицированной информации.

В медицине термин «регистр» общепринято использовать для обозначения системы сбора, хранения и анализа информации об определенном контингенте лиц наблюдения на основе единой организационной и информационной технологии. При этом задачей контроля качества является максимальная объективизация получаемой информации с целью сведения к минимуму разного рода погрешностей, имеющих место при заполнении официальной медицинской документации.

В РНПЦ радиационной медицины и экологии человека по такой технологии функционирует Республиканский регистр лиц, подвергшихся воздействию радиации в результате аварии на Чернобыльской АЭС, созданный в 1987. В начале работы в его информационной базе находилась

информация о более чем 50 тыс. чел. После распада СССР в базе данных регистра в нём продолжает наблюдаться 25894 чел.

Задачи Отраслевого регистра лиц, подвергшихся воздействию радиации в результате аварии на Чернобыльской АЭС:

- мониторинг здоровья лиц, включённых в регистр,
- оценка риска возникновения радиационно-индуцированных заболеваний.

**Основные направления совершенствования радиационно-эпидемиологических исследований**

Анализ медицинских последствий воздействия ионизирующей радиации является чрезвычайно сложной научной задачей, требующей многолетних радиационно-эпидемиологических исследований. Учитывая сложность проблемы и ее социальную значимость, при проведении подобных исследований необходимо опираться на фактологическую базу, агрегированное значение индекса социальной ответственности всех компонентов которой полностью удовлетворяет высоким требованиям поставленных задач. В связи с этим, современная радиационная эпидемиология при проведении популяционных исследований отдаёт предпочтение использованию именно регистровой технологии получения сведений о медико-дозиметрических аспектах радиационных инцидентов, и именно технология персонифицированного автоматизированного сбора, хранения и анализа информации, подтверждаемая результатами на основе высоких стандартов качества, должна рассматриваться как неременный атрибут любого широкомасштабного радиационно-эпидемиологического исследования.

В концептуальном плане возможные направления совершенствования радиационно-эпидемиологических исследований можно сформулировать следующим образом.

Организационные мероприятия и технологический прогресс исследовательской деятельности:

- совершенствование методологического аппарата сбора данных: четкое представление о статистической мощности исследования, обязательный подбор специалистов – участников проекта, тщательный анализ различных методик исследования (когорты, случай–контроль и др.), контроль качества данных, обеспечение их полноты и верификации, детальный анализ ограничений метода;

- информационная составляющая проекта: позиционирование направления в качестве базиса принятия решений, развитие средств вычислительной техники и телекоммуникаций, рассчитанное на неуклонный рост объемов информации, формирование баз данных, их поддержание и мультицентровый обмен данными);

- методы анализа и интерпретации данных: совершенствование математического аппарата исследований, создание сложных математических моделей слабых взаимодействий, привлечение интеллектуальных технологий,

экстраполяция и прогнозирование риска, повышение достоверности прогнозных оценок, создание действующих оценок конкуренции рисков.

– Возможные направления улучшения фундаментальных основ радиационных исследований:

– дальнейшее изучение радиобиологических основ эффектов воздействия ионизирующих излучений, прогресс мировой радиобиологии человека и млекопитающих;

– получение новых объективных радиационно-эпидемиологических данных в области малых доз облучения человека; дальнейшее изучение эпигенетических эффектов и механизмов радиационного канцерогенеза, радиобиология нераковой патологии;

– ограничения и неопределенности беспороговой линейной модели «доза– эффект»;

– дозовые ответы при радиационно-индуцированных тканевых реакциях.

Возможные направления улучшения медицинского обеспечения широкомасштабных воздействий ионизирующей радиации:

– поиск диагностических подходов при радиационных воздействиях;

– систематизация неблагоприятных эффектов для здоровья;

– совершенствование методов лечения радиационной, сочетанной и комбинированной патологии;

– изучение индивидуальной радиочувствительности и включение подобных параметров в схемы медицинской помощи;

– обоснование контрмер и программ реабилитации при крупномасштабных радиационных воздействиях.

Возможные направления улучшения дозиметрического обеспечения широкомасштабных воздействий ионизирующей радиации:

– совершенствование приборной базы;

– разработка новых методов ретроспективной дозиметрии, методы реконструкции индивидуальных доз, развитие существующих методов математической реконструкции и прямой физической оценки дозовых нагрузок;

– биологическая дозиметрия, поиск новых более чувствительных цитогенетических показателей, по которым можно выявить незначительные пострадиационные изменения не определяемые рутинными лабораторными методами, используемыми в широкой практике;

– дозиметрия внутреннего облучения, роль инкорпорированных радионуклидов в формировании поглощенной дозы.

– Возможные направления улучшения экспертизы профессиональной патологии в случае широкомасштабных воздействий ионизирующей радиации:

– дальнейшее изучение специфической симптоматики;

– создание стандартов диагностики и лечения;

– унификация методик экспертной оценки.

В данной работе представлены те проблемы, которые встают на всех этапах эпидемиологического исследования риска возникновения

радиационно-индуцированных заболеваний: это сложности сбора, верификации медико-дозиметрических данных, обеспечения мощности исследования, разработки программного обеспечения создаваемых регистров, математического обеспечения анализа собираемого материала, обеспечения достоверности получаемых результатов, на основе которых будут разрабатываться мероприятия по радиационной безопасности.

## Лекция 7. Риск в условиях деятельности человека, социально-экономические критерии его приемлемости

### Понятие риска.

Современное общество все в большей мере сталкивается с проблемой обеспечения безопасности и защиты человека и окружающей среды от воздействия техногенных, природных и экологически вредных факторов. Промышленное производство, сконцентрировав в себе колоссальные запасы различных видов энергии, вредных веществ и материалов, стало постоянным источником серьезной техногенной опасности и возникновения аварий, сопровождающихся чрезвычайными ситуациями (ЧС). Внедрение в производство новых технологий не снижает уровень опасности, а влечет появление качественно иных видов риска.

Естественно, постоянное стремление к наиболее полному удовлетворению своих материальных и духовных потребностей приводит к увеличению масштабов производства, а, следовательно, и уровня техногенной опасности.

Как известно, наибольшую техногенную опасность несут в себе аварии и катастрофы на радиационно- и химически опасных объектах, о чем свидетельствуют три крупных ядерных катастрофы (в 1957 году в Уиндскейле, в 1979 году на АЭС в Три Майл Айленде, в 1986 году на Чернобыльской АЭС), произошло восемь серьезных аварий, в том числе с расплавлением активной зоны и повреждениями защитной оболочки ядерной установки, возникло более 30 пожаров. Общее же количество опасных происшествий и аварий на АЭС, сведения о которых поступили в базу данных Международной информационной системы по инцидентам на АЭС, составляет 247.

Крупных аварий на объектах с химической технологией, сопровождающихся тяжелыми последствиями, происходит значительно больше. Достаточно для примера назвать лишь несколько из них: аварию с выбросом диоксида, которая произошла в 1976 году в городе Севезо (Италия); катастрофу, имевшую место в 1984 году на химическом предприятии в городе Бхопал (Индия), которая сопровождалась большим выбросом метилизоцианата; пожар на складе химической продукции компании "Сандоз" в Базеле (Швейцария) и сброс загрязненных вод в Рейн в 1986 году и др.

Прямой экологический ущерб, связанный с техногенными авариями и хроническими заболеваниями, вызванными загрязнением окружающей среды, даже в такой развитой стране как США, составляют 4-6 % от валового национального продукта.

Любая авария на объектах с ядерной и химической технологиями оказывает негативное воздействие на окружающую природную среду. К сожалению, человечество еще не выработало надежных механизмов саморегуляции своих отношений с природой. Обратные связи появляются лишь в кризисных и катастрофических ситуациях. При этом процессы адаптации человека к складывающимся условиям зачастую происходят при доминирующем стремлении приспособить эти условия к своим нуждам. Свои

желания и стремления по удовлетворению своих жизненных потребностей человек не всегда правильно соотносит со "здоровьем" природы, с условиями экологического равновесия, следствием чего может быть неустойчивость и необратимая деградация экосистем. Политика антипропоцентризма, которой вольно или невольно до недавнего времени придерживались большинство государств, привела к существенному снижению качества окружающей среды.

Отмеченные выше обстоятельства свидетельствуют о высокой значимости в современных условиях проблемы обеспечения устойчивого, безопасного развития общества, защиты человека и окружающей среды от техногенных ЧС.

Ранее считалось, что техногенные ЧС являются непредвиденными, в силу чего их относили за счет случая, несчастья, стихийного бедствия и т.п. Этот негативный подход до сих пор отчасти оправдан в отношении сил природы, но в настоящее время сформулирован более активный подход, особенно к опасностям, проистекающим от человеческой деятельности. Сейчас признают, что техногенные ЧС в большинстве своем предсказуемы, а потому могут быть предотвращены с помощью соответствующих мер безопасности.

Состояние безопасности – такое состояние, когда не существует опасности аварии. Поскольку авария является следствием риска, то безопасность это отсутствие риска. Человеческая практика дает основание для утверждения того, что любая деятельность потенциально опасна. Таким образом, безопасность сама по себе не является самостоятельным понятием, поскольку она зависит от того, что понимается под вредом и риском.

Давая определение безопасности, следует всегда выражать ее через один или несколько рисков. Существует столько же степеней безопасности, сколько существует степеней риска. Полная безопасность относительно какого-либо риска может быть достигнута только путем устранения его источника. Во всех остальных случаях сохраняется та или иная степень риска, и поэтому достигаемая безопасность оказывается всегда ниже теоретической 100 %-ной безопасности.

В обиходе часто употребляется понятие "риск для жизни", "риск проигрыша", "риск потери" и т.п. В экологической литературе широко используются термины "риск аварии", "риск катастрофы", "экологический риск" и др. Анализ этих терминов показывает, что их толкование у каждого автора различно, и даже в научных статьях эти понятия используются часто на обиходном уровне. Такое произвольное использование понятия риска не вредит до тех пор, пока на этой основе не делаются какие-либо серьезные выводы и не принимаются ответственные решения. Однако, в последнее время в литературе стали обсуждаться такие вопросы, как управление риском и плата за риск, взимаемая с предприятий. В этом случае к самому понятию риска нужно относиться более серьезно, чтобы было понятно, за что же, в конце концов, приходится платить? И как построить механизм управления риском? Еще более остро встает проблема определения риска в связи с подготовкой международной Конвенции по трансграничному воздействию промышленных аварий. Некоторые статьи этой Конвенции непосредственно касаются оценки

риска промышленных аварий и путей снижения риска. Здесь уже возникает вопрос об адекватности понятия риска на международном уровне. О наличии трудностей в этом вопросе свидетельствует хотя бы такой факт, что в одном из последних вариантов Конвенции исключено определение термина "риск", которое присутствовало в первых вариантах.

Сложность заключается в том, что к настоящему времени не существует разработанной теории риска промышленных аварий, равно как и риска других неблагоприятных явлений, и, более того, нет однозначного толкования термина "риск" применительно к экологическим проблемам.

В публикациях по проблемам экологии термин "риск" ассоциируется с совершенно разнородным кругом понятий. Наиболее ярко это прослеживается по материалам Всесоюзной конференции "Катастрофы и человечество". В одних докладах, где речь идет о сейсмической опасности, считается, что сейсмический риск – это ожидаемые убытки от землетрясений. Здесь риск напрямую отождествляется с известным понятием ущерба, поэтому такое определение риска противоречит принципу соответствия. Кроме того, в количественном отношении величину ущерба нельзя считать строго определенной. Оценка ущерба – это, скорее, искусный набор приемов и правил, чем предмет точной количественной теории, поэтому отождествление риска с ущербом неприемлемо при попытке создания аксиоматической количественной теории риска.

Часто в литературе используется термин "риск жизни", "риск проживания", причем количественная оценка этого понятия дается как отношение числа погибших за определенный срок к полному числу жителей какого-либо региона.

Аналогичным образом используется понятие риска при оценке числа жертв в авиакатастрофах. Но отношение числа погибших к полному числу людей проживающих в данном регионе есть просто статистическая оценка вероятности гибели людей при катастрофических явлениях (авариях, стихийных бедствиях, экологических катастрофах). Здесь снова налицо подмена одного термина ("вероятность") другим ("риск").

В других докладах уровень риска определяется как вероятность того, что в отдельной поездке по железной дороге возникает чрезвычайная ситуация, реализовавшаяся в виде крушения или аварии. Если отбросить неуместное здесь использование термина "чрезвычайная ситуация", то здесь также риск отождествляется с вероятностью аварии. Такая подмена ничего нового и конструктивного не привносит. Кроме того, вероятность аварии, рассматриваемая как вероятность выхода из строя системы вследствие отказа в работе ее элементов, является предметом исследования хорошо разработанной теории надежности, и теории риска, как таковой, не существует.

В некоторых работах пытаются использовать термин "риск" совершенно произвольным образом и вместо количественной оценки меры риска вводят качественную. Например, определяется "потенциал риска" как степень устойчивости каждого ландшафта, т.е. способность ландшафта к

самоочищению от антропогенных загрязнений и возможность самовосстанавливаться после стихийного бедствия. Однако, такая трактовка грозит смешением с понятием экологической емкости ландшафта. Кроме того, выделяют следующие градации степени риска: катастрофические, крайне опасные, особо опасные, опасные и слабо опасные, заранее отвергая, таким образом, надежду на возможность количественной оценки риска.

Существует также понятие о риске как о произведении вероятности появления неблагоприятного события и стоимостного выражения его последствий. Основанием для такого определения риска послужило, по-видимому, определение риска, используемое в теории операций. Однако, там понятию риска придается несколько иное толкование, о чем речь будет идти ниже. Кроме того, при попытке построить строгую количественную теорию риска не годится вводить произвольно оцениваемое понятие "стоимости". Такой подход вполне пригоден для прогноза ущерба, но не для оценки риска.

В справочнике дается определение экологического риска и риска в природопользовании как вероятности неблагоприятных последствий, в том числе и промышленных аварий. Такое определение нельзя считать конструктивным, поскольку оно сводится к замене одного термина другим. Действительно, любое неблагоприятное последствие может быть названо и определено как некоторое событие, в том числе и авария.

Тогда становится очевидной бессмысленность замены словосочетания "вероятность аварии" на "риск аварии".

Таким образом, анализ источников информации показывает, что наиболее часто понятие "риск" отождествляют с вероятностью катастрофического явления, ущербом и вероятностью гибели людей. Такая трактовка риска интуитивно ассоциируется с потерей, с неблагоприятным исходом. Основываясь на таком понятии риска, в теории операций дается математически корректное определение риска как разности между выигрышем, который некий игрок получил бы, если бы знал стратегию противника, и выигрышем, который он получит в тех же условиях, применяя свою стратегию (не зная стратегии противника). Если известны вероятности  $P_j$  применения противником  $j$ -ой стратегии и известен соответствующий риск

$$R = \sum_{j=1}^1 P_j r_j$$

т.е. в данном случае риск определяется через разность выигрышей, а выигрыш – через категорию стоимости, которая воспринимается как ущерб. По-видимому, этим и объясняется использование понятия риска как произведения вероятности появления неблагоприятного события и стоимостного выражения последствий этого события. Однако, анализ определения риска, позволяет трактовать риск не как ущерб, а как недополучение возможного выигрыша. Это недополучение может происходить из-за незнания действительной стратегии противника, т.е. из-за потери информации о состоянии объекта. Таким образом, если стратегия

противника известна наряду с вероятностью ее применения, т.е. если субъект имеет полную информацию о состоянии объекта, то не имеет смысла говорить о риске, можно говорить лишь о прогнозе ущерба, для чего необходимо ввести в теорию понятие стоимости, количественная оценка которой довольно не определена. В то же время трактовка риска как недополучения возможного выигрыша, сохраняет надежду на корректное определение этого недополучения в категориях точной теории. Путь к реализации этой надежды лежит через вышеупомянутую связь риска с потерей информации о состоянии объекта.

Одним из подходов к количественной мере ценности информации является оценка среднего риска некоего наблюдателя, ведущего наблюдения за определенным объектом и делающего выводы о состоянии объекта. Наблюдатель может совершать ошибки. Эти ошибки штрафуются. С этой целью вводится функция штрафов  $s(x,u)$ , где  $x$  - случайная величина, характеризующая состояние объекта,  $u$  - оценка этого состояния наблюдателем. Если плотность вероятности нахождения объекта в состоянии  $x$  есть  $\varphi(x)$ , то средний риск наблюдателя, составляет  $R(u) = \int s(x,u) \varphi(x) dx$ . В данном случае недостаток такой трактовки риска вырисовывается еще более ярко. Действительно, для оценки риска предложенным способом необходимо, кроме объекта и наблюдателя, наличие еще и третьего субъекта, при помощи которого назначаются функции штрафа, оцениваются ошибки наблюдателя и происходит их штрафование. При таком подходе сохраняется основной недостаток – необходимость использования категории стоимости и некорректно определяемого понятия штрафа. Однако, несомненным достоинством такой трактовки является прямая связь риска с информацией о состоянии объекта. Поэтому целесообразно считать, как было предложено выше, такой подход к оценке объекта как прогноз ущерба, а более подходящую трактовку риска поискать в других теориях, где оценка риска не требует введения понятия стоимости или штрафа.

Подходящая трактовка риска существует в теории надежности. Вместо риска игрока или риска наблюдателя, рассмотренных выше, в этой теории вводятся понятия риска поставщика и риска потребителя. Рассмотрим эти понятия подробнее. Пусть имеется партия изделий, содержащая долю  $q$  брака. Если заведомо известно, что  $q = 0$ , т.е. в партии нет бракованных изделий, то вероятность приемки такой партии потребителем  $P(0) = 1$ . Если известно, что  $q = 1$ , то приемка такой партии невозможна, т.е.  $P(1) = 0$ . Таким образом, для любой партии изделий можно определить, так называемую, оперативную характеристику  $P(q)$  как функцию вероятности того, что потребитель примет партию изделий, содержащую долю  $q$  брака. Истинную величину  $q$  никто не знает. Поэтому поставщик и потребитель договариваются, например, о двух числах  $q_1$  и  $q_2$ . Если при случайном выборочном контроле окажется, что доля бракованных изделий меньше  $q_1$ , то партия принимается, если окажется, что эта доля превышает  $q_2$ , то партия целиком бракуется. Однако, в силу случайного характера выборки, может оказаться что партия будет забракована, т.е. будет принято решение, что  $q_1 > q_2$ , хотя на самом деле

партия в целом вполне удовлетворительна по используемому критерию. Вероятность такого события, очевидно, равна  $1 - P(q_1)$  и называется риском поставщика или ошибкой первого рода  $\alpha$ . Также может оказаться, что партия будет принята, хотя на самом деле она сильно засорена бракованными изделиями. Вероятность такого события, т.е. вероятность приемки плохой партии, равна  $P(q_1)$  и называется риском потребителя или ошибкой второго рода  $\beta$ . Таким образом, здесь риск связывается с вероятностью принятия неправильного решения о качестве партии изделий.

Применительно к риску аварии хотя пока и не ясно, кто является "поставщиком", а кто – "потребителем", плодотворность такого подхода, однако, видится в том, что, во-первых, риск связывается с вероятностным характером получения информации о состоянии объекта (партии изделий, среди которых есть бракованные), и, во-вторых, с возможностью количественной оценки риска.

Кроме того, увязывание понятия риска с ошибками первого и второго рода наталкивает на мысль об использовании теории распознавания образов методами статистической проверки гипотез. Действительно, в теории распознавания образов существует определение термина "риск". Именно, риск распознавания – это величина, характеризующая потери или убытки, вызванные неправильными или неточными решениями, принимаемыми в процессе распознавания образов.

Хотя в таком определении можно разглядеть недостаток, заключающийся в свободе выбора конкретной величины, характеризующей потери; достоинство определения видится в том, что риск связывается с возможностью принятия неправильных решений, в результате которых могут возникнуть неблагоприятные последствия, например, аварии.

Таким образом, анализ понятия риска, используемого в хорошо разработанных отраслях науки, позволяет сделать вывод, что, согласно принципу соответствия, сформулированному выше, определение риска аварии должно основываться на понятии вероятности какой-либо операции, связанной с принятием решения о состоянии объекта. Если на основании информации, получаемой от объекта, выносится правильное решение о его состоянии, например, аварийном, то, в принципе, авария может быть предотвращена. Если же решение выносится неправильно, например, принимается, что состояние не аварийное, хотя на самом деле это не так, или наоборот, принимается решение, что состояние объекта аварийное при безаварийной ситуации в действительности (ложная тревога), то в любом случае может произойти авария. Отсюда видно, что риск аварии в действительности определяется вероятностью неправильного решения о состоянии объекта. Конкретный пример – риск парашютиста при пользовании парашютом. Аварией здесь является нераскрытие парашюта. Риск такой аварии связан с неполнотой информации об исправности парашюта. Если парашютист берет наугад случайный парашют и использует его, риск велик.

Однако, если парашютист сам производит укладку парашюта, сам проверяет исправность всех его систем и деталей, риск уменьшается. Это

уменьшение риска связано с приобретением дополнительной информации о состоянии парашюта в ходе его укладки. Если бы на парашюте была "красная лампочка", дающая сигнал об аварийном состоянии, риск аварии был бы минимальным. Из этого примера ясно, что риск аварии и вероятность аварии – два совершенно разных понятия.

Именно, риск аварии был связан с неполнотой информации о состоянии объекта, а вероятность аварии связана с надежностью элементов и систем и является предметом исследования хорошо разработанной теории надежности. Таким образом, на основании изложенного предлагается:

**Определение 1** Риск аварии - это потеря информации о состоянии объекта. Количественно риск оценивается вероятностью пропуска сигнала об аварийном состоянии объекта.

Такое определение соответствует принятым понятиям риска в других отраслях науки. Действительно, везде риск ассоциируется с недополучением, убытками, потерями. Здесь риск связывается с потерей (пропуском) информации, сигнала. Конструктивность данного определения заключается в возможности строгого количественного анализа риска и разработки математических моделей риска. Кроме того, такое определение риска позволяет использовать хорошо разработанную теорию обнаружения сигналов, методологию которой целесообразно положить в основу теории риска.

Исходя из определения 1, можно считать, что экологический риск – это вероятность потери информации о неблагоприятном экологическом состоянии того или иного объекта. В соответствии с изложенной методологией возникают задачи исследования сигналов-предвестников о неблагоприятных экологических ситуациях, исследования помех и т.д. Аналогом промышленной аварии при этом будет экологическая катастрофа. Таким же образом можно поставить вопрос о риске для жизни и здоровья людей с медико-биологической точки зрения. В этом случае риском является вероятность пропуска информации об угрозе для жизни и здоровья людей, а не вероятность самой гибели. Разница между этими понятиями в свете выдвинутой концепции очевидна. Здесь также возникает целое направление исследований – поиск и анализ характеристик предвестников и помех, разработка методов и путей предотвращения гибели людей на основе полученной информации. Аналогом промышленной аварии в этом случае является событие массовой гибели или болезни людей.

**Анализ риска** является частью *системного подхода к принятию политических решений, процедур и практических мер в решении задач предупреждения или уменьшения опасности для жизни человека, заболеваний или травм, ущерба имуществу и окружающей среде*, называемого в нашей стране *обеспечением промышленной безопасности*, а за рубежом - *управлением риском*. При этом *анализ риска* или *риск-анализ (Risk Analysis, Process Hazard Analysis)* определяется как *систематическое использование имеющейся информации для выявления опасностей и оценки риска для отдельных лиц или групп населения, имущества или окружающей среды*.

**Анализ риска** заключается в выявлении (идентификации) опасностей и оценке риска. **Опасность** - источник потенциального ущерба либо вреда или ситуация с возможностью нанесения ущерба, а **риск (Risk)** или **степень риска (level of risk)** - это сочетание частоты или вероятности и последствий определенного опасного события. То есть понятие риска всегда включает два элемента: частоту, с которой происходит опасное событие, и последствия опасного события. Применение понятия риска, таким образом, позволяет переводить опасность в разряд измеряемых категорий.

**Риск, фактически, есть мера опасности.**

**Идентификация опасности** – процесс выявления и признания, что опасность существует и определение ее характеристик.

*Завершается выбором дальнейшего направления деятельности.*

**Оценка риска** - это использование доступной информации и научно-обоснованных прогнозов для оценки опасности воздействия вредных факторов окружающей среды и условий на здоровье человека. **Оценка риска** включает в себя анализ частоты, анализ последствий и их сочетание.

Эффективность оценки риска существенно зависит от уровня:

- 1) развитости и точности расчетных методик;
- 2) вспомогательных средств для применения методик на практике (баз данных, системы получения информации и пр.);
- 3) квалификации и компетентности экспертов, осуществляющих анализ риска;
- 4) организации анализа риска, включающей вопросы выбора объектов для анализа, финансирования экспертизы и способы привлечения наиболее квалифицированных специалистов для экспертизы.

### **Классификация источников риска смерти для человека.**

Изучение ряда работ отечественных и зарубежных ученых, экономистов, посвященных указанной тематике, позволяет сделать вывод о возможности систематизации и обобщения критериев классификации:

1. По генезису, характеру возникновения (преднамеренные, непреднамеренные).
2. По уровню и видам последствий. Классификация по этому критерию предполагает дифференциацию рисков по видам ущерба, поскольку ущерб, причиненный окружающей природной среде, а также жизни, здоровью людей в результате различных техногенных катастроф, аварийных выбросов и т.д., есть не что иное, как последствия реализации экологических рисков. Классификация по формам проявления ущерба (последствий реализации экологических рисков) представлена на рисунке.



3. По принципу рассмотрения экосистемы, окружающей среды как системы, что делает возможным триггерный эффект (распространение и приумножение риска) вследствие взаимосвязи и взаимообусловленности элементов экосистемы.

Окружающая среда, являясь сложной системой, включает в себя, по определению Н.Ф. Реймерса, пять составляющих:

- природная среда;
- квазиприродная среда (агроценозы и др.; преобразованная человеком природой);
- артеприродная среда (артеискусственный риск);
- материальная социальная среда, формируемая всеми вышеперечисленными составляющими, создающими определенный информационный климат (природа родины, ее культурные ландшафты, памятники культуры и т.п.);
- социально-духовная среда, включающая способы общения, поведения людей, их доминирующие социально-психологические ценности и т.п.

Очевидно, что в результате антропогенных воздействий на природную среду наблюдаются ее негативные изменения, возникают экологические опасности, которые могут вызвать неблагоприятные последствия в каждой из пяти подсистем окружающей среды.

1. По виду реципиента восприятия риска:

- риск для здоровья (жизни) населения (социальные последствия) и условий хозяйствования (экономические последствия);
- риск для природных ресурсов (экологические последствия);

- риск для структурно-функциональных характеристик ландшафтов (географические последствия).
- 2. По уровню рациональности природопользования (имеются в виду достигнутые масштабы мероприятий по вовлечению природных ресурсов и объектов в хозяйственный оборот, масштабам их охраны, темпам воспроизводства) — допустимые и пренебрежительно малые:
  - допустимые (приемлемые) риски характеризуются числом жертв в результате немедленной или отдаленной смерти (при четкой ее связи с рассматриваемым событием), хронических заболеваний от гипотетической катастрофы или аварии, которое не превышает одного случая на миллион жителей в год;
  - пренебрежительно малым считается риск, не превышающий такой уровень, который нет смысла принимать в расчет и предпринимать дальнейшие меры по повышению безопасности (поскольку это требует значительных затрат).
- 3. По степени распространения риска: локальный (региональный), глобальный.

Наиболее полной и системной по этому критерию выглядит классификация, предложенная А.В. Яблоковым:

Локальные экологические риски — это риски, связанные:

- с промышленными авариями и катастрофами (один раз в день в России происходят крупные разрывы трубопроводов; один раз в неделю — крупные железнодорожные катастрофы; один раз в месяц — аварии на промышленных предприятиях с серьезными экономическими последствиями; один раз в полгода — сверхкрупные аварии); с радиоактивным загрязнением окружающей среды;
- с конверсией оборонных отраслей (предприятий), т.е. с уничтожением химического и ядерного оружия, ракет;
- с образованием, транспортировкой и захоронением опасных промышленных отходов; с развитием традиционной, атомной и других видов энергии;
- с загрязнением поверхностных и подземных вод; с принятием крупномасштабных проектов природопользования (например, освоение новых нефтяных и газовых месторождений на суше и море, крупномасштабных транспортных средств);
- с повышением уровня экологической опасности в зонах экологического бедствия и неблагополучия.

Глобальные экологические риски — это риски, связанные:

- с глобальным изменением климата (озоновая «дыра»);
- со снижением биологического разнообразия.

Кроме вышперечисленных рисков, которые достаточно часто обсуждаются в отечественной и зарубежной научной литературе, в работах А.В. Яблокова выделяются и так называемые *нетрадиционные риски*:

- экологический риск истощения, расхищения растительных и животных природных ресурсов (рыбных, лесных, охотничьих);

- риск, связанный с широким освоением космоса;
- с внешнеэкономической деятельностью;
- с подтоплением территорий;
- экологический риск приватизации и развития негосударственных форм собственности;
- экологический риск, связанный с утратой плодородия почв;
- с потерей влажных местообитаний (в том числе болот);
- с сокращением рекреационной емкости территорий;
- с сокращением и исчезновением лечебных и курортных зон;
- риск от сочетания действия неопасных доз и концентрации различных загрязнителей (например, радиации и пестицидов).

Следует отметить, подчеркивая взаимообусловленность критериев классификации экологического риска, что все рассмотренные и выявленные виды риска возникают не обособленно друг от друга, а находятся в тесной взаимосвязи, взаимопроникновении, возможности трансформации одного вида в другой (локальный — глобальный — нетрадиционный и т.д.), когда появление одного из них может повлечь реализацию с соответствующими последствиями многих других. Яркий пример этому — землетрясение в марте 2011 года в Японии с последующим цунами, выходом из строя 4 реакторов АЭС «Фукусимы», радиационным заражением почвы, моря, воздуха, тысячами человеческих жертв (последствия реализации нескольких локальных рисков повлекли за собой появление многих других, трансформацию в глобальный риск, по сути — риск экологической катастрофы).

Как уже отмечалось, *понятие риска сочетает в себе, как минимум, две вероятности: вероятность реализации неблагоприятного воздействия и вероятность поражения, потерь, нанесенных этим воздействием объектам окружающей среды и населению.* Риск означает вероятность возникновения конкретного эффекта в течение определенного времени или при определенных обстоятельствах.

При этом риск отличается как от вероятности воздействия, так и от вероятности причиненного ущерба. *Риск может быть близок к нулю, несмотря на то, что вероятность реализации неблагоприятного события (постоянно действующие негативные факторы) или вероятность поражения (чрезвычайно редкие явления разрушительной силы) близки к единице. В общем случае величина риска изменяется в пределах от нуля до единицы. Риск — это количественная или качественная оценка меры опасности; соответственно, экологический риск — это количественная или качественная оценка экологической опасности неблагоприятных воздействий на окружающую среду.*

### **Закономерности восприятия риска**

Человек не может держать в поле зрения все многообразие рисков. В любом обществе, будь то индустриальная держава или примитивное племя, люди относятся к риску избирательно, проявляя повышенное внимание всего

к нескольким его видам и игнорируя остальные. В общественном сознании риск преувеличивается или преуменьшается в зависимости от того, является ли вызывающая его деятельность приемлемой с точки зрения социальных, нравственных и культурных критериев данного общества.

Например, в США основной риск для здоровья связан с сердечно-сосудистыми заболеваниями, раком легких вследствие курения и автокатастрофами. В то же время население страны более чем где бы то ни было обеспокоено промышленным загрязнением и связанным с ним риском заболевания раком. Эта опасность, по мнению большинства американских ученых, сильно преувеличена. Данные медицинской статистики свидетельствуют, что ожидаемая продолжительность жизни американцев увеличивается, общая заболеваемость раком относительно низка, а темпы ее роста не выше, чем в других странах. Ф. Хэндлер, бывший президент Национальной академии наук, отмечает, что «все виды загрязнений могут вызывать, а вернее способствовать возникновению около 5% случаев рака».

Специфика общественного восприятия риска во многом обусловлена **психологическими факторами**. Люди принимают во внимание самые разнообразные характеристики риска (см. таблицу), в зависимости от которых риск представляется более или менее значительным. Добровольный риск, т.е. тот, которого можно избежать, кажется людям меньшим, чем недобровольный. Риск видится не таким опасным, если он поддается индивидуальному контролю. Люди обычно больше боятся отдаленных последствий, например, заболевания раком, чем немедленных проявлений воздействия, скажем, отравления. Риски, связанные с природными явлениями и процессами, более приемлемы, чем те, которые вызваны деятельностью человека. Вместе с тем люди испытывают трудности в понимании вероятностных оценок, особенно если речь идет о малых величинах или о незнакомых рисках.

Риск, связанный с разного рода авариями и катастрофами, общественное мнение рассматривает как более опасный по сравнению с каждодневным риском. Все то, что привлекает внимание к риску, например, драматические события или интерес средств массовой информации, способствует восприятию риска как значительного. Риск, с которым связано получение каких-либо выгод, оказывается более приемлемым. Сводить же выгоды к денежной оценке ошибочно, поскольку человеческие потребности многообразны и, кроме того, само понятие выгод различно в зависимости от тех или иных социокультурных условий. Для восприятия риска немаловажно и то, считается ли распределение риска и выгод справедливым или нет. Многим, например, покажется несправедливым дышать выбросами близлежащего предприятия и не иметь возможности там работать или пользоваться иными благами.

Таким образом, при взаимодействии непосредственно фактора риска с социальными, институциональными и культурными процессами может происходить усиление или ослабление общественной реакции на этот риск. Усиление возможно на двух этапах: во время передачи информации о риске

и в процессе формирования общественной реакции. Образно говоря, информация о риске поступает на индивидуальные или общественные «ретрансляционные станции», это могут быть эксперты в конкретной области, средства массовой информации, деловые или политические круги, группа знакомых или родственников и т.д. Усиленный на первом этапе сигнал определяет реакцию общества, которая в свою очередь может еще в большей степени повлиять на восприятие риска.

Таблица 1

*Общественное восприятие риска: факторы воздействия*

Фактор	Условия, при которых риск воспринимается как значительный	Условия, при которых риск воспринимается как незначительный
1. потенциальная опасность	источники и виды негативного воздействия определены во времени и месте	источники и виды воздействия возникают спорадически; хорошо знакомый
2. знакомство с риском	непривычный	хорошо знакомый
3. понимание	процессы и механизмы не понятны в научном плане	процессы и механизмы понятны, риск хорошо изучен наукой
4. неопределенность	существует неопределенность или риск не изучен	контролируемый
5. контролируемость индивидуумом	неконтролируемый	контролируемый
6. добровольность принятия риска	недобровольный	добровольный
7. воздействие на детей	дети подвержены риску в особой степени	дети не подвержены риску в особой степени
8. проявление последствий	отдаленное воздействие	немедленное воздействие
9. воздействие на будущие поколения	риск для будущих поколений	нет риска для будущих поколений
10. идентификация пострадавших	видимые жертвы	статистические жертвы
11. страх	последствия вызывают страх	вызывают страх последствия
12. доверие институтам, несущим ответственность	недостаток доверия	недоверие
13. внимание средств массовой информации	большое внимание	незначительное внимание
14. катастрофы	крупные и менее значимые катастрофы	отсутствие крупных или незначительных катастроф

15. справедливость риска и выгод	несправедливое распределение риска и выгод	справедливое распределение
16. выгоды	неясные выгоды	ясные выгоды
17. обратимость	воздействие необратимо	воздействие обратимо
18. происхождение	вызвано действиями или ошибками человека	вызвано природными явлениями или стихией

### Восприятие радиационного риска

В чернобыльской эпопее в разные периоды сработали практически все социально-психологические факторы, которые переводят в общественном сознании риск в категорию более значительного.

Таблица 2

*Психологические факторы, работавшие на усиление риска после Чернобыльской аварии*

ФАКТОРЫ И ОСОБЕННОСТИ	КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
Потенциальная опасность (определенность в пространстве и во времени)	Первоначально определенная территория загрязнения неоднократно расширялась, точная география загрязнения определена только спустя 5—6 лет после аварии (145 тыс. км <sup>2</sup> территории), долгоживущие радионуклиды (время полураспада <sup>137</sup> Cs — 30 лет)
Осведомленность о риске (знакомый/незнакомый)	До аварии был известен населению только по информации о поражающем действии ядерного оружия
Понимание механизмов действия на человека	Не существует единого мнения о действии малых доз облучения на человека
Возможность индивидуального контроля	Не поддается чувственному восприятию или наблюдению, сложность организации массового контроля индивидуальных доз облучения
Добровольность принятия риска	Недобровольный для большинства населения и ликвидаторов
Особая опасность для детей	Повышенный риск патологии щитовидной железы, врожденных аномалий
Отдаленное проявление последствий	С учетом возможных генетических последствий нет ограничения во времени
Идентификация пострадавших, видимые жертвы	Официальные сообщения о погибших, перенесших ОЛБ, случаях рака ЩЖ, сообщения в СМИ о тысячах умерших среди ликвидаторов и населения
Доверие институтам, несущим ответственность	Глубоко укоренившееся недоверие властям, подорванный авторитет специалистов
Участие СМИ	Крайне активное (после 1989 г.)
Авария/каждодневный риск	Крупная авария (глобальная катастрофа?)

Выгоды от риска	Единых оценок для Чернобыля нет; по мнению населения экономические выгоды (льготы и компенсации) неадекватны ущербу
Причина (техногенная/природная)	Промышленная деятельность государства (конструктивные и технологические недостатки реактора, нарушение регламента работы блока)
Справедливость в распределении риска и выгод	Трудно установить критерии справедливости в случае радиационного риска

### Механизм социального усиления риска

Психологические факторы многократно усиливались в ходе острой политической борьбы, развернувшейся на рубеже 90-ых годов. Отдельные лица, группы и организации, которые хотели привлечь к себе общественное внимание, с помощью СМИ драматизировали события. Это, в свою очередь, усиливало беспокойство общества и расширяло круг тех, кто считал себя пострадавшим. Работа этого «механизма усиления» имела самые серьезные социальные последствия, определившие на много лет вперед крайне негативное отношение общества к атомной энергетике.

Кто эти люди и организации, которые сыграли активную роль в усилении общественного беспокойства?

Это, в первую очередь, *местные власти и политические деятели*. Движимые разнообразными мотивами (от желания увеличить компенсации со стороны государства до привлечения общественного внимания к своей личности) эти люди действовали, по-видимому, вполне искренне. Однако слабое понимание предмета, нежелание пользоваться официальной информацией, равно как и сама логика противостояния неизбежно приводила их к драматизации послеаварийной ситуации. Информационные возможности местных властей были высоки, и доверие к ним выше, чем к государству в целом, поэтому воздействие на население оказалось очень серьезным.

Вторая группа, действующая до сих пор, это — *общественные организации*. Например, проводимые экологическими организациями кампании по сбору средств для отправки детей на отдых из условий умеренного климата средней полосы России на юг — в Крым или на Кубу. Такие акции дают сомнительный эффект как по мотивации сбора средств — все дети поражены радиацией (а это не так), так и по достигаемому профилактическому эффекту (акклиматизация дает большую нагрузку на организм ослабленных детей). Еще один пример — сбор пожертвований на лечение детей с острой лучевой болезнью после Чернобыля (на самом деле ни одного случая ОЛБ у детей не было). Определенную роль сыграли и общественные организации ликвидаторов, склонные, с одной стороны, к сохранению обретенного статуса жертвы и соответствующих компенсаций и пособий, а с другой стороны, к мифологизации своего участия в радиационной аварии. И то и другое требует драматизации ситуации для привлечения сочувствия со стороны общества.

Третья группа — *представители культуры*. Их вклад ясно виден в начальный период после аварии. Например, по инициативе деятелей культуры стала обсуждаться не только опасность захоронения жертв Чернобыля, но и невозможность захоронения умерших в «зараженную» почву. И первая, и вторая проблемы (за исключением уникальных случаев) лишены смысла, но имеют колоссальный эмоциональный потенциал воздействия. Свойственная литераторам и журналистам подмена профессиональных научных терминов на бытовые понятия также вела к драматизации: радиоактивное загрязнение территории сплошь и рядом заменялось радиоактивным заражением и даже поражением территории.

Развитие рыночных отношений в экономике, приведшее к противостоянию атомной и тепловой энергетики в стране, выявило еще одну группу, включившуюся в драматизацию чернобыльских событий на более поздних этапах, это — *организации, использующие альтернативные технологии*.

Роль и активность этих групп и лиц была разной на различных фазах после аварии. Общим результатом стало усиление общественного беспокойства и закрепление в общественном сознании самых мрачных и некомпетентных прогнозов как уже свершившихся или неизбежных.

### **Чернобыль в литературе и искусстве**

Событие такого масштаба, как авария на Чернобыльской АЭС, не могло не привлечь к себе внимания журналистов, писателей, художников и других деятелей искусства. Однако в первые годы в условиях фактического запрета на распространение связанной с аварией информации публиковались лишь те статьи допущенных в зону бедствия журналистов, которые отражали официальную точку зрения. Только спустя годы участники событий стали делиться своими воспоминаниями и переживаниями на страницах мемуаров.

### **Мемуаристика**

Мемуарная литература, посвященная аварии на Чернобыльской АЭС, довольно многослойна, и помимо традиционных для мемуаров мотивов многими авторами двигало стремление приоткрыть причины катастрофы, что придавало их воспоминаниям исследовательский характер. Довольно быстро общество осознало, что Чернобыль, *«не столько техническая авария, сколько системная катастрофа, понять которую нельзя вне контекста социальных и человеческих факторов»*. Такое осознание многокрасочной палитрой вылилось на страницы средств массовой информации, что с неизбежностью отразилось и на воспоминаниях очевидцев ликвидации последствий аварии.

Всю появившуюся к настоящему моменту мемуарную литературу хотя и условно, но можно подразделить на 4 пласта:

1. Воспоминания бывших ведомственных руководителей советской номенклатуры, собранные в солидные сборники, чей выход приурочен к юбилеям, а тексты отредактированы в той или иной мере государственной

машиной. В подавляющем числе случаев в этих заметках зримо ощутима и самоцензура автора.

Часто в этих мемуарах чувствуется и стремление к очищению, прежде всего, перед собственной совестью, характерное для многих правительственных чиновников, ответственных за принятие решений в первые годы после аварии (при подготовке акта Правительственной комиссии в части причин аварии В. В. Марьин не акцентировал внимание на конструктивных недостатках РБМК).

2. Не менее обширный, но в большинстве своем не столь «нарядный» пласт, описывающий «ужасы Чернобыля». Здесь нередко авторы теряют чувство меры, поскольку, во-первых, ставят своей целью привлечь читателя любой ценой, а во-вторых, часто пытаются замаскировать свою некомпетентность пафосом народных защитников от козней лживой и прогнившей власти.

3. Немногочисленный, но, пожалуй, самый интересный пласт собственно воспоминаний участников событий.

В первых публикациях мемуарного характера еще сохранялась инерция героических будней, когда явно и неявно правительственными структурами поощрялась тема подвига в сложной борьбе со свирепым зверем. Но со временем все более и более стала накапливаться и негативная информация, которая формировала у все большего круга специалистов мнение, что истинная катастрофа Чернобыля связана с ликвидацией последствий аварии. Иными словами, большая часть действий, которые были выполнены после начала аварии, привели в силу их нецелесообразности, неэффективности к существенно большему и экономическому, и социальному ущербу, чем собственно авария. По-видимому, эта тема будет развиваться и дальше, она еще ждет своих трудолюбивых авторов, которые смогут взвешенно и доказательно разложить основные моменты этой грандиозной человеческой трагедии, как говорится, по полочкам.

Наиболее интересны и важны те воспоминания, которые проливают свет на последовательность и характеристику собственно аварии, длившейся не один день, и на способы и методы, применявшиеся тогда для принятия многих важных решений по борьбе с ее последствиями. В таких мемуарах сталкиваются различные точки зрения на одни и те же события, даются диаметрально противоположные оценки действиям руководящих лиц. Кто-то таким образом пытается защитить высказанную, но не принятую тогда к реализации идею.

Любые, пусть и разноречивые точки зрения имеют ценность. В целом ряде случаев именно сумма взглядов позволяет воссоздать непредвзятую картину явления. В действительности же в силу множества причин довольно часто побеждает чья-то одна (нередко недостаточно подкреплённая достоверными фактами) точка зрения, которая впоследствии становится очередным мифом Чернобыля.

В качестве примера приведем воспоминания В. А. Легасова. М. С. Горбачев, разговаривая с ним по телефону, волновался из-за того, что

его имя начинают во всем мире трепать в связи с аварией и поднялся массовый психоз. Легасов в ответ *«обрисовал положение (а дело было 6 мая): основные выбросы из разрушенного блока прекращены, в настоящее время ситуация контролируется, масштабы загрязнений и зоны, прилегающей к ЧАЭС, и всего мира в целом, нам более или менее понятны...»* [Легасов, 1996]. Между тем, и масштабы загрязнений, и количества выброшенных радионуклидов, и продолжительность самих выбросов еще долгие годы оставались весьма неопределенными (и в настоящее время нет единой точки зрения по всем этим вопросам). Но у значительной части научной общественности в силу высокого доверия к авторитету академика Легасова сформировалось устойчивое представление о том, что уже в начале мая физики во многом разобрались, и фундамент знаний для многих последующих исследований достаточно тверд.

4. И самый пока незаполненный класс — это аналитическая литература, пытающаяся дать более глубокое объяснение причинам аварии и последующим действиям по ликвидации ее последствий, а также с выводами, вынесенными из главного профессионального испытания.

Мемуарный жанр тесно переплетен у одних с публицистикой, у других с научной работой, принимая формы научного трактата, но есть и литература, которая носит более интимный характер. Пожалуй, наиболее литературны и мудры записки **А. А. Борового «Мой Чернобыль»**. Они спокойны, неторопливы, инженерны и в то же время художественны [Боровой, 1996]. О чем они? О жизни. Неповторимой для каждого человека и для каждого мгновения и в то же время такой знакомой каждому из нас. Эта жизнь проходит на фоне всколыхнувшей весь мир катастрофы. Для автора и его коллег место работы — «Саркофаг». Ядерный привкус почти в каждом лоскутном сюжете. Характеры, люди, события и властители — обо всем рассказано искренне и интересно.

Подкупает своей искренностью небольшая по объему, но очень эмоциональная повесть-рассказ **Сергея Склера «Чернобыль глазами киевлянина»** [Скляр, 1989]. Автор почти с научной скрупулезностью исследует процессы роста обеспокоенности, тревоги, безысходности и паники в многомиллионном городе, спровоцированные, мягко говоря, непродуманной информационной политикой государства. Книга пропитана обидой и болью за собственное государство, так пренебрежительно мало и неумело заботящееся о своих гражданах и не умеющее извлекать пользу из горьких уроков собственной истории.

Из той же серии воспоминаний произведение **А. В. Аханова «Лаванда. Из дневника ликвидатора»** [Аханов, 1996]. Примечателен эпиграф к одной из десяти глав повести, содержащий высказывание фельдмаршала К. фон Гетцендорфа «Солдатам все равно подышать», который, по мнению автора, отражает и отношение советских, прежде всего военных, властей к своему народу. Довольно ярко описаны «прелести» казенно-бюрократической машины, формировавшей жизнь призванных на специальные военные сборы граждан, прозванных «партизанами», а позднее «ликвидаторами».

Описывается период работы со второй половины мая до середины июля 1986 г., деятельность по дезактивации ближней зоны и промплощадки, а также борьба с торфяными пожарами.

Совершенно ясно, что многие мемуары непосредственных участников событий, тем более руководителей, не могли быть беспристрастными. Однако будем благодарны им даже за намерение изложить обществу свои свидетельства, свое видение событий. История, возможно, сумеет выявить правых и виноватых. Будем терпимы и к журналистам, вынужденным порою идти на поводу мелких страстей, но собравшим для нас свидетельства тех, кто сам не мог или не очень готов был к публичным высказываниям. Выскажем лишь сожаление о том, что беспристрастного анализа действий десятков ведомств и всего правительства в целом по ликвидации аварии и ее последствий за прошедшие годы наше общество так и не дождалось ни от руководителей бывших и нынешних, ни от маститых писателей, которые на Руси традиционно медленно раскачиваются, ни от ученых, все понимающих, но умеющих молчать. Видимо, не пришло еще время...

### Художественная литература

По горячим следам чернобыльской трагедии вышли лишь два значительных художественных произведения — пьеса В. С. Губарева «Саркофаг» и его роман «Зарево над Припятью». Пьеса была с интересом встречена читателями и зрителями и в то же время подвергнута резкой официальной критике, в том числе — со стороны многих ученых и врачей, принимавших участие в ликвидации последствий аварии.

Уже тогда выявилось существенное противоречие между позициями ученых и деятелей искусства: первые, располагая информацией и знаниями проблемы, пытались уберечь не затронутое аварией население от психических стрессов, которые могли возникнуть из-за поспешных некомпетентных публикаций. Вторые, не будучи специалистами и владея отдельными фактами, стремились привлечь внимание как можно большего числа людей к опасности, ужас которой они сами ощутили, а размеры не могли четко оценить.

Для писателя Чернобыль — это прежде всего событие, которое поставило людей перед критическим выбором, в свете которого видно, кто на что годится. Трусость, карьеризм и пренебрежение человеческими жизнями одних и подлинный героизм и самопожертвование других. Это ли не тема для произведений искусства!

В экстремальных условиях проявляются те черты личности, которые не были заметны в обычной жизни. Если подобных условий нет, автор их выдумывает. Если эти обстоятельства взяты из реальной жизни, автор склонен их преувеличивать, чтобы черты его героев проявились еще более рельефно.

Вот что пишет об этом Светлана Алексиевич, автор пронзительной документальной повести «Чернобыльская молитва»: «Меня интересовало не само событие: что случилось в ту ночь на станции и кто виноват, какие принимались решения, сколько тонн песка и бетона понадобилось, чтобы

соорудить саркофаг над дьявольской дырой, а ощущения, чувства людей, прикоснувшихся к неведомому. К тайне. Чернобыль — тайна, которую нам еще предстоит разгадать».

Вполне естественно, что, создавая свои произведения, писатели первого постчернобыльского десятилетия оставались в пределах общепринятого понимания, а вернее сказать, непонимания радиационной опасности для человека. Их преувеличения не казались читателям фантастическими, напротив, наряду со слухами они вносили новые краски в чернобыльские страхи. Дотошные в раскапывании секретных протоколов ЦК КПСС, демонстрирующих растерянность, некомпетентность и цинизм властей предержавших, представители писательского цеха по тем или иным причинам не стали досконально разбираться в степени реальной опасности радиации. В общем-то, не их это задача, но объективно их некомпетентность способствовала запугиванию населения и нагнетанию «радиационного психоза».

Если бы общество в целом имело более адекватное представление о радиационном риске и было своевременно проинформировано о происшедшем, если бы каждый мог вполне определенно представить себе, какой опасности он подвергается и каковы могут быть последствия, художественные произведения о Чернобыле, наверное, были бы другими. Главным в них, наверное, была бы мысль о чудовищной силе современных технологий и о необходимой осторожности в обращении с ними.

В последние годы «чернобыльская» художественная литература мало пополняется. Темы, поднятые в первые годы, уже практически исчерпаны. Страх и ужас перед катастрофой планетарного масштаба, которой выписан Чернобыль в произведениях С. Алексиевич, уже достиг предельных масштабов. Сейчас вряд ли можно найти специфические радиационные проблемы, позволяющие глубже исследовать человеческие характеры. Боль и скорбь выплеснута полной мерой. Возможно, новые темы появятся в будущем, но для обобщения и переосмысления всей чернобыльской истории потребуется время и, наверно, немало...

Еще одно проявление «чернобыльского» искусства — стихи и песни ликвидаторов. Пережитое в Чернобыле оставило в душе многих из них глубокий эмоциональный след, в первые годы после аварии ликвидаторы оставались довольно сплоченной социальной группой, со своими воспоминаниям и общими интересами. По своему настрою и стилистике песни чернобыльцев во многом близки к тем, что поют воины-афганцы, разница в том, что в Афганистане враг был известен и опасности узнаваемы, в случае Чернобыля опасность была неосознаема, и откуда она грозит, в первое время никто не знал наверняка.

#### **Литература:**

- Алексиевич Светлана. Чернобыльская молитва. — Дружба народов, 1997. — № 1.
- Аханов А. Черная лаванда: Документальная повесть. — Тюмень, 1997.

- Гейл Р., Хозер Т. Наследие Чернобыля. Последнее предупреждение. — Москва: Соваминко, 1990.
- Губарев В. С. Ядерный век. Чернобыль. — Москва: Агентство «Некос». 1996. — 445 с.
- Губарев В. С. Саркофаг. //Журнал Знамя . — № 9. — 1986.
- Губарев В. Зарево над Припятью. — Москва: Молодая гвардия, 1987. — 239 с.
- Ковалевская Л. Чернобыль <ДСП>. — Киев: Абрис. 1995. — 328 с.
- Медведев Григорий. Чернобыльская хроника. — Москва: Современник. 1989. — 240 с.
- Пыжов В. Железное чернобыльское братство: Стихи. — Тула: ТППО, 1995.
- Саркофаг: Сборник стихов. Малоярославец: ГП Малоярославецкая типография, 1997.
- Черная быль: Сборник. — Омское книжное издательство, 1996.
- Чернобыль: Дайджест 1994-1995. — Минск, 1996. — 275 с.
- Ярошинская А. А. Чернобыль. Совершенно секретно. — Москва: Другие берега, 1992. — 576 с.

### **Изобразительное искусство**

В общих чертах сказанное можно отнести и к изобразительному искусству. На тему Чернобыля рисовали взрослые и дети, те, кто так или иначе причастен самому событию, и те, кто знает о нем только понаслышке. На рисунках, картинах и плакатах зримо встает тот гипертрофированный образ Чернобыля, который глубоко укоренился в общественном сознании: смертельная опасность радиации для современников и угроза всему живому в будущем, поломанные судьбы, лишения и тяготы жизни пострадавшего населения.



## Лекция 8. Основы оценки значимости радиационных эффектов

В основу концепции обеспечения техногенной безопасности в настоящее время в Беларуси положен принцип приемлемого риска. Для практической реализации этого принципа необходимы анализ и обоснование целесообразных, приемлемых для общества, с учетом социально-экономических, психологических и других факторов уровней риска.

Из всех видов риска, возникающих при техногенных нагрузках на окружающую среду, обычно главное внимание сосредотачивается на риске для здоровья и жизнедеятельности людей. При этом рассматриваются индивидуальный, коллективный и социальный риски.

Поскольку наиболее изученной и проработанной является методология оценки риска техногенного воздействия объектов ядерного топливного цикла, то представляется целесообразным дальнейшее рассмотрение указанных видов риска вести применительно к этим объектам.

Риски воздействия и нанесения ущерба, связанные с функционированием объектов, опасных в радиационном отношении, принято называть радиационными.

Индивидуальный радиационный риск обычно выражается числом людей, получающих радиационные поражения, которые влекут за собой ухудшение здоровья, в том числе раковые заболевания. При этом чаще всего имеются в виду заболевания со смертельным исходом. Число пораженных обычно оценивается за определенный срок и относится к единичному событию, т.е. к той или иной аварии конкретного вида или типа.

Понятие коллективного (группового) риска введено для оценки риска определенных категорий населения, персонала радиационно-опасных объектов, а также в целом населения отдельного региона, страны и даже всей Земли. Величина коллективного риска представляет собой сумму уровней индивидуальных рисков. При определении этой величины учитывается, что различные категории людей обладают неодинаковой восприимчивостью к воздействию радиационных факторов. В этом смысле рассматриваемый вид риска имеет социальную окраску. В таблице иллюстрируются данные по уровням коллективного риска, обусловленным искусственными источниками облучения.

Таблица. Уровни коллективного радиационного риска (число случаев переоблучения в год)

Источник радиационного риска	Население бывшего СССР	Население Земли
Ядерная энергетика	7	50
Испытания ядерного орудия (выпадение радиоактивных веществ)	48	820
Медицинское облучение	6600	33000-82000

Социальный радиационный риск, также как и коллективный, оценивается количеством людей, которые могут оказаться подвержены радиационному ущербу. Однако сходство этих понятий в определенной мере является формальным. По сути, социальный риск имеет существенные особенности.

Главная особенность вытекает из того, что приемлемые уровни этого вида риска определяются с учетом отношения общества к радиационной опасности, обусловленной наличием в районе опасного объекта. Количественно он выражается вероятностью того, что при радиационно-опасной аварии или другом событии число людей, подвергшихся радиационному ущербу (ухудшению здоровья, смертельным поражениям и т.п.), будет не менее определенной величины. Численное значение социального риска относится к единичному событию (катастрофе, аварии, происшествию) или к совокупности такого рода событий, развивающихся по различным сценариям. Во втором случае в число учитываемых при оценке социального риска событий включаются лишь те, при которых радиационный ущерб будет не ниже определенного значения.

При оценке социального риска для единичного события прежде всего необходимо провести расчет усредненного количества людей, подвергающихся рассматриваемому виду радиационного ущерба в случае возникновения радиационно-опасной аварии, катастрофы или происшествия, по формуле:

$$N = \sum R_2(\tau) R_3(\tau) P_0(\tau) n(\tau),$$

где

$R_2(\tau)$  – вероятность формирования дозовых нагрузок определенного уровня;

$R_3(\tau)$  – вероятность того, что дозовые нагрузки вызовут рассматриваемый радиационный ущерб;

$P_0(\tau)$  – вероятность того, что в том месте, где проявляется радиационное воздействие, окажется группа людей с одинаковыми условиями облучения;

$n(\tau)$  – количество людей в группе;

$\tau$  – расчетный момент времени;

$k$  – количество расчетных групп.

Суммирование производится по всем группам людей, характеризующимся в среднем одинаковыми условиями облучения. В расчет принимаются средние для каждой группы дозовые нагрузки.

Далее логико-вероятностным или иным методом находится вероятность возникновения радиационно-опасного события. Полученная величина интерпретируется, как вероятность того, что определенное количество людей, не меньшее, чем  $N$ , может быть подвержено радиационному ущербу

$$R(n > N) = R_1,$$

где  $R (n > N)$  – численное значение социального риска при рассматриваемом радиационно-опасном событии (катастрофе, аварии, происшествии);

$R_1$  – вероятность (а в ретроспективе – частота) возникновения радиационно-опасного события.

В том случае, когда при определении уровня социального риска целесообразно учесть ряд событий, развивающихся по различным сценариям и влекущим за собой радиационный ущерб, следует провести расчеты по приведенной схеме для каждого события. Затем, проанализировав полученные результаты, необходимо обосновать социально значимый радиационный ущерб, который выражается числом  $N$ . Далее следует провести ранжировку всех радиационно-опасных событий, выделить те из них, для которых  $n > N$ , просуммировать для этих событий вероятности возникновения и таким образом найти

$$R(n > N) = \sum_{i=1}^m R_{1i}$$

где  $t$  – число учитываемых при расчете социального риска событий.

Практически любое воздействие ионизирующих излучений связано с некоторой степенью риска. Поэтому основным принципом, которым руководствуется Международная комиссия по радиационной защите (МКРЗ) при выработке рекомендаций по обеспечению радиационной безопасности, состоит в том, чтобы доза облучения находилась на разумно достижимом низком уровне с учетом экономических и социальных факторов. В соответствии с этим принципом оценка радиационного риска производится через дозу облучения, являющуюся основным параметром, отражающим вредное воздействие всех факторов радиационной природы. При этом анализируются индивидуальные эффективные дозы облучения, отражающие суммарный эффект облучения организма и коллективные эффективные эквивалентные дозы, получаемые группами людей и определяемые путем суммирования индивидуальных доз (коллективные дозы измеряются в человеко-зивертах, чел.-Зв.). Коллективную эффективную эквивалентную дозу, которую получает поколение людей от какого-либо радиоактивного источника за все время его дальнейшего существования, называют ожидаемой (полной) коллективной эффективной эквивалентной дозой.

При обосновании уровня приемлемого радиационного риска исходят из общепринятых принципов МКРЗ, которые являются основой для принятия решений по радиационной защите. Главный смысл этих принципов состоит в целесообразности максимально возможной безопасности, в стремлении к тому, чтобы дозы облучения были настолько низкими, насколько этого можно достичь техническими и организационными мерами с учетом экономических и социальных факторов, в ограничении эквивалентной дозы облучения рекомендуемыми пределами.

Пределами являются уровни доз облучения и соответствующие им уровни рисков, которые не должны превышать ни при каких обстоятельствах.

Возможность реализации требований радиационной защиты по пределам доз и рисков не вызывает особых опасений и гарантируется, когда население и персонал подвергаться контролируемому облучению. Заметим, что под контролируемым облучением понимается облучение, имеющее место при нормальных эксплуатационных режимах функционирования радиационно-опасных объектов, когда уровни радиационных полей и концентраций РВ регламентированы и постоянно контролируются системой радиационного мониторинга. В отличие от контролируемого, под неконтролируемым облучением имеется в виду облучение в аварийных условиях, когда уровни полей и концентраций выходят из-под контроля, что влечет за собой возможность существенного изменения радиационной обстановки.

В аварийных случаях на уровни доз облучения и радиационного риска значительное влияние оказывает стохастический характер многих факторов развития аварии, а также параметров метеообстановки, определяющих закономерности распространения радиоактивных веществ в окружающей среде.

Фактические величины уровней риска могут быть оценены только с определенными, иногда достаточно большими, ошибками. В связи с этим, при анализе и оценке риска представляется целесообразным, наряду с пределом риска, пользоваться еще одной величиной риска, при совпадении с которой расчетное значение риска для аварийных условий с определенной гарантированной вероятностью не превышало бы предела риска. Эту величину назовем условным пределом риска. При известном законе распределения плотности вероятности случайной величины риска в зависимости от изменения факторов аварии, условный предел риска может быть легко найден. Однако, указанный закон распределения неизвестен. Во всяком случае, данные по этому поводу в доступных публикациях отсутствуют. В связи с этим в большинстве государств, занимающихся использованием ядерной энергии, наряду с пределом риска устанавливается некая величина уровня риска, называемая целью риска. Смысл этой величины практически совпадает с введенным выше понятием – условным пределом риска. Определение же данных и интуиции методом экспертных оценок.

Как уже отмечалось, уровень предельного риска не должен превышать ни при каких обстоятельствах. Превышение же цели риска допускается. При этом риск, превышающий цель риска, считается приемлемым, если он мал настолько, насколько это достижимо.

Расчет и установление пределов и целей риска обычно проводится для определенных категорий персонала радиационно-опасных объектов и населения.

В соответствии с рекомендациями МКРЗ, при анализе и оценке радиационной опасности вводится понятие о "критической группе" облучения. В качестве "критической группы" облучения рассматриваются

лица из населения, находящегося у границ площадки объекта. По принятой у нас терминологии это ограниченная часть населения, принадлежащая к категории Б облучаемых лиц, которые находятся на внутренней границе наблюдаемой зоны. Выбор этой части населения в качестве критической группы облучения обусловлен тем, что она (после персонала объекта) испытывает наибольшую радиационную нагрузку как при контролируемом, так и неконтролируемом облучении.

В таблице приведены значения предела и цели индивидуального риска ранних и отдаленных смертей, принятые МКРЗ и органами надзора за безопасностью ряда стран.

Таблица. Критерии для оценки индивидуального риска смерти от аварий на границе площадки АЭС, 1/чел. год

Источник	Ранние смерти		Отдаленные смерти	
	Предел	Цель	Предел	Цель
МКРЗ	$10^{-5}$		$10^{-5}$	
Аргентина (критерий для ядерного регулирования)	$10^{-6}$		$10^{-6}$	
Австралия (правила для новых промышленных установок):				
-Управление планирования Нового Южного Уэльса		$10^{-6}$		
-Управление по защите окружающей среды Западной Австралии	$10^{-5}$	$10^{-6}$		
Нидерланды	$10^{-6}$	$10^{-8}$		
Великобритания:				
-Управление по надзору за ядерными установками	$10^{-4}$	$10^{-6}$		$10^{-6}$
Исследовательская группа Королевского общества	$10^{-4}$	$10^{-6}$		
США (комиссия по ядерному регулированию)		$5 \cdot 10^{-7}$		$5 \cdot 10^{-5}$

Данные, приведенные в таблице, свидетельствуют о неоднозначности взглядов специалистов различных стран на уровни предела и цели риска. Тем не менее, на основе этих данных сформулированы рекомендации по уровням индивидуального риска смерти, связанного с функционированием АЭС. В частности, уровень предела риска считается целесообразным принимать равным  $10^{-5}$  на человека в год. Значительное превышение этого предела недопустимо. Отмечается, что из-за присущих показателю риска неопределенностей использование указанного предела имеет некоторые ограничения. Уровень цели риска рекомендуется принимать равным  $10^{-6}$  на человека в год. Смертельные риски, которые имеют значения ниже этого уровня, считаются несущественными.

Как известно, аварии, происходящие на радиационно-опасных объектах, различаются по своему характеру и степени возникающей радиационной опасности. В связи с этим полный уровень риска при такого рода авариях

целесообразно расчленять на отдельные риски, обусловленные различными путями развития аварии (ПРА), характеризующимися определенными вероятностями реализации. Полный (общий) уровень риска при таком условии может быть вычислен как сумма произведений вероятностей реализации принимаемых во внимание путей развития аварий на соответствующие вероятности нанесения ущерба со смертельным исходом.

Понятие риска от аварии определенного типа (пути развития аварии) оказывается не только полезным, но и необходимым при оценке безопасности тех или иных технических систем радиационно-опасных объектов.

Изложенные выше соображения принимаются во внимание при установлении критериальных уровней риска. При этом считается весьма полезным учитывать возможные типы аварий (пути развития аварии) и выражать количественной мерой их вклад в уровень предела и цели риска. При отсутствии необходимой информации для проведения расчетов предел и цель для определенного ПРА могут быть приняты равными 10 % от их полного значения. В соответствии с этим уровень цели риска в расчете на отдельный путь развития аварии рекомендуется принимать равным  $10^{-7}$  на человека в год. Обоснование приемлемого уровня радиационного риска может проводиться на основе представлений, развитых Ю.А. Израэлем при рассмотрении вопроса о регулировании качества окружающей среды, а также рекомендаций МКРЗ по оптимизации радиационной защиты.

Для разработки системы радиационной безопасности необходимо знать, как количественно изменяются с дозой вероятность стохастических эффектов и степень тяжести детерминированных эффектов.

Наиболее подходящий источник информации - это сведения, полученные непосредственно при изучении результатов воздействия излучения на человека. Кроме того, много информации о механизмах повреждения и взаимосвязи между дозой и вредными эффектами у человека можно почерпнуть из исследований на микроорганизмах, изолированных клетках, выращенных *in vitro*, и у животных. К сожалению, очень мало этих сведений можно применить непосредственно для целей радиационной безопасности - все они требуют серьезной проверки и интерпретации. Выводы по биологической информации, касающиеся радиационной безопасности и защиты, основываются на данных о радиационных эффектах у человека; остальные сведения используются лишь для их подкрепления.

Этим обстоятельством определяются весьма жесткие требования к организации эпидемиологических исследований и обоснованности интерпретации полученных данных. Суть проблемы заключается в том, что при воздействии на людей различных факторов малой интенсивности, будь то радиация или иные агенты антропогенной природы, возникает необходимость учета и количественного анализа множества дополнительных моментов и обстоятельств, которые затрудняют, маскируют либо искажают оценку истинной картины воздействия данного фактора на здоровье обследуемой популяции людей. Студентам, врачам широкого профиля и особенно гигиенистам необходимо знать общие принципы, которыми следует

руководствоваться при планировании подобного рода в высшей степени трудоемких проектов. Вместе с тем следует помнить, что из-за различных методических ошибок либо недооценки существенной роли статистики в таких работах нередко допускаются серьезные ошибки и даже неверные заключения и выводы. Поскольку эта важнейшая проблема имеет непосредственное отношение к многим медицинским дисциплинам и должна изучаться особо, мы рассмотрим лишь некоторые из множества вопросов в рамках обсуждаемой здесь темы.

Прежде всего несколько общих замечаний по проблеме статистического анализа данных. Как известно, каждое исследование может иметь статистически значимый результат исключительно на вероятной основе. Необходимо количественно оценить степень, до которой случайность может отвечать за данный результат статистического анализа, отражается величиной  $p$ . При значении  $p$  менее 0,05 вероятность того, что наблюдаемый результат обусловлен случайностью, составляет менее 1 из 20 случаев (или менее 5%). Условно принимается, что значение  $p$  менее 0,05 означает статистическую значимость. Более адекватное представление о значимости полученных данных отражает так называемый доверительный интервал, который показывает диапазон разброса оценок среднего значения. Например, в одном из исследований избыточных лейкозов среди работающих в атомных центрах США, Великобритании и Канады доверительный интервал составил от 0,1 до 5,4.

Среди трудностей и недостатков многих работ в области эпидемиологии малых доз ионизирующих излучений укажем лишь на следующие:

- малый размер выборки;
- отсутствие адекватного контроля;
- недоучет посторонних воздействий, не связанных с излучением;
- неадекватная дозиметрия;
- влияние сопутствующих социальных и экономических факторов.

Существует также тенденция сообщать о позитивных находках и замалчивать те исследования, которые не дали ожидаемого результата.

Рассмотрим некоторые из трудностей подобного рода исследований более подробно.

### Размер выборки

В качестве примера ниже представлены данные о размере выборки (численности обследуемых людей), необходимой для статистически значимого (с вероятностью 95%) определения канцерогенеза в рамках зависимости доза-эффект.

Размер выборки, необходимый для статистически значимого определения зависимости доза-эффект в канцерогенезе:

Уровень доз, Зв	Размер выборки, чел.
1	1000
0,1	100 000
0,01	10 000 000

Если, например, риск индуцированного излучением рака достоверно оценен при дозе 1 Зв в группе 1000 человек, то, чтобы подтвердить риск за счет более низкой дозы 0,01 Зв при такой же степени достоверности, потребуется когорта в 10 млн человек (не считая адекватного контроля). Очевидно также, что эти расчеты необходимой численности выборки, относящейся ко всей сумме злокачественных опухолей, должны быть скорректированы, когда речь пойдет о выявлении избыточных раков конкретного вида и локализации. В данном случае, как и в только что приведенном примере, размер выборки будет определяться естественной частотой (спонтанным уровнем) данного вида рака. Пока не найдено никакого теста, позволяющего отличить радиогенный рак от опухолей тех же гистологических типов другого происхождения. Это, в свою очередь, означает, что радиогенный рак можно связать с облучением только путем тщательного статистического сравнения с количеством ожидаемых случаев в популяциях, идентичных по всем показателям, кроме воздействия дополнительной дозы облучения. Например, небольшое превышение числа случаев злокачественных опухолей, которое предположительно связывают с излучением, может считаться достоверно установленным только в том случае, если оно примерно вдвое превышает стандартное отклонение, характерное для неизбежного варьирования ожидаемого числа случаев (спонтанных опухолей) в обследуемой группе населения.

### **Адекватный контроль**

Выбор адекватного контроля - одна из наиболее сложных проблем для грамотного планирования эпидемиологических исследований. Из самого определения следует, что контрольная популяция должна отличаться от наблюдаемой только по одному критерию - дозе дополнительного облучения. Подбор такого контроля представляет исключительные трудности, связанные не только с региональными особенностями - биогеохимическими, демографическими, этническими, социально-экономическими, краевой патологией и т.п., но и с необходимостью дополнительных затрат и привлечения значительных ресурсов. Одним из возможных подходов является подбор когорт наблюдения и контроля, которые при прочих равных условиях отличаются между собой достаточно широким диапазоном доз облучения. Такой принцип использован, например, в наблюдениях за японскими когортами населения, которые пострадали в результате атомных бомбардировок Хиросимы и Нагасаки.

### **Учет посторонних, не связанных с облучением, воздействий**

В данном случае следует исходить из того факта, что в реальной жизни человек подвергается многим воздействиям антропогенных факторов. На фоне загрязнений химической природы большое значение имеют фактор питания, качество питьевой воды и т.п. Несмотря на наличие в популяции достаточно мощных гомеостатических механизмов, на здоровое население

могут оказывать воздействие биогеохимические особенности района наблюдения (например, микроэлементный состав почв, избыток или недостаток тех или иных важных био-, макро- и микроэлементов в рационе питания и т.п.). Эти факторы следует учитывать, особенно при сравнении их с контрольными районами.

### **Дозиметрия**

При трактовке данных эпидемиологических наблюдений вопросы адекватной дозиметрии приобретают принципиальное значение. К сожалению, в подавляющем большинстве исследований, особенно после крупномасштабных аварий, врачи сталкиваются со значительными неопределенностями в этой области. Как правило, в силу многих причин не удается получить необходимый массив данных прямой индивидуальной дозиметрии людей - наиболее информативного показателя для эпидемиологических исследований. Методы реконструкции доз (ретроспективная дозиметрия) широко используются, но следует иметь в виду, что точность получаемых оценок определяется моделями расчета и качеством исходных, в том числе инструментальных, данных.

### **Влияние сопутствующих социально-экономических факторов**

Это, пожалуй, наиболее сложный аспект проблемы. До настоящего времени и, по-видимому, в будущем влияние этих факторов на здоровье пострадавшего населения не может быть оценено строго количественно. Достаточно напомнить, что в результате аварии на ЧАЭС социальные потрясения и психоэмоциональные стрессы у людей, несомненно, оказали и продолжают оказывать отрицательное воздействие на здоровье населения. Как хорошо известно, подобного рода психосоциальные нагрузки и порождаемые ими стрессовые состояния нередко служат изначальной причиной многих заболеваний человека. Поэтому учет указанных обстоятельств при оценке общего ущерба здоровью человека в связи с радиационными авариями и попытки вычленить парциальный вклад низ-коинтенсивного радиационного фактора в заболеваемость являются исключительно трудной задачей.

В заключение напомним, что при анализе качества эпидемиологических исследований необходимо обращать внимание на организацию исследований, достаточность изучаемой выборки, протоколы наблюдений, контроль качества измерений, прецизионность аппаратуры и реактивов, наличие и точность данных об индивидуальных дозах облучения, приемлемость контрольной когорты наблюдения, учет потенциальных источников возможного искажения данных или смешения оценок.

В разных эпидемиологических исследованиях, посвященных выявлению избыточных заболеваний, таких как рак, используется целый ряд понятий или терминов для выражения их связи с облучением. К сожалению, нередко возникают затруднения, обусловленные тем, что разные авторы используют различные понятия. Наиболее часто применяют термины «относительный риск» (ОР) или «избыточный относительный риск» (ИОР). Оба они выражают риск в облученной группе людей по отношению к некоторой необлученной

популяции. [В данном контексте не смешивать с терминологией, принятой в моделях абсолютного (аддитивного) и относительного (мультипликативного) риска, используемых для прогнозов.]

Так, ОР, равный 1, означает, что риск в облученной группе такой же, как и в контрольной (необлученной). Соответственно в данном случае ИОР равен 0. Если ОР равен 2, это означает, что в облученной популяции вероятность рака вдвое больше, чем в необлученной. Следовательно, ОР, равный 2, соответствует ИОР, равному 1.

## Лекция 9. Модели радиационного риска

### Общие представления о математических моделях зависимости доза-эффект

Для расчета канцерогенного риска у людей при малых дозах и мощностях дозы особенно важно знать изменение зависимости доза-эффект в этой области доз. Дело в том, что, как уже отмечалось, огромный объем данных, накопленных в опытах *in vitro*, в экспериментах на животных и в клинических наблюдениях, весьма гетерогенен и в большинстве случаев статистически недостаточно информативен. Даже при большой численности людей, переживших атомную бомбардировку в Японии, обследование которых продолжается, маловероятна возможность прямой оценки риска непосредственно по этим эмпирическим данным без использования математических моделей описания зависимости доза-эффект в диапазоне малых доз. В попытках создать наиболее адекватные подходы для анализа указанной зависимости применяют несколько математических моделей доза-эффект с целью экстраполяции эффектов от промежуточных доз к малым. Речь идет о так называемой линейной, линейно-квадратичной, квадратичной и пороговой моделях.

Ни одна из этих моделей не позволяет получить однозначно исчерпывающее заключение о характере действительной зависимости доза-эффект в обсуждаемом диапазоне доз. Так, очевидно, что линейная модель в диапазоне малых доз дает верхние оценки границы риска (это следует из математического выражения линейной модели:  $y = ax$ , где  $y$  - частота избыточных раков;  $a$  - константа;  $x$  - доза). Квадратичная модель ( $y = ax^2$ ) использовалась некоторыми авторами для получения набора нижних оценок риска. Внутри графиков зависимостей линейной и квадратичной моделей находится линейно-квадратичная модель:  $y = ax + bx^2$ , которая, как оказалось, обеспечивает наилучшую подгонку под эмпирические данные для риска радиогенного лейкоза.

Пороговая модель, как очевидно из определения, - это такое соотношение доза-эффект, в котором та или иная доза не вызывает эффекта. На современном уровне состояния эмпирических данных, полученных в экспериментальных и эпидемиологических исследованиях для математического описания зависимости доза-эффект в диапазоне малых доз, предпочтение отдается линейной и линейно-квадратичной моделям. При анализе всех этих сведений у читателя, на первый взгляд, может закономерно возникнуть вопрос о том, насколько важна детализация указанных зависимостей в диапазоне малых и сверхмалых доз. Все эти кажущиеся несущественными детали на самом деле представляются принципиально важными для проблемы регламентации облучения человека, ибо признание наличия практического дозового порога для стохастических последствий облучения в корне может изменить всю систему оценок риска и регламентов воздействия радиации для людей.

## **Количественная оценка риска стохастических эффектов облучения. Модели абсолютного и относительного риска**

Подходя к проблеме количественной оценки последствий облучения в малых дозах на основе рабочей гипотезы о беспороговом действии ионизирующих излучений, приведем следующий вывод МКРЗ: «Теоретическое рассмотрение, экспериментальные результаты, полученные на животных и других биологических организмах, и даже некоторый ограниченный опыт, накопленный в наблюдениях над человеком, позволяют предположить, что индуцирование рака при малых дозах и мощностях дозы должно быть меньше, чем наблюдаемое при больших дозах и мощностях доз». Для того чтобы количественно отразить это обстоятельство (что частично достигается путем использования математических моделей доза-эффект), МКРЗ предложила для целей радиационной защиты (регламентации пределов доз облучения) использовать коэффициент, учитывающий эффективность дозы и мощность дозы (КЭДМД). По оценкам различных ученых, КЭДМД может колебаться в широких пределах - от 2 до 10. МКРЗ решила для целей радиационной безопасности на современном этапе использовать значение КЭДМД, равное 2, осознавая вместе с тем, что этот выбор до некоторой степени произволен и, возможно, консервативен. Данная рекомендация может измениться, если в будущем станет известна новая, более определенная информация. Некоторые ученые считают, что использование численного значения коэффициента 2 приводит к завышению реальных рисков облучения в малых дозах в 2-5 раз.

Следующая проблема состоит в оценке числа стохастических эффектов, которые еще не появились в изучаемой группе облученных людей. Для некоторых видов рака, в частности лейкемии, эта проблема разрешается, поскольку частота возникновения новых случаев заболевания убывает или же близка к ожидаемой частоте в соответствующей контрольной группе людей. Обусловлено это, в частности, относительно коротким латентным периодом реализации данной формы заболеваний у человека после облучения: минимальный латентный период составляет 2-3 года, а избыточный выход этих заболеваний наиболее велик в интервале 7-10 лет после облучения. Для большинства видов солидных раков, для которых характерен существенно больший минимальный латентный период (~10 лет), а средний латентный период достигает 20-25 лет, избыточная смертность имеет иное распределение во времени, близкое к естественной смертности от рака того же вида.

В настоящее время для прогнозирования рисков ожидаемых канцерогенных эффектов по окончании их латентного периода и пожизненного риска этих стохастических эффектов в целом используют в основном две модели прогноза.

Это так называемая модель абсолютного (аддитивного) риска и модель относительного (мультипликативного) риска. Модель абсолютного риска основывается на положении, что риск избыточных случаев рака не зависит от естественной частоты данного вида злокачественных опухолей. Под термином

«избыточный» здесь и в дальнейшем подразумевается избыток неоплазм, обусловленных облучением или связанных с ним. В модели аддитивного риска проявление избыточного риска в облученной популяции начинается спустя некоторый период после облучения и существует как постоянная величина в последующем времени. Абсолютный риск определяется как число избыточных случаев рака на человека на единицу дозы и единицу времени. Радиогенный избыток раков здесь поделен на число облученных людей, среднее число лет наблюдения за ними и среднюю величину дозы их облучения. Таким образом, абсолютный риск может быть выражен в виде годового или пожизненного абсолютного риска. По аддитивной модели абсолютный риск выражается как число избыточных случаев рака на 1 млн человек на 1 Зв (чел-Зв). В этой модели для определения риска возраст человека под наблюдением не критичен, если пройден (завершен) латентный период выхода опухолей. В то же время очевидно, что пожизненный абсолютный риск зависит от возраста на момент облучения.

В мультипликативной модели избыточный канцерогенный риск (по окончании латентного периода) выражается как доля, или сомножитель, величины риска спонтанного возрастного-специфического рака в данной конкретной популяции. Учет последнего обстоятельства крайне важен, так как нередко за естественную частоту рака принимают либо данные по другим регионам, либо не учитывают, например, особенности этнического состава популяций, проживающих в данном регионе. Для них, как известно, характерны различия в спонтанных уровнях. Отсюда оцененная величина избыточного риска может не соответствовать действительной картине.

Итак, модель мультипликативного (относительного) прогноза риска обязательно соотносит избыточный (радиогенный) риск со спонтанным риском злокачественных опухолей в возрастном аспекте. Например, относительный риск, оцененный по этой модели величиной 1,5, означает, что следует ожидать (прогнозировать) 50% рост риска сверх спонтанной частоты рака. Очень важно правильно трактовать обозначения и смысл величин, публикуемых в различных изданиях по этой проблеме. Относительный (мультипликативный) риск, равный 2, применительно к лейкозу с гигиенической точки зрения может показаться более значимым, чем относительный риск, равный 1,5, по отношению к раку молочной железы. (Совершенно очевидно, что для каждого конкретного человека противопоставление этих рисков бессмысленно, если у него развилась та или иная злокачественная опухоль.) С популяционных позиций оценки последствий облучения населения следует учитывать следующий факт: поскольку спонтанная частота лейкозов - крайне редкое событие, то и увеличение его в 2 раза обусловит в целом сравнительно малое число избыточных случаев этих гемобластозов. В то же время спонтанная заболеваемость раком молочной железы характеризуется существенно более высокими цифрами, так что коэффициент относительного риска 1,5 приведет к прогнозу гораздо большего абсолютного числа избыточных раков этого органа в популяции, нежели в случае лейкоза. Какие модели используются для

прогноза канцерогенных рисков? После анализа этой проблемы МКРЗ предпочла мультипликативную модель для всех солидных раков. Исключение составляют лейкозы, оценка риска которых в результате облучения больше подходит под аддитивную модель. Действительно, хорошо известно, что относительно высокая спонтанная частота лейкозов характерна для детей и пожилых людей. Поэтому если бы мультипликативная модель прогноза была справедлива для всех опухолей, включая лейкозы, то риск радиогенного лейкоза у детей и пожилых людей был бы намного завышен (для лейкоза риск уменьшается с увеличением возраста на момент облучения и оказывается не связанным напрямую со спонтанной частотой).

В целом использование мультипликативной модели прогноза риска, по мнению некоторых ученых, приводит к более высоким оценкам риска, чем дает аддитивная модель. Данное различие в оценках риска может достигать коэффициента, равного 5.

В табл. представлены значения соответствующих коэффициентов вероятности стохастических последствий облучения.

**Таблица** Номинальные коэффициенты вероятности стохастических эффектов облучения,  $10^{-2} \text{Зв}^{-1}$  (МКРЗ, 2002, Публикация 103)

Облученный контингент	Случай рака	Наследственные эффекты	Всего
Все население	5,5	0,2	5,7
Работающие	4,1	0,1	4,2

Численные значения приведенных в табл. коэффициентов отнюдь не являются абсолютно точными, поскольку, как неоднократно подчеркивалось, они получены в результате целого ряда допущений.

Укажем на одно существенное обстоятельство, на которое в большинстве случаев не обращают внимания: число рассчитанных с помощью этих коэффициентов событий (раки, наследуемые нарушения) - не строго фиксированная цифра, а некий диапазон цифр от нуля до максимального значения, в рамках которого находится теоретически оцениваемая величина. Поэтому крайне важно иметь в виду, что указанные коэффициенты, скорее, отражают порядок величин ожидаемых эффектов. В то же время вырванные из контекста цифры прогнозируемых ожидаемых случаев стохастических последствий облучения должны обязательно рассматриваться в сравнительном аспекте. Одним из таких сравнений в отношении, например, радиогенных злокачественных опухолей является на сопоставление их избыточности над спонтанным уровнем, «естественным фоном» этой патологии. Проведем грубый расчет. Согласно современным данным, смертность от рака составляет 200 случаев в год на 100 000 населения. Следовательно, из приведенного выше примера в когорте населения численностью 10 000 человек этот показатель составит 20 случаев в год.

Примем среднюю продолжительность жизни 69 лет. За этот период по формальному расчету в данной популяции следует ожидать около 1400 случаев смерти от спонтанных злокачественных опухолей.

В нашем примере ( $1 \cdot 10^3$  чел-Зв) число избыточных радиогенных раков составит 55 случаев. Таким образом, в результате облучения населения численностью  $1 \cdot 10^4$  человек в средней индивидуальной дозе 0,1 Зв  $1 \cdot 10^3$  чел-Зв ожидаемый выход злокачественных опухолей составит порядка 0,3% по сравнению со спонтанным уровнем.

Приводим теперь два конкретных примера оценок радиологических последствий Чернобыльской аварии. Так, ожидаемая эффективная коллективная доза общего внешнего и внутреннего облучения (в основном за счет радиоактивного цезия) населения 9 областей России, Украины и Беларуси (15 617 000 человек) составила 192 000 чел-Зв. Расчет показывает, что теоретически прогнозируемая смертность от всех злокачественных опухолей за счет радиации Чернобыля могла увеличиться на 0,6% по сравнению со спонтанным уровнем. Согласно данным 1995 г., эффективная коллективная доза 2,4 млн людей, проживающих на территории Украины, с уровнем радиоактивного загрязнения цезием-137 выше 37 кБк/м<sup>2</sup>, составила порядка 20 000 чел-Зв (с учетом доз, полученных в острый период после катастрофы, в том числе и на щитовидную железу). Используя тот же подход к оценкам пожизненного выхода радиационно-индуцированных опухолей, легко показать, что в данном случае речь идет о десятых долях процентов суммы избыточных опухолей по отношению к их спонтанному уровню.

Выявление этого сравнительно малого числа избыточных раков на фоне высокого уровня спонтанных раков, годовые колебания которого находятся в пределах нескольких процентов, представляет исключительные трудности. Во-первых, в связи со статистическими ограничениями при проведении широкомасштабных эпидемиологических наблюдений за облученными и контрольными когортами населения (подробнее см. выше) и, во-вторых, из-за отсутствия тест-систем, с помощью которых можно дифференцировать раки радиогенной природы от обычных, спонтанных (как известно, по типу и гистологическому строению они одинаковы).

Применительно к прогнозу серьезных генетических эффектов у потомков облученных людей ( $K = 1 \cdot 10^{-2}$  Зв<sup>-1</sup>) можно привести следующие примеры. Если, скажем, каждый человек в когорте численностью 1 млн был облучен дозой 0,1 Зв, вероятность такого рода эффектов, как показывают расчеты, может проявиться среди 1000 потомков облученных у всех последующих поколений. Согласно нашим оценкам, теоретически ожидаемый выход генетических последствий среди жителей 9 областей России, Украины и Беларуси, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на ЧАЭС, их прогнозируемая частота составит немногим более 100 случаев на 1 млн человек. Если учесть высокий спонтанный уровень клинически значимых наследственных заболеваний человека (50 000 врожденных аномалий развития и около 15 000 генетически обусловленных болезней на 1 млн живорожденных детей), становятся очевидными практически непреодолимые

затруднения в выявлении этих теоретически возможных избыточных случаев наследственных заболеваний. Действительно, ряд ученых пришли к выводу, что «генетические последствия облучения участников ликвидации последствий аварии на ЧАЭС и эвакуированного населения тонут в высоком уровне спонтанных генетических нарушений».

МКРЗ также оценила номинальные коэффициенты «вероятности выхода раков» для отдельных органов и тканей.

Вскоре после катастрофы на 4-м энергоблоке ЧАЭС ученым-медикам стало очевидно, что одним из основных радиологических последствий аварии могут стать патологические нарушения щитовидной железы. В связи с высокими уровнями поступления и избирательного поглощения радиоактивного йода в щитовидной железе (особенно у детей) дозовые нагрузки на железу оказались весьма высокими (средние дозы у детей достигали десятков сГр) и во многих случаях индивидуальные дозы превышали пороги детерминированных эффектов. В то же время с учетом широкого диапазона «йодных» доз облучения больших когорт населения стало очевидным, что через несколько лет (по завершении минимального латентного периода) должна проявиться и опухолевая патология.

Благодаря своевременно организованному эпидемиологическому скринингу в России, на Украине и в Беларуси уже спустя 3-4 года стали достоверно выявляться злокачественные опухоли щитовидной железы. В данном случае определяющую роль сыграли два фактора: крайне низкий уровень спонтанных раков щитовидной железы (особенно у детей: 1 случай на 1 млн человек в год) и высокие дозовые нагрузки на этот орган. Знание всех этих особенностей имеет принципиальное значение для планирования эпидемиологических исследований, посвященных выявлению стохастических последствий облучения у людей.

Наконец, о прогнозе облучения плода. В период начала формирования органов и тканей (3 нед после зачатия) облучение может вызвать глубокие пороки их развития. Эти эффекты, по современным данным, являются детерминированными. Их порог для человека, оцененный на основании опытов над животными, составляет 0,1 Гр. К категории детерминированных эффектов относят также тяжелую умственную отсталость у детей, облученных в утробе матери между 8 и 15 нед беременности. Эти данные, полученные всего на 13 японских детях, матери которых подверглись атомной бомбардировке, тем не менее, были тщательно изучены. Показано увеличение частоты появления детей с этой патологией, связанное с дозой облучения. При этом избыточная вероятность тяжелой умственной отсталости составила 0,4 на 1 Зв, т.е. при облучении сравнительно большой дозой и ее большей мощности примерно у 40% живорожденных детей в последующем может развиваться эта форма повреждения. При дозах порядка 0,2 Зв данная форма поражения не наблюдается (в Чернобыльской аварии такие дозы облучения плода у беременных практически не достигались.) В период после 3 нед от зачатия и до конца беременности, по-видимому, вследствие облучения могут возникать стохастические эффекты в виде увеличения вероятности фатальных

злокачественных опухолей у живорожденных детей. Несмотря на то что данные по этой проблеме весьма неопределенны, МКРЗ, чтобы исключить любую недооценку подобного рода возможных эффектов облучения, принимает (без рекомендации численных значений) величину  $S$ , в несколько раз превышающую данный коэффициент для популяции в целом.

В табл. представлены сводные данные об основных эффектах облучения человека.

**Таблица** Основные клинические эффекты воздействия ионизирующей радиации на человека

Условия (время) облучения	Доза (накопленная) или мощность дозы	Эффект
Однократное острое, пролонгированное, дробное, хроническое — все виды	Любая доза, отличная от нуля	Увеличение риска отдаленных стохастических последствий — рака и генетических нарушений; верхний предел этого риска на коллективную дозу (10 000 чел-Зв): летальных исходов от рака — 120 случаев, генетических нарушений — 45
Хроническое в течение ряда лет	0,1 Зв в год и более	Снижение неспецифической резистентности организма, которое не выявляется у отдельных лиц, но может регистрироваться при эпидемиологических исследованиях
То же	0,5 Зв в год и более	Специфические проявления лучевого воздействия, снижение иммунореактивности, катаракта [при дозах более 0,3 Зв в год]
Острое однократное	1 Зв и более	Острая лучевая болезнь различной степени тяжести
То же	4,5 Зв и более	Острая лучевая болезнь со смертельным исходом у 50% облученных
Различные виды	1 Зв и более	Стохастические эффекты, реальное возрастание которых уже может быть выявлено при эпидемиологических исследованиях
Пролонгированное, 1–2 мес на щитовидную железу от йода-131	10 Зв и более	Гипофункция щитовидной железы; возрастание риска развития опухолей (аденом и рака) с вероятностью около $1 \cdot 10^{-2}$

## Лекция 10. Социально-экономические критерии приемлемости радиационного риска

Принципиальные задачи всей системы радиационной безопасности и фундаментальные основы радиационной эпидемиологии гигиены состоят в том, чтобы:

- предотвратить появление детерминированных эффектов путем удержания доз облучения ниже соответствующих порогов;
- использовать все разумные меры и мероприятия для того, чтобы снизить вероятность появления стохастических последствий облучения с учетом социальных и экономических факторов.

Эти важнейшие постулаты радиационной защиты и гигиены особенно очевидны в случае крупномасштабных радиационных аварий, сопровождающихся высвобождением радиоактивных материалов в окружающую среду, когда в орбиту воздействия ионизирующих излучений вовлекаются как профессиональные работники и члены аварийных бригад, так и население, проживающее в непосредственной близости от аварийного объекта, в зоне наблюдения и за ее пределами.

В научно-практической политике вмешательства при радиационных авариях критериями недопущения уровней облучения людей, которые могут вызвать детерминированные эффекты, являются дозовые пороги таких эффектов. При этом для предотвращения соответствующих доз облучения и, следовательно, детерминированных эффектов проводимые вмешательства необязательно учитывают причиняемый экономический и социальный ущерб, так как речь идет о спасении жизни и здоровья людей. В то же время для снижения вероятности появления стохастических эффектов облучения (путем ограничения эффективных индивидуальных и коллективных доз) руководствуются иными принципами, в которых учет социально-экономических факторов обязателен. Поскольку в основе практического решения этой проблемы заложена современная философия радиационной безопасности и защиты, рассмотрим ее более подробно.

Выше неоднократно подчеркивалось, что в основе радиологических прогнозов и обоснования регламентов ионизирующего облучения в диапазоне малых доз заложена рабочая гипотеза о беспороговом действии радиации. В отличие от пороговой концепции воздействия на людей многочисленных факторов антропогенной природы, когда критерием их безопасности является недопущение превышения установленного ориентировочно безопасного уровня веществ или предельно допустимой концентрации и т.п., вследствие чего, по самому определению, стохастические эффекты исключаются, ситуация в области радиационной защиты принципиально иная.

Действительно, если постулируется сугубо научное положение о том, что любая доза облучения в принципе опасна (беспороговое действие), то общество и его социальные институты обязаны установить и принять величину так называемого приемлемого риска (рисков) от дополнительного антропогенного радиационного воздействия на население и отдельных его

членов. Иными словами, приемлемый риск есть не что иное, как своего рода компенсация потенциально возможного ущерба здоровью за те неоспоримые социальные выгоды и экономическую пользу для всего общества, которые обеспечиваются высокоэффективными, в данном случае атомными, технологиями. При этом в качестве решающей цели следует добиваться того, чтобы уменьшать риск облучения отдельных лиц и населения в целом при таких низких уровнях, какие могут быть разумно достигнуты с учетом экономических и социальных факторов. Этот принцип, как и в отношении других факторов нерадиационной природы, но оказывающих беспороговое действие, в нашей стране еще практически редко используется. Поэтому законодательная база, отражающая принципы регламентации вредных факторов и меры вмешательства при такого рода аварийных ситуациях, не создана.

В то же время концепция приемлемого риска принята во всех цивилизованных странах, носит достаточно универсальный характер и используется во многих сферах человеческой деятельности. Действительно, следует признать, что современное общество без рисков является утопией. Все виды человеческой деятельности (или отсутствие деятельности) сопровождаются некоторым риском, хотя многие риски могут удерживаться на весьма низком уровне. Нередко для сравнительных оценок с целью доказать уровень приемлемости какого-либо неотвратимого риска (или рисков) их сопоставляют с «добровольными» рисками. Например, риск смерти (или повреждений) при пользовании индивидуальным транспортом, являющийся по сути своей добровольным, сравнивают с рисками от антропогенных факторов: загрязнителями среды обитания химической и биологической природы или ионизирующими излучениями, особенно в связи с различного рода авариями на производствах, которые, как и стихийные бедствия, безусловно, относятся к категории неотвратимых рисков (подобного рода сравнения неправомерны, так как добровольные и неотвратимые риски относятся к различным философским категориям рисков).

В бывшем СССР концепция приемлемого риска была под запретом, впрочем, и само понятие технологического риска оказалось исключенным из общественной и научно-технической терминологии. К сожалению, представление о приемлемом риске активно не разделялось и многими учеными-медиками. В настоящее время понятие «приемлемый риск» постепенно входит в наш обиход. Тем не менее, эта позиция вызывает множество противоречий и контрастных трактовок. Многие люди, в том числе и некоторые медицинские работники, не воспринимают тот факт, что для большей части человеческой деятельности абсолютная безопасность невозможна. Поэтому применительно к излагаемой здесь теме вопрос не в том, каков безопасный уровень облучения, а в том, какой безопасный уровень достаточно безопасен.

Например, по поводу определения и установления пределов дозы облучения (в основу которых положена концепция приемлемого риска) возник целый ряд неверных представлений. Так, предел дозы широко, но ошибочно

считают своего рода демаркационной линией между «безопасно» и «опасно». В то же время хорошо известно распространенное мнение, что любое радиационное воздействие всегда приводит к возникновению рака. Теперь мы знаем, что это не так, поскольку количественные данные по радиационным рискам, о которых шла речь выше, позволяют с научно обоснованных позиций оценивать эти вероятности. Важно иметь в виду, что концепция приемлемого риска служит исходной посылкой для социально-экономических оценок с целью принятия на их основе решений в интересах общественного здоровья и сохранения (улучшения) качества жизни населения.

Обоснование (установление) приемлемого уровня риска осуществляют путем взвешивания величины предотвращаемого с помощью мер вмешательства риска (в данном случае радиационного риска) для здоровья населения и отдельных его членов с необходимыми для этого затратами общества (государства). Непременное требование при этом следующее: конечные результаты такого взвешивания (соотношения) ожидаемой пользы и наносимого вреда всегда должны быть больше единицы. Если, например, в результате радиационной аварии решается вопрос о переселении больших масс людей с загрязненных территорий на так называемые чистые или менее загрязненные, то при прочих равных условиях эта мера целесообразна или необходима лишь в том случае, если польза от этой акции, цель которой сводится к предотвращению определенной дозы облучения и, следовательно, к уменьшению конкретного уровня радиологического риска, перевешивает вред, наносимый здоровью и качеству жизни этих людей в результате переселения. Эта акция, как известно, может привести не только к нарушению привычного уклада жизни людей, но и к социальным потрясениям, психоэмоциональным стрессам и т.п. Именно из-за того, что властные структуры, некоторые политики и, к сожалению, ряд ученых, некомпетентных в данной области, игнорировали эти факторы (несмотря на предупреждения многих специалистов-медиков, хорошо знакомых с этой проблемой), социально-психологические последствия радиационной катастрофы в Чернобыле в контексте суммарного ущерба населению и обществу в целом оказались, в конечном счете, преобладающими.

Итак, общий принцип радиационной защиты состоит в том, что никакие меры не следует применять, если риск от дальнейшего облучения окажется меньше того риска, который будет следствием осуществления самой меры. Совершенно очевидно, что этот принцип в равной мере должен быть положен в основу решений в других областях технологической деятельности, будь то токсикант химической или биологической природы, к которым приложима концепция беспорогового действия. Вместе с тем упрощенный подход к подобного рода сложнейшему анализу чреват значительными социальными издержками и экономическими потерями, которые могут принести обществу и прежде всего общественному здоровью больше вреда, чем пользы.

Следует, однако, иметь в виду, что если логика такого подхода очевидна, то конкретный качественный и особенно количественный анализ многочисленных и разнообразных факторов, подлежащих учету, в ряде

случаев остается, к сожалению, за границами возможностей взвешивания пользы и ущерба. Благие, на первый взгляд, попытки предотвращения весьма низкого уровня конкретного вида риска на деле могут нанести ничем не оправданный ущерб для экономики страны и, следовательно, для всего общества, так как ресурсы или затраты должны изыматься из единого общественного достояния. При этом, как это часто происходит, в результате усилий, затрачиваемых на максимальное предотвращение данного риска (на фоне их множества), может остаться без должного внимания, или, проще говоря, дискриминироваться значимость другого вида риска, объективно определяющего гораздо больший ущерб общественному здоровью и отдельному индивидууму. Отсюда очевидна необходимость общего подхода к установлению экономически и социально разумной величины оправданного реальной обстановкой конкретного вида риска. Как только что подчеркивалось, принятие решений в этих случаях без учета многочисленных обстоятельств прежде всего нравственно-этического и психологического характера крайне затруднительно, особенно без учета общественного мнения, воспринимающего различные виды рисков по-разному, неоднозначно.

Наглядный пример тому - особое отношение к опасности ионизирующей радиации в сравнении, скажем, с не менее, а в ряде случаев с более опасными, но «привычными» некоторыми химическими агентами, обладающими, как известно, более выраженным канцерогенным и генотоксическим свойством, чем ионизирующая радиация. Поэтому важно осознавать (в первую очередь, гигиенистам), что сосредоточение внимания лишь на одной из многих опасностей, стоящих перед человечеством, может вызвать излишнюю тревогу. С ионизирующим излучением надо обращаться скорее с осторожностью, нежели с боязнью, и риск от его воздействия оценивать в сравнении с другими видами риска. Из этого отнюдь не следуют какие-либо послабления в оценках и тем более игнорирование радиационной опасности. Такой подход с гигиенических позиций совершенно недопустим и категорически неприемлем.

Если бы все биологические эффекты облучения имели детерминированную природу, т.е. являлись пороговыми, то обоснование и установление дозовых пределов облучения стали бы сугубо научной задачей. Наличие стохастических (вероятностных) эффектов облучения, исходя из признания их беспороговой природы, резко усложняет процедуру обоснования пределов доз (которые напрямую зависят от численного значения вероятности риска), так как в данном случае речь идет о выборе и согласовании величины приемлемого для общества риска. Поэтому практическую важность имеет не факт беспороговости биологического действия ионизирующих излучений (или иных антропогенных агентов, подпадающих под эту категорию), а то, насколько значима, приемлема принимаемая для общества и его членов частота стохастических последствий облучения.

Очевидно, что эта значимость должна определяться, с одной стороны, медико-биологическими и гигиеническими соображениями, многими нравственно-этическими требованиями, а с другой - экономическими и

социальными аспектами. В ряде экстремальных ситуаций, прежде всего в случаях радиационных аварий, эти требования и соображения вступают в явное противоречие. Поэтому всегда следует помнить, что этот выбор базируется не столько на научных данных, сколько на некоем компромиссе, балансе различных интересов.

Один из таких подходов, который принят МКРЗ, заключается в том, что для условий регламентной (безаварийной) работы атомных технологий, использования источников ионизирующего излучения уровни риски от этой деятельности должны быть не выше тех рисков, которые можно трактовать как неприемлемые в нормальных условиях трудовой деятельности, а для населения в целом - как неприемлемые в нормальных условиях жизни. Что это означает? Применительно к профессиональным работникам, с целью обоснования пределов доз облучения, рекомендовано принять годовую вероятность смерти, связанную с их профессиональной деятельностью, такой же, как и в «благополучных» отраслях промышленности. Эта вероятность, как известно, равна  $10^{-3}$ . Иными словами, рассчитанная годовая частота смертельных исходов (обусловленных в основном злокачественными опухолями, которые могут быть индуцированы в результате профессионального облучения) в любом случае не должна превышать частоту смертельных исходов, связанную с профессиональной деятельностью людей в тех отраслях промышленности, в которых уровень безопасности отвечает высоким требованиям. Соответственно для населения с целью обоснования предела техногенного облучения (в результате функционирования технологий, связанных с радиоактивными материалами и другими источниками излучения) была принята величина приемлемого риска (усредненного за всю жизнь годового риска смерти)  $5 \cdot 10^{-5}$  (уровень пренебрежимо малого риска составляет  $10^{-6}$ ).

#### **Оценка радиационной опасности с точки зрения концепции «польза – вред»**

Хорошо известно, что улучшение условий труда или проживания людей влечет за собой экономические затраты. Эти затраты могут быть непосредственными, например на строительство защитных сооружений, или косвенными, например связанными с необходимостью изысканий, альтернативных, менее «вредных», но, возможно, более дорогостоящих технологий. Эффективность использования тех средств, которые общество тратит в интересах контроля вредных факторов и последующего снижения их уровней, определяется в первую очередь тем, насколько при данной величине затрат удастся снизить неблагоприятные последствия для людей.

Таким образом, научно-обоснованная система контроля безопасности должна содержать четкую и объективную оценку степени фактически существующего риска и исходить из реально имеющихся возможностей его снижения до тех или иных уровней.

Многие исследователи поддерживают следующий принцип решения вопроса о мерах по снижению риска от облучения: затраты на снижение риска (проектирование и обеспечение мер защиты) в расчете на единицу дозы

облучения должны быть меньше стоимости вреда в расчете на ту же дозу. В последние годы широко обсуждаются модели оценки стоимости наносимого здоровью вреда, основанные на принципе оптимизации. Этот принцип основан на количественном сравнении стоимости, пользы и минимизации суммарной стоимости радиационной безопасности (X) и коллективного повреждения здоровья (Y), причем Y определяется через коллективную эффективную эквивалентную дозу в единицах человеко-зиверт (чел.-Зв).

Таким образом, необходимо прежде всего определить экономическую стоимость 1 чел.-Зв. В работе указывается, что вероятность соматического смертельного заболевания равна  $1,25 \cdot 10^{-2}$  на 1 чел.-Зв, а тяжелых генетических последствий –  $0,8 \cdot 10^{-2}$  на 1 чел.-Зв. При этом полагают, что общее число опухолевых заболеваний в 2,06 раза больше, чем со смертельным исходом. Стоимость 1 чел.-Зв принимается равной 0,02 стоимости человеческой жизни, которая рассчитывается исходя из валового национального дохода на душу населения. Так как этот доход, а также стоимость ущерба вследствие соматических и генетических эффектов и ущерба психосоциального характера в разных странах различны, то очевидно, что при оценке стоимости вреда здоровью от облучения необходимо принимать во внимание особенности страны, для которой этот вред оценивают. Например, стоимость вреда здоровью от облучения для Франции, рассчитанная по стоимости человеческой жизни, равна 2300–113 000 долларов, а по годам потерянной жизни – около 6000 долларов (с учетом расходов на госпитализацию).

Согласно концепции «польза – вред» и принципу нормирования, разработанным МКРЗ, в частности в публикации 26 МКРЗ, дозовый предел должен быть таким, чтобы риск от облучения (смертельные случаи от стохастических беспороговых эффектов) не превышал ста смертей на один миллион работающих в год. Необходимо при этом учитывать, что это в основном риски смертельных опухолевых заболеваний, поэтому определение этих рисков – лишь часть вреда, связанного с облучением. По существу отношение к рискам зависит от экономического и социального прогресса.

«Чистую» пользу (П) от данного вида деятельности определяют через разность между общей пользой (V) и суммой трех компонентов: – основной стоимости производства (P);

- стоимости достижения выбранного уровня безопасности (X);
- стоимости вреда (Y), связанного с данным производством, т. е.

$$П = V - (P + X + Y)$$

Причем должны выполняться условия: П – максимум, X + Y – минимум и D меньше Dдоп, где D – индивидуальная доза.

Оценки пользы-вреда по этой формуле, рассматриваемой в 26-й рекомендации МКРЗ, проводятся практически для всех предприятий ядерного топливного цикла (ЯТЦ), причем оценивается денежный эквивалент меры вреда от облучения единицей коллективной дозы (член Y).

Удельная смертность представляет отношение числа смертельных исходов к произведению числа вовлеченных лиц на частоту воздействия.

Удельный среднегодовой доход представляет отношение среднегодового дохода (USD) к числу вовлеченных лиц.

Эта формула не учитывает вызванные облучением изменения физической и умственной работоспособности, возрастного уровня облучаемого, способности к воспроизводству, уровня самочувствия, усиления канцерогенного действия излучения сопутствующими химическими факторами и прочих факторов. Она является приближенной.

Уровень приемлемого риска пропорционален кубу пользы (реальной или воображаемой) – рис.

Удельная смертность

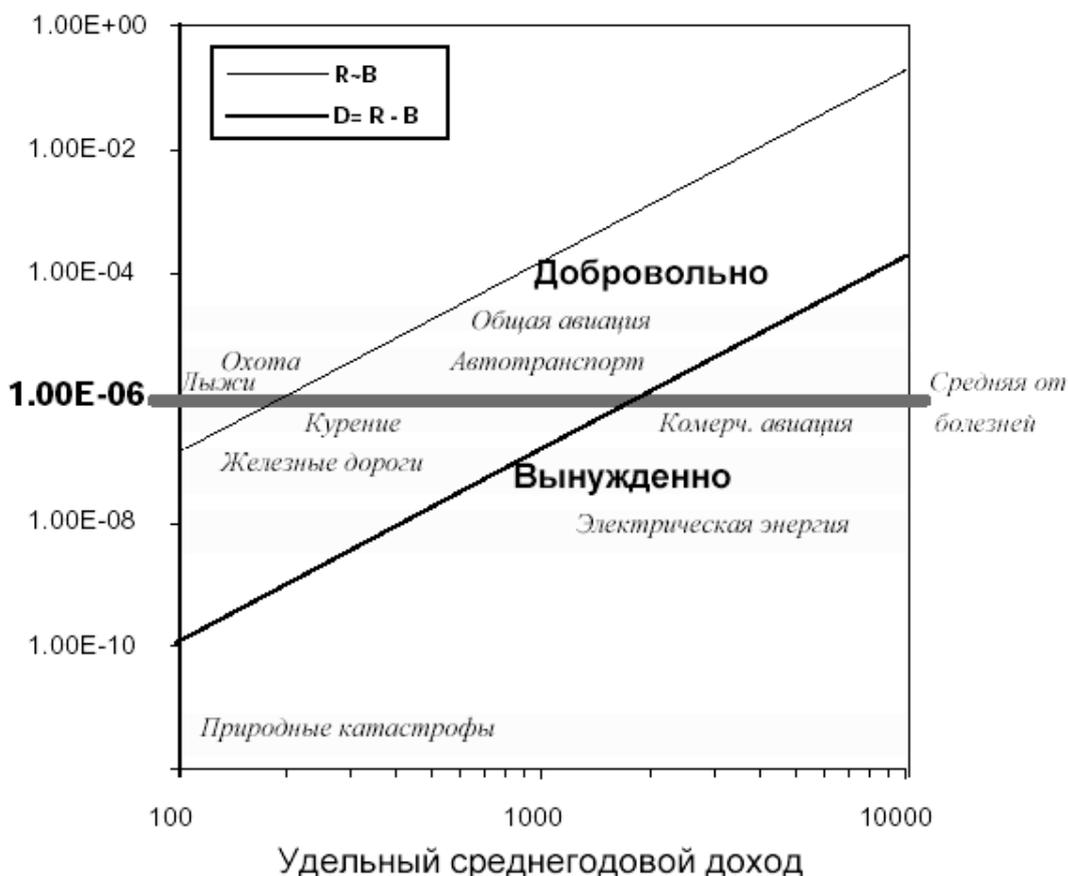


Рис. Уровень приемлемого риска в зависимости от пользы:

$R$  – величина риска;  $B$  – величина дохода в третьей степени

Для экономического анализа концепции «польза – вред», который имеет целью максимально увеличить «чистую» пользу независимой переменной, как уже указывалось, является коллективная эквивалентная доза (КД<sub>ээ</sub>), получаемая при данном виде деятельности:

$$\sum \text{КД}_{ээ} = \int_0^{\infty} D \cdot N(D) \cdot dD,$$

где  $N(D)dD$  – число лиц, получивших эквивалентную дозу в диапазоне от  $D$  до  $D + dD$  на все тело, или другой учитываемый орган (ткань).

Для общей оценки радиационной опасности за все время существования создаваемой данной технологией радиоактивности вводят понятие «ожидаемой (коммитментной) индивидуальной и коллективной доз».

В общем виде ожидаемая коллективная доза определяется как

$$KD_{\text{ээ}} = \int_0^{\infty} KD^{\circ}_{\text{ээ}}(t) dt,$$

где  $KD^{\circ}_{\text{ээ}}(t)$  – коллективная мощность дозы в момент времени  $t$ ;

$$KD^{\circ}_{\text{ээ}}(t) = \int_0^{\infty} D^{\circ} \frac{dN(D^{\circ})}{dD^{\circ}} dD^{\circ},$$

где  $D^{\circ}$  – мощность дозы облучения отдельного лица;

$$\frac{dN(D^{\circ})}{dD^{\circ}}$$

- распределение отдельных лиц в популяции по значению полученной мощности дозы в момент времени  $t$ .

Средние ожидаемые индивидуальные дозы определяются как

$$D^c = \int_0^{\infty} \frac{KD_{\text{ээ}}(t)}{N(t)} dt.$$

Таким образом, любой выбранный уровень безопасности (степень защищенности) характеризуется коллективной дозой  $KD_{\text{ээ}}$ , причем чем больше доза, тем меньше степень защищенности и выше остаточная радиационная опасность в связи с данным видом деятельности.

При повышении требований к радиационной безопасности затраты на защиту сильно возрастают. Так как предполагается, что с любым сколь угодно малым значением дозы связана определенная вероятность риска, то в принципе любой достигнутый уровень дозы приводит к некоторым потерям  $У$ .

Исходя из сказанного, при уменьшении дозы соответственно снижаются потери на недостаточную защищенность ( $У$ ), но возрастают затраты на достижение этого уровня ( $Х$ -затраты на безопасность и защиту). И наоборот, при увеличении дозы снижаются затраты на достижение уровня защищенности  $Х$ , но возрастают потери из-за недостаточной защищенности  $У$ . Эта ситуация качественно проиллюстрирована на рис.

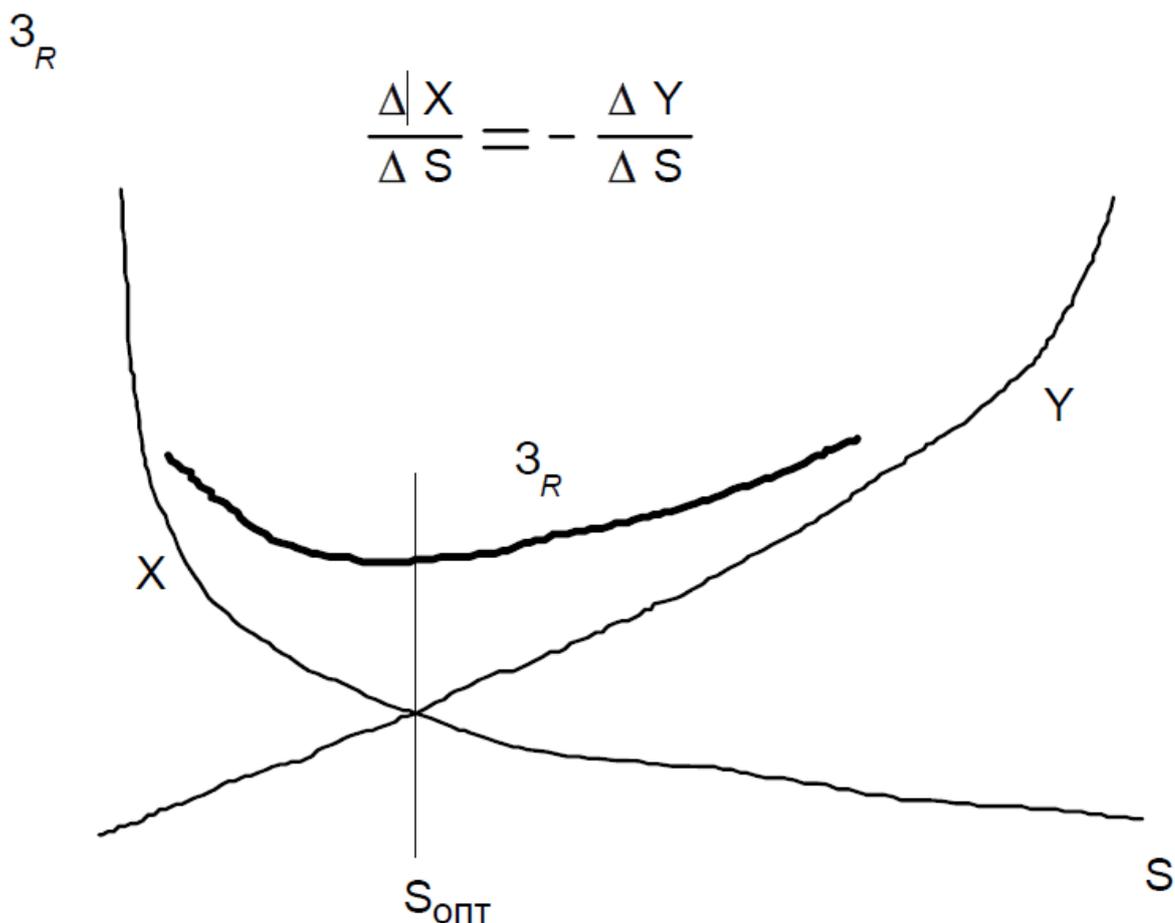


Рис. Дифференциальный анализ затрат и пользы:  $S$  – достигнутый уровень коллективной дозы (КДээ);  $X$  – общая стоимость достижения данной КДээ;  $Y$  – общая стоимость ущерба, обусловленного уровнем облучения КДээ;  $Z_R = X + Y$

Если имеется возможность выразить  $X$  и  $Y$  в одинаковых единицах, то можно получить сумму  $(X + Y)$  в зависимости от дозы. Очевидно, что эта сумма при некотором значении дозы должна иметь минимум. Для данного вида деятельности можно отыскать такое значение дозы, при котором увеличение стоимости за счет затрат на безопасность на единицу эквивалентной дозы уравнивается снижением стоимости вреда (потерь) на ту же величину.

Совершенно ясно, что оптимизация условий применения новой технологии или установление обоснованного уровня возможно низкого значения риска позволяет в принципе повысить ее экономическую целесообразность. Величина  $(X + Y)$  – в сущности вся совокупность негативных аспектов последствий данного вида деятельности, включая оплату стоимости материалов, изделий, систем, трудозатрат на конструирование, изготовление, эксплуатацию, замену, ремонт, контроль, а также все другие траты, потери, обязательства, услуги, причиненный вред, включая ущерб для здоровья людей и окружающей среды.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

**Тема: Оценка индивидуальных эффективных доз облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения**

### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Наибольший вклад в дозу облучения населения вносят природные источники ионизирующего излучения - от 50 % до более чем 90% суммарной годовой эффективной дозы облучения. Основная доля в структуре облучения населения приходится на внутреннее облучение за счет ингаляции изотопов радона ( $^{222}\text{Rn}$  (радон) и  $^{220}\text{Rn}$  (торон)) и их короткоживущих дочерних продуктов, содержащихся в воздухе жилых и общественных зданий и производственных помещений, а также в приземном слое атмосферы на территории населенных пунктов. Следующим по значимости является гамма-излучение природных радионуклидов, содержащихся в строительных материалах и конструкциях зданий, а также рассеянных в окружающей среде.

В некоторых случаях существенным может быть внутреннее облучение населения за счет перорального поступления природных радионуклидов, содержащихся в воде источников питьевого водоснабжения и пищевых продуктах, а также ингаляционного поступления аэрозолей природных радионуклидов из атмосферного воздуха.

Для облучения природными источниками ионизирующего излучения людей характерным является более или менее равномерное облучение в течение всей жизни. При стандартной продолжительности жизни 70 лет оценка средней годовой эффективной дозы внутреннего облучения взрослых людей, полученная на основе дозовых коэффициентов для взрослых, и рассчитанная с учетом изменения численных значений этих коэффициентов с возрастом человека, отличается незначительно даже в предположении одинакового потребления пищевых продуктов и питьевой воды. С учетом возрастных изменений потребления пищевых продуктов и питьевой воды, эта разница оказывается существенно меньше.

Исходными для расчета индивидуальных годовых эффективных доз облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения являются: среднегодовые значения эквивалентной равновесной объемной активности (далее - ЭРОА) изотопов радона в воздухе жилых и общественных зданий, а также на территории населенного пункта (района и т.п.); средние значения мощности дозы гамма-излучения в жилых и общественных зданиях, а также на территории населенного пункта (района и т.п.); содержание природных радионуклидов в воде источников питьевого водоснабжения населения; основные компоненты рациона питания населения, годовое потребление пищевых продуктов и значения удельной активности природных радионуклидов в них; среднегодовое содержание пыли (аэрозолей) в приземном слое атмосферного воздуха и удельная активность долгоживущих природных радионуклидов в пыли.

## 1. Определение индивидуальных эффективных доз внешнего облучения населения

Значение индивидуальной годовой эффективной дозы внешнего облучения  $\bar{E}_{внеш}$  взрослых жителей населенного пункта (района и т.п.) определяется по результатам измерений мощности дозы гамма-излучения в жилых и общественных зданиях и на открытой местности на территории населенного пункта (района и т.п.) и рассчитывается по формуле:

$$\bar{E}_{внеш} = d \cdot 8800 \cdot 10^{-3} (0,2 \cdot N_{ул} + 0,8 \cdot N_{здан}) + 0,40 = d \cdot 1,760 (N_{ул} + 4 \cdot N_{здан}) + 0,40; \\ \text{мЗв/год, (1)}$$

где

8800 - стандартное число часов в году;

$10^{-3}$  - коэффициент перевода мкЗв в мЗв;

0,8 и 0,2 - доля времени нахождения людей в помещениях и на улицах соответственно;

$N_i$  (мкЗв/ч) - среднее значение мощности дозы гамма-излучения на открытой территории населенного пункта (индекс «ул.») и в жилых и общественных зданиях (индекс «здан.») соответственно;

0,40 мЗв/год - вклад космического излучения;

$d$  - дозовый коэффициент, численное значение которого принимается равным:

1,0 мЗв/мкЗв, если  $N$  - мощность дозы гамма-излучения, выраженная в мкЗв/час;

0,7 мЗв/мкГр, если  $N$  - мощность дозы гамма-излучения, выраженная в мкГр/час;

0,0061 мЗв/мкР, если  $N$  - мощность дозы гамма-излучения, выраженная в мкР/час.

При оценке доз внешнего облучения по формуле (1) для населения, проживающего на территории с техногенно измененным радиационным фоном, вклад техногенного загрязнения учитывается автоматически в показаниях дозиметров  $N$ .

Для расчетов эффективных доз внешнего облучения жителей мощность дозы гамма-излучения ( $N$ ) в помещениях и на открытой территории должна определяться с учетом уровня собственного фона дозиметра ( $N_{фон}$ ) и отклика его на космическое излучение по формуле:

$$N_i = N - (N_{ф} + N_{к}), \text{ мкЗв/ч, где (2)}$$

$N_i$ ,- мощность дозы гамма-излучения в  $i$ -ой точке измерений;

$N$  - показания дозиметра в  $i$ -ой точке измерений;

$N_{ф}$  - собственный фон дозиметра;

$N_{к}$ - отклик дозиметра на космическое излучение.

При оценке доз внешнего облучения населения, проживающего на территории с техногенно измененным радиационным фоном по причине аварий прошлых лет или другим причинам, в показания дозиметра может вносить вклад излучение искусственных радионуклидов. При оценке доз внешнего облучения населения на этих территориях этот вклад, определяемый по специальным нормативным и методическим документам, должен быть вычтен из показаний дозиметров. Это необходимо делать, когда вклад искусственных радионуклидов во внешнее облучение населения превышает 10% от эффективных доз внешнего облучения населения природными источниками ионизирующего излучения.

## 2. Определение индивидуальных эффективных доз внутреннего облучения населения за счет изотопов радона и их короткоживущих дочерних продуктов в воздухе

Значение индивидуальной годовой эффективной дозы внутреннего облучения  $E_{внRn}$  взрослых жителей населенного пункта (района и т.п.) рассчитывается по формуле:

$$E_{внRn} = 9,0 \cdot 10^{-6} \cdot 8800 \cdot (0,2 \cdot \bar{A}_{экр.ул.} + 0,8 \cdot \bar{A}_{экр.здан.}) = 0,01584 \cdot (\bar{A}_{экр.ул.} + 4 \cdot \bar{A}_{экр.здан.}), \text{ МЗв/год, где (3)}$$

$9,0 \cdot 10^{-6}$  - дозовый коэффициент [МЗв/(час·Бк/м<sup>3</sup>)];

$\bar{A}_{экр.i}$  - среднее значение ЭРОА изотопов радона в воздухе на открытой территории населенного пункта (индекс «ул.») и жилых и общественных зданиях («здан.») соответственно. Остальные обозначения в формуле (3) те же, что и в формуле (1).

Значение  $E_{внRn}$ , полученное по формуле (3), характеризует эффективную дозу внутреннего облучения населения за счет ингаляции короткоживущих ДПР.

Материнские радионуклиды – <sup>222</sup>Rn (радон) и <sup>220</sup>Rn (торон) вносят дополнительный вклад в эту дозу, составляющую примерно 5% от дозы облучения за счет короткоживущих ДПР и ДПТ. Этот вклад при расчете доз облучения населения за счет изотопов радона в воздухе помещений следует учитывать введением численного коэффициента 1,05 в формулу (8) настоящей Инструкции.

Если для атмосферного воздуха на территории данного населенного пункта (района и т.п.) данные о значениях  $\bar{A}_{экр.ул.}$  отсутствуют, то для расчетов доз облучения населения за счет этого фактора следует принимать  $\bar{A}_{экр.ул.} = 6,5$  Бк/м<sup>3</sup>, в соответствии с данными о среднемировых значениях ЭРОА изотопов радона в приземном слое атмосферного воздуха.

Среднегодовое значение ЭРОА изотопов радона в воздухе рассчитывается по формуле:

$$A_{экр} = A_{экр.Rn} + 4,6 \cdot A_{экр.Tn}, \text{ Бк/м}^3, \text{ где (4)}$$

$A_{экв.Rn}$  и  $A_{экв.Tn}$  - среднегодовая ЭРОА радона и торона в воздухе соответственно.

### 3. Определение индивидуальных эффективных доз внутреннего облучения за счет долгоживущих природных радионуклидов в пищевых продуктах и питьевой воде

Значение индивидуальной годовой эффективной дозы внутреннего облучения жителей за счет долгоживущих природных радионуклидов в пищевых продуктах и питьевой воде зависит от годового потребления продуктов питания и воды.

Среднее значение индивидуальной годовой эффективной дозы внутреннего облучения взрослых жителей за счет долгоживущих природных радионуклидов в пищевых продуктах ( $\bar{E}_{вн.пп}$ ) рассчитывается по формуле:

$$\bar{E}_{вн.пп} = \sum_{i,j} d_{pj} m_i \bar{C}_{i,j}, \text{ мЗв/год, где} \quad (5)$$

$m_i$  - среднее годовое потребление  $i$ -го продукта, кг/год;

$\bar{C}_{i,j}$  - средняя удельная активность  $j$  - радионуклида в  $i$ -ом компоненте рациона питания жителей населенного пункта (района и т.п.), Бк/кг;

$d_{pj}$  - дозовый коэффициент для  $j$ -го радионуклида при его пероральном поступлении в организм с пищевыми продуктами, согласно приложению 1.

Среднее значение индивидуальной годовой эффективной дозы внутреннего облучения взрослых жителей за счет долгоживущих природных радионуклидов в питьевой воде ( $\bar{E}_{вн.пв}$ ) рассчитывается по формуле:

$$\bar{E}_{вн.пв} = \sum_i d_{pi} m_{пв} \bar{C}_i, \text{ мЗв/год, где} \quad (6)$$

$m_{пв}$  - среднее годовое потребление питьевой воды, кг/год;

$\bar{C}_i$  - среднее значение удельной активности  $i$ -го радионуклида в воде источников питьевого водоснабжения жителей населенного пункта (района и т.п.), Бк/кг;

$d_{pi}$  - дозовые коэффициенты, численные значения которых принимаются согласно приложению 1.

По формуле (6) рассчитывается вклад всех природных радионуклидов в облучение населения за счет питьевой воды, кроме  $^{222}\text{Rn}$  (радон). В основном облучение населения за счет радона, содержащегося в питьевой воде, происходит при переходе его в воздух помещений и последующем ингаляционном поступлении ДПР в организм. Поэтому вклад радона учитывается при определении уровней облучения населения за счет изотопов радона в воздухе помещений.

При наличии достоверной информации об основных компонентах рациона питания населения и годовом потреблении пищевых продуктов и питьевой воды, средние значения индивидуальной годовой эффективной дозы внутреннего облучения взрослых жителей за счет долгоживущих природных радионуклидов следует определять по формулам (5) и (6).

При отсутствии данных о рационе питания и годовом потреблении пищевых продуктов и питьевой воды, расчеты допускается проводить исходя из данных по стандартному рациону питания, характерному для населения региона, и годовому потреблению питьевой воды 730 кг/год.

Среднемировое значение эффективной дозы облучения за счет поступления долгоживущих природных радионуклидов уранового и ториевого рядов с пищевыми продуктами и питьевой водой составляет 0,12 мЗв/год. Этой дозе облучения соответствуют среднемировые значения содержания природных радионуклидов в основных компонентах рациона питания согласно приложению 2.

#### 4. Определение индивидуальных эффективных доз внутреннего облучения за счет долгоживущих природных радионуклидов в атмосферном воздухе

Эффективная доза внутреннего облучения населения за счет ингаляционного поступления природных радионуклидов с пылью  $\bar{E}_{вн.инг.}$  определяется среднегодовым содержанием пыли в приземном слое атмосферного воздуха и удельной активностью радионуклидов в пыли. Среднемировое значение годовой эффективной дозы внутреннего облучения населения за счет этого фактора достаточно мало и составляет 0,006 мЗв/год при среднегодовом содержании пыли в атмосферном воздухе около 50 мкг/м<sup>3</sup>.

При наличии информации о том, что в данном населенном пункте эта доза может существенно превышать среднемировое значение и достоверной информации о запыленности воздуха на территории населенного пункта (района и т.п.), средние значения индивидуальной годовой эффективной дозы внутреннего облучения взрослых жителей за счет ингаляции долгоживущих природных радионуклидов следует рассчитывать по формуле:

$$\bar{E}_{вн.инг.} = 1,2 \cdot 0,2 \cdot 8800 \bar{f} \sum_j d_{inh,j} \cdot \bar{C}_j, \text{ мЗв/год, где} \quad (7)$$

1,2 - стандартный объем дыхания для взрослого человека, м<sup>3</sup>/час;

0,2 и 8800 - то же, что и в формулах (1) и (3);

$\bar{C}_j$  - удельная активность j-го радионуклида пыли, содержащейся в приземном слое атмосферного воздуха, кБк /кг;

$\bar{f}$  - средняя запыленность воздуха на территории населенного пункта (района и т.п.) мг/м<sup>3</sup>;

$d_{inh,j}$  - дозовый коэффициент для j-го радионуклида, Зв/Бк.

Численные значения дозовых коэффициентов для основных радионуклидов рядов <sup>238</sup>U и <sup>232</sup>Th, дающих существенный вклад в дозу внутреннего облучения населения при их ингаляционном поступлении в организм взрослого населения приведены в приложении 3 к настоящей Инструкции. При неизвестном типе соединения радионуклида в воздухе для расчета доз внутреннего облучения следует принимать максимальные

значения дозовых коэффициентов согласно приложению 3 к настоящей Инструкции.

### 5. Определение суммарной годовой эффективной дозы облучения населения за счет всех природных источников ионизирующего излучения

Среднее значение суммарной годовой эффективной дозы облучения взрослых жителей населенного пункта (района и т.п.) за счет всех природных источников ионизирующего излучения определяется суммой всех ее составляющих:

$$\bar{E}_{np} = 0,57 + \bar{E}_{внеш} + 1,05 \cdot \bar{E}_{вн. Rn} + \bar{E}_{вн. пп} + \bar{E}_{вн. лп} + \bar{E}_{вн. инг.}, \quad (8)$$

в которой численный коэффициент 1,05 введен для учета вклада в дозу облучения населения материнских радионуклидов –  $^{222}\text{Rn}$  (радон) и  $^{220}\text{Rn}$  (торон) в воздухе помещений.

Слагаемое 0,57 в формуле (8) учитывает вклад в эффективные дозы облучения населения ионизирующей компоненты космического излучения (0,40 мЗв/год) и внутреннего облучения за счет  $^{40}\text{K}$  (0,17 мЗв/год).

Наряду с суммарными дозами облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения важнейшей характеристикой является относительный вклад в нее отдельных составляющих, информация о котором является основой для планирования оптимальных мероприятий по снижению уровней облучения населения.

## ЗАДАНИЯ

1. В условном населенном пункте среднее значение мощности дозы гамма-излучения на открытой территории составило 0,1 мкЗв/ч, в жилых и общественных зданиях – 0,05 мкЗв/ч. Среднее значение ЭРОА изотопов радона в воздухе на открытой территории населенного пункта было 6,5 Бк/м<sup>3</sup>, в жилых и общественных зданиях – 18 Бк/м<sup>3</sup>. Определите среднее значение суммарной годовой эффективной дозы облучения взрослых жителей населенного пункта за счет всех природных источников ионизирующего излучения.

2. Измеренные значения ЭРОА изотопов радона в воздухе жилых и общественных зданий различного типа (одноэтажные деревянные, одноэтажные каменные, многоэтажные) и назначения (административные здания, школы, детские сады, спортивно-оздоровительные комплексы и др.), полученные в ходе радиационного мониторинга на территории 7 населённых пунктов, варьировали в пределах от единиц Бк/м<sup>3</sup> до 108 Бк/м<sup>3</sup> при среднем значении по всем результатам измерений около 17,8 Бк/м<sup>3</sup>.

Мощность дозы гамма-излучения измерялась практически во всех типах домов и на открытой местности. В жилых домах среднее значение МЭД

составило 0,087 мкЗв/ч при диапазоне измеренных значений от 0,06 до 0,20 мкЗв/ч для всех типов зданий. Для открытой территории всех обследованных в эти годы населённых пунктов были характерны достаточно однородные по мощности дозы гамма-излучения условия: измеренные значения колебались в диапазоне от 0,06 до 0,10 мкЗв/ч при среднем значении 0,075 мкЗв/ч.

Оцените среднюю суммарную годовую эффективную дозу для жителей обследованного региона.

## Приложение 1

### *Дозовые коэффициенты для основных\* радионуклидов рядов урана и тория при их пероральном поступлении в организм взрослых жителей*

Таблица 1 - Дозовые коэффициенты для основных\* радионуклидов ряда  $^{238}\text{U}$

Радионукл ид	Период полураспада	Тип распада	Дозовый коэффициент при пероральном поступлении, Зв/Бк
$^{238}\text{U}$	$4,77 \cdot 10^9$ лет	$\alpha$	$4,5 \cdot 10^{-8}$
$^{234}\text{Th}$	24,10 дней	$\beta$	$3,4 \cdot 10^{-9}$
$^{234}\text{U}$	$2,45 \cdot 10^5$ лет	$\alpha$	$4,9 \cdot 10^{-8}$
$^{230}\text{Th}$	$7,70 \cdot 10^4$ лет	$\alpha$	$2,1 \cdot 10^{-7}$
$^{226}\text{Ra}$	1600 лет	$\alpha$	$2,8 \cdot 10^{-7}$
$^{210}\text{Pb}$	22,3 года	$\beta$	$6,9 \cdot 10^{-7}$
$^{210}\text{Bi}$	5,013 дня	$\beta$	$1,3 \cdot 10^{-9}$
$^{210}\text{Po}$	138,4 дня	$\alpha$	$1,2 \cdot 10^{-6}$
Сумма			$2,48 \cdot 10^{-6}$

Таблица 2 - Дозовые коэффициенты для основных\* радионуклидов ряда  $^{232}\text{Th}$

Радионукл ид	Период полураспада	Тип распада	Дозовый коэффициент при пероральном поступлении, Зв/Бк
$^{232}\text{Th}$	$1,405 \cdot 10^{10}$ лет	$\alpha$	$2,3 \cdot 10^{-7}$
$^{228}\text{Ra}$	5,75 лет	$\beta$	$6,9 \cdot 10^{-7}$
$^{228}\text{Th}$	1,913 лет	$\alpha$	$7,2 \cdot 10^{-8}$
$^{224}\text{Ra}$	3,66 дней	$\alpha$	$6,5 \cdot 10^{-8}$
Сумма			$1,06 \cdot 10^{-6}$

\* Численные значения дозовых коэффициентов для остальных радионуклидов семейства меньше минимального из приведенных в таблице в 10 и более раз.

Приложение 2

Таблица 1- Среднемировые значения содержания природных радионуклидов в основных пищевых продуктах, мБк/кг

Пищевой продукт (потребление, кг/год)	$^{238}\text{U}+^{234}\text{U}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{228}\text{Ra}$	$^{210}\text{Pb}$	$^{210}\text{Po}$
Молоко (105)	1	5	5	40	60
Мясо (50)	2	15	10	80	60
Хлеб(140)	20	80	60	100	100
Листовые овощи (60)	20	50	40	30	30
Корнеплоды, фрукты (170)	3	30	-	25	30
Рыба (15)	30	100	10	200	2000
Вода питьевая (500)	1	0,5	0,5	10	5

Примечание. При годовом потреблении питьевой воды 730 кг/год доза внутреннего облучения людей по п. 27 настоящей Инструкции составит 0,125 мЗв/год.

Приложение 3

Таблица 1 - Дозовые коэффициенты для отдельных радионуклидов ряда  $^{238}\text{U}$

Радио- нуклид	Период полураспа- да	Тип распада	Дозовый коэффициент при ингаляционном поступлении, Зв/Бк	
			Тип соединения - П	Максимальный
$^{238}\text{U}$	$4,77 \cdot 10^9$ лет	$\alpha$	$2,9 \cdot 10^{-6}$	$8,0 \cdot 10^{-6}$
$^{234}\text{Th}$	24,10 дней	$\beta$	$6,6 \cdot 10^{-9}$	$7,7 \cdot 10^{-9}$
$^{234}\text{Pa}$	1,17 мин	$\beta$	$3,8 \cdot 10^{-10}$	$4,0 \cdot 10^{-10}$
$^{234}\text{U}$	$2,45 \cdot 10^5$ лет	$\alpha$	$3,5 \cdot 10^{-6}$	$9,4 \cdot 10^{-6}$
$^{230}\text{Th}$	$7,70 \cdot 10^4$ лет	$\alpha$	$4,3 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$
$^{226}\text{Ra}$	1600 лет	$\alpha$	$3,5 \cdot 10^{-6}$	$9,5 \cdot 10^{-6}$
$^{214}\text{Pb}$	26,8 мин	$\beta$	$1,4 \cdot 10^{-8}$	$1,5 \cdot 10^{-8}$
$^{214}\text{Bi}$	19,9 мин	$\beta$	$1,4 \cdot 10^{-8}$	$1,4 \cdot 10^{-8}$
$^{210}\text{Pb}$	22,3 года	$\beta$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$5,6 \cdot 10^{-6}$
$^{210}\text{Bi}$	5,013 дня	$\beta$	$9,3 \cdot 10^{-8}$	$9,3 \cdot 10^{-8}$
$^{210}\text{Po}$	138,4 дня	$\alpha$	$3,3 \cdot 10^{-6}$	$4,3 \cdot 10^{-6}$
Сумма			$5,74 \cdot 10^{-5}$	$13,70 \cdot 10^{-6}$

Таблица 2 - Дозовые коэффициенты для отдельных радионуклидов ряда  $^{232}\text{Th}$

Радио- нуклид	Период полураспад а	Тип распад а	Дозовый коэффициент при ингаляционном поступлении, Зв/Бк	
			Тип соединения -П	Максимальный
$^{232}\text{Th}$	$1,405 \cdot 10^{10}$ лет	$\alpha$	$4,5 \cdot 10^{-5}$	$4,5 \cdot 10^{-5}$
$^{228}\text{Ra}$	5,75 лет	$\beta$	$2,6 \cdot 10^{-6}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$
$^{228}\text{Ac}$	6,15 час	$\beta$	$1,7 \cdot 10^{-8}$	$1,7 \cdot 10^{-8}$
$^{228}\text{Th}$	1,913 лет	$\alpha$	$3,2 \cdot 10^{-5}$	$4,0 \cdot 10^{-5}$
$^{224}\text{Ra}$	3,66 дней	$\alpha$	$3,0 \cdot 10^{-6}$	$3,4 \cdot 10^{-6}$
$^{212}\text{Pb}$	10,64 час	$\beta$	$1,7 \cdot 10^{-7}$	$1,9 \cdot 10^{-7}$
$^{212}\text{Bi}$	60,55 мин	$\alpha$ (36%) $\beta$ (64%)	$3,1 \cdot 10^{-8}$	$3,1 \cdot 10^{-8}$
Сумма			$8,28 \cdot 10^{-5}$	$10,46 \cdot 10^{-5}$

### ЛИТЕРАТУРА

1. UNSCEAR UN. Sources and Effects of Ionizing Radiation. // United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. 2000: Report to the General Assembly UN.– New York: United Nations, 2000.– V. I. – 654 p., V. II. – 566 p.
2. Крисюк, Э.М. Уровни и последствия облучения населения / Э.М. Крисюк // АНРИ. – 2002. – № 1 (28). – С. 4–13.
3. IAEA SAFETY STANDARDS for protecting people and the environment. Protection of the Public against Exposure Indoors due to Natural Sources of Radiation. Draft Safety Guide No. DS421. – Vienna, April 2012. – 92 p.
4. Серия норм МАГАТЭ по безопасности, № GSR Part 3 (Interim). Радиационная защита и безопасность источников излучения: международные основные нормы безопасности / Промежуточное издание. – Вена: МАГАТЭ, 2011. – 329 с.
5. Барышков, Н.К. Информационный сборник «Дозы облучения населения Российской Федерации за 2011 год» / Н.К. Барышков [и др.]. – СПб.: АРКУШ, 2012. – 63 с.
6. Лисаченко, Э.П. Природные радионуклиды в производственных отходах неурановой отрасли (обзор) / Э.П. Лисаченко, И.П. Стамат // Радиационная гигиена. – 2009. – Т. 2, № 2. – С. 64–71.
7. EUROPEAN COMMISSION. Radiation Protection 112, Radiological Protection Principles Concerning the Natural Radioactivity of Building Materials. Directorate General Environment, Nuclear Safety and Civil Protection. EC, Luxembourg, 1999. – 16 p.

8. Карпов, В.И. Фотонное излучение естественных радионуклидов / В.И. Карпов, Э.М. Крисюк. – М.: Издание НКРЗ 79-14, 1979. – 18 с.
9. Крисюк, Э.М. Радиационный фон помещений / Э.М. Крисюк – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 120 с.
10. Ограничение облучения населения от природных источников ионизирующего излучения. Временные критерии для принятия решения и организации контроля № 43- 10/796 от 5.12.1990 г. – М.: Министерство здравоохранения России, 1990. – 18 с.
11. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы (СанПиН 2.6.1.2523-09): утв. И введены в действие от 07.08.2009 г. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с.
12. Стамат, И.П. К обоснованию нормативов по содержанию природных радионуклидов в облицовочных изделиях и материалах / И.П. Стамат, Д.И. Стамат // Радиационная гигиена. – 2009. – Т. 2, № 1. – С. 46–51.
13. Стамат, И.П. Оценка вклада эманирования радона с поверхности облицовочных изделий в облучение населения / И.П. Стамат [и др.] // Радиационная гигиена. – 2009. – Т. 2, № 4. – С. 16–22.
14. Yahong, M. Physical Models and Limits of Radionuclides for decorative building Materials / M. Yahong [et al.] // Health Phys. – 2006. – V. 90, № 5. – P. 471–475.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

Тема: Требования к ограничению облучения населения

### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

В нормах радиационной безопасности НРБ-99 установлены:

1. Три категории облучаемых лиц:

категория *A* – персонал (профессиональные работники);

категория *B* – профессиональные работники, не связанные с использованием источников ионизирующих излучений, но рабочие места которых расположены в зонах воздействия радиоактивных излучений;

категория *B* – население области, края, республики, страны.

2. Три группы критических органов:

1-я группа – все тело, половые органы, костный мозг;

2-я группа – мышцы, щитовидная железа, жировая ткань, печень, почки, селезенка, желудочно-кишечный тракт (ЖКТ), легкие, хрусталик глаза и другие органы, за исключением тех, которые относятся к 1-й и 3-й группам

3-я группа – кожный покров, костная ткань, кисти, предплечья, стопы.

3. Основные дозовые пределы, допустимые для лиц категорий *A*, *B* и *B*.

Основные дозовые пределы – предельно допустимые дозы (ПДД) облучения (для категории *A*) и пределы дозы (ПД) (для категории *B*) за календарный год. ПДД и ПД измеряются в миллизивертах в год (*мЗв/год*). ПДД и ПД не включают в себя дозы естественного фона и дозы облучения, получаемые при медицинском обследовании и лечении (см. табл. 1.)

Таблица 1 - Основные дозовые пределы, мЗв/год

Категория облучаемых лиц	Группа критических органов		
	1-я	2-я	3-я
<i>A</i>	20	150	500
<i>B</i>	1	15	50

Примечание. Дозы облучения для персонала категории *B* не должны превышать  $\frac{1}{4}$  значений для персонала категории *A*.

ПДД – наибольшее значение индивидуальной эквивалентной дозы облучения за календарный год, которое при равномерном воздействии в течение 50 лет не вызовет в состоянии здоровья персонала неблагоприятных изменений, обнаруживаемых современными методами.

ПД – основной дозовый предел, при котором равномерное облучение в течение 70 лет не вызовет изменений здоровья, обнаруживаемых современными методами.

### Методика оценки

При проведении радиационного контроля и оценке соответствия параметров радиационной обстановки нормативам должны соблюдаться следующие соотношения:

$$H \leq \text{ПДД}, (1)$$

где  $H$  – максимальная эквивалентная доза излучения на данный критический орган,  $\text{мЗв/год}$  :

$$H = D \cdot k, (2)$$

где  $D$  – поглощенная доза излучения,  $\text{мЗв/год}$ ;  $k$  – коэффициент качества излучения (безразмерный коэффициент, на который следует умножить поглощенную дозу рассматриваемого излучения для получения эквивалентной дозы этого излучения).

Для категории  $B$

$$H \leq \text{ПД}, (3)$$

где  $H$  рассчитывают по формуле (2.)

Значения коэффициента  $k$  приведены ниже.

Вид излучения	$k$
Рентгеновское и $\gamma$ - излучение	1
Электроны и позитроны, $\beta$ – излучение	1
Протоны с энергией $< 10 \text{ МэВ}$	10
Нейтроны с энергией $< 0,02 \text{ МэВ}$	3
Нейтроны с энергией $0,1 \dots 10 \text{ МэВ}$	10
$A$ – излучение с энергией $< 10 \text{ МэВ}$	20
Тяжелые ядра отдачи	20

### ЗАДАНИЯ

1. Выбрать вариант (табл. 2.).
2. Ознакомиться с методикой.
3. В соответствии с категорией облучаемых лиц, группой критических органов и режимов работы определить основные дозовые пределы (ПДД и ПД).
4. По формуле (2.) определить максимальную эквивалентную дозу излучения.

5. С помощью формул (1.) и (3.) сделать вывод о соответствии радиационной обстановки нормам радиационной безопасности.

Таблица 1.2 - Варианты заданий к лабораторной работе по теме «оценка радиационной обстановки»

Вариант	Категория облучаемых лиц	Облучение		
		Группа критических органов	Вид излучения	Поглощенная доза, мЗв/год
01	А	Все тело	$\alpha$ – излучение с энергией $< 10$ МэВ	1
02	А	Все тело	$\alpha$ – излучение с энергией $< 10$ МэВ	2
03	А	Щитовидная железа	$\beta$ – излучение	75
04	А	Печень, почки	Протоны с энергией $< 10$ МэВ	10
05	А	Легкие	Протоны с энергией $< 10$ МэВ	20
6	А	Голени и стопы	Нейтроны с энергией 0,1 ...10 МэВ	15
07	А	Кожный покров	Нейтроны с энергией 0,1 ...10 МэВ	20
08	Б	Все тело	$\gamma$ - излучение	1
09	А	Все тело	$\gamma$ - излучение	2
10	Б	Все тело	Рентгеновское излучение	3
11	А	Органы пищеварения	Рентгеновское излучение	10
12	А	Органы пищеварения	Нейтроны с энергией $< 0,02$ МэВ	1
13	А	Легкие	Нейтроны с энергией $< 0,02$ МэВ	2
14	А	Легкие	Нейтроны с энергией $< 0,02$ МэВ	3

15	А	Легкие	Нейтроны энергией $< 0,02$ <i>МэВ</i>	$\frac{с}{4}$
16	А	Все тело	Нейтроны энергией $0,1 \dots 10$ <i>МэВ</i>	$\frac{с}{2}$
17	А	Все тело	Нейтроны энергией $0,1 \dots 10$ <i>МэВ</i>	$\frac{с}{3}$
18	А	Костная ткань	Протоны энергией $< 10$ <i>МэВ</i>	$\frac{с}{20}$
19	А	Мышцы	Протоны энергией $< 10$ <i>МэВ</i>	$\frac{с}{10}$
20	А	Легкие	$\beta$ – излучение	100
21	А	Кисти рук	$\beta$ – излучение	200
22	А	Кожный покров	$\alpha$ – излучение	20
23	А	Печень, почки	$\alpha$ – излучение	10
24	Б	Все тело	$\gamma$ - излучение	2
25	Б	Все тело	$\gamma$ - излучение	4
26	Б	Все тело	Нейтроны энергией $< 0,02$ <i>МэВ</i>	$\frac{с}{1}$
27	Б	Легкие	Нейтроны энергией $< 0,02$ <i>МэВ</i>	$\frac{с}{2}$
28	Б	Легкие	Нейтроны энергией $< 0,02$ <i>МэВ</i>	$\frac{с}{1}$
29	Б	Органы пищеварения	Рентгеновское излучение	5
30	Б	Органы пищеварения	Рентгеновское излучение	10

### ЛИТЕРАТУРА

1. Радиационная медицина : учебник / А.Н.Стожаров [и др.]; под ред. А.Н. Стожарова. – Минск : ИВЦ Минфина, 2010. – 208 с.
2. Требования к радиационной безопасности: санитарные нормы и правила: утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28.12.2012 № 213.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

**Тема: Определение удельной активности природного калия и расчёт мощности дозы, создаваемой им в теле человека**

### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Калий – один из широко распространённых элементов. Кроме основного стабильного изотопа  $^{39}\text{K}$  в природном калии содержится малая примесь (около сотой процента) радиоактивного изотопа  $^{40}\text{K}$ . Ядро  $^{40}\text{K}$  распадается, испуская электрон:  $^{40}\text{K} \rightarrow ^{40}\text{Ca} + \beta^- + \nu$ . Период полураспада  $^{40}\text{K}$  больше миллиарда лет, поэтому, несмотря на нестабильность, около 5% этого радиоактивного изотопа ещё сохранилось на Земле до настоящего времени. В результате, калий, находящийся в природе (в том числе, и в живых организмах), является слабо радиоактивным.

Для измерения этой активности в настоящей работе применяется простейший радиометр ДП-5. Как в любом радиометре, его основными частями являются датчик (счётчик Гейгера), усилитель электрических импульсов, регистрирующий прибор и блок питания. Однако при очень малых активностях регистрирующий прибор не даёт показаний (чувствительность его недостаточна). В этом случае электрические импульсы, возникающие в счётчике Гейгера, регистрируются «на слух» с помощью телефона. Каждый импульс даёт хорошо слышимый «щелчок». Для определения активности надо подсчитать число таких щелчков за известный промежуток времени  $t$  (в данной работе рекомендуется брать  $t = 5 \text{ мин} = 300 \text{ сек}$ ).

Однако, число подсчитанных импульсов не равно числу бета-частиц, испущенных препаратом. Во-первых, необходимо учесть естественный фон радиации (щелчки в телефоне слышны и без всякого радиоактивного препарата). Во-вторых, далеко не все частицы, испускаемые препаратом, попадают в счётчик, большая их часть пролетает мимо; это значит, что надо учесть поправку на геометрию (её обозначают буквой  $\omega$ ; см. стр. 85 пособия «Свойства ионизирующих излучений»). Поэтому расчёт активности ведётся по формуле:

$$A = \frac{N_{n+\phi} - N_{\phi}}{\omega \cdot t},$$

где  $N_{n+\phi}$  – число импульсов от препарата совместно с фоном, а  $N_{\phi}$  – число импульсов от фона. При расположении приборов, заданном в нашей установке, поправка на геометрию  $\omega$  равна 0,1. Нельзя изменять расположения приборов, потому что тогда значение  $\omega$  будет другим; по этой же причине чашечку с калием надо ставить аккуратно, точно под окно счётчика.

Строго говоря, надо вносить ещё целый ряд поправок, но для простоты мы этим пренебрегаем.

### ЗАДАНИЯ

1. Ознакомившись с установкой, включить прибор, повернув переключатель (справа внизу) в положение “режим”. Выждав 30-50 секунд, ручкой “установка режима” отрегулировать напряжение питания таким образом, чтобы стрелка прибора стояла примерно посередине жирной чёрной линии, отмеченной треугольником на шкале прибора.

2. Перевести переключатель в положение “0,1” (крайнее правое). Убедиться, что в телефоне каждые несколько секунд слышны щелчки. Эти щелчки соответствуют импульсам тока от естественного фона радиации. Обратите внимание на то, что щелчки в телефоне идут далеко не равномерно. Несколько секунд может не быть ни одного щелчка, то есть в счётчик не попала ни одна частица, потом несколько подряд. В этом проявляется случайный (вероятностный) характер внутриатомных процессов. Поэтому, чтобы получить более надежные результаты, подсчёт необходимо вести достаточно долго (об этом подробнее сказано дальше).

3. В течение 5 минут подсчитать число импульсов ( $N_{\phi}$ ). Рекомендуется каждый щелчок отмечать чёрточкой на листе бумаги, а затем подсчитать число чёрточек. Результат записать в таблицу 1.

4. Аккуратно поставить под окно счётчика чашечку с солью KCl (масса калия в навеске  $m_K = 2$  г). Подсчитать за 5 минут число импульсов от препарата плюс фон ( $N_{\pi+\phi}$ ); записать в таблицу 1.

5. Рассчитать активность препарата  $A$  и найти удельную активность калия по формуле:  $a = A / m_K$  (массу брать в килограммах). Результаты занести в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты измерений

Число импульсов от фона, $N_{\phi}$	Число имп. от препарата + фон, $N_{\pi + \phi}$	Время $t$ , секунд	Активность $A$ , Бк	Удельная активность $a$ , Бк/кг

### Обработка результатов измерений

Расчёт мощности дозы, создаваемой калием в организме человека производится по формуле:

$$P = \frac{D}{t} = \frac{W_{\text{нози}}}{t \cdot M} \frac{\text{Грей}}{c},$$

где  $M$  – масса тела,  $W_{\text{погл}}$  – энергия излучения, поглощенная в тканях организма. Для  $\beta$ -излучения  $W_{\text{погл}}$  равна общей энергии всех бета-частиц, потому что  $\beta$ -частицы полностью поглощаются внутри организма. Эта энергия равна числу бета-частиц  $N_{\beta}$ , умноженному на среднюю энергию одной частицы  $E_{\text{ср}}$ . Отсюда:

$$P = \frac{N_{\beta} \cdot E_{\text{ср}}}{t \cdot M}$$

Но  $N_{\beta}/t$  (число частиц, возникающих в единицу времени) по определению равно активности радиоактивного вещества  $A$ . С другой стороны,  $A = a \cdot M_K$ , где  $a$  – удельная активность калия;  $M_K$  – масса калия в организме (в среднем 120 граммов = 0,12 кг). Отсюда получаем окончательную формулу для расчёта мощности эквивалентной дозы:

$$P_{\text{экв}} = \frac{a \cdot M_K \cdot E_{\text{ср}}}{M} \text{ (Зиверт/с).}$$

Для бета-частиц взвешивающий коэффициент  $W_R = 1$ , поэтому эквивалентная доза в Зивертах равна дозе в Грехах.

Для расчёта можно взять следующие данные:  $E_{\text{ср}} = 1,4 \cdot 10^{-13}$  Дж; масса тела человека 75 кг. Удельную активность подставляем из таблицы 1. Масса калия в организме  $M_K = 0,12$  кг.

Полученный результат интересно сравнить с величиной радиационного фона (для Петербурга  $P_{\text{фона}} \approx 0,15$  мкЗв·час<sup>-1</sup>). Для этого полученное значение мощности дозы, создаваемой калием, надо перевести в микроЗиверты·час<sup>-1</sup>; для этого цифру следует умножить на  $3,6 \cdot 10^9$ . Определить долю мощности эквивалентной дозы, создаваемой калием в организме человека от радиационного фона по формуле:  $(P_{\text{экв}} / P_{\text{фона}}) \cdot 100\%$ . Результаты записать в таблицу 2.

Таблица 2 - Мощность эквивалентной дозы, создаваемой калием в организме человека

В Зв·сек <sup>-1</sup>	В мкЗв·час <sup>-1</sup>	В % от радиационного фона

### Определение ошибки измерений

При аккуратном выполнении работы основная ошибка возникает вследствие случайного характера процессов радиоактивного распада. Чтобы получить достаточно достоверные результаты, надо подсчитать достаточно большое число импульсов – тогда случайные отклонения усреднятся, и ошибка будет невелика. На основании теории вероятностей было рассчитано число импульсов, которое необходимо подсчитать для обеспечения заданной

ошибки измерений при разных значениях отношений  $N_{п+ф}$  к  $N_{ф}$ . (таблица 3). По этой таблице можно оценить относительную ошибку (О.О.) результатов.

Таблица 3 - Число импульсов, необходимое для получения заданной погрешности измерений, в зависимости от превышения скорости счета препарата над фоном.

Пр+ф	Число импульсов, которое необходимо сосчитать для обеспечения погрешности не выше...							
	1%		5%		10%		20%	
	ф	пр+ф	ф	пр+ф	ф	пр+ф	ф	пр+ф
1,3	24000 0	35000 0	9500	14000	2400	3500	600	870
1,5	89000	16350 0	3600	6500	900	1600	225	400
1,7	47000	10500 0	2000	4000	470	1000	120	250
2,0	24000	68000	1000	2700	240	710	60	180
2,5					180	550		
3,0	11000	46000	450	1800	115	450	30	110
3,5					90	390		
4,0	5000	32000	200	1200	80	350		
5,0	2000	23000	80	900	20	230	5	60
10,0	500	16000	20	650	5	160		
20,0	150	13000	6	540	(1,5)	130		
50,0	34	11900	(1,3)	480	(0,3)	120		
100,0	11	11200	(0,4)	450	-	112		

**Пример расчёта.** За пять минут было подсчитано 220 импульсов фона и 650 импульсов от препарата + фон. Отношение  $N_{п+ф} : N_{ф} = 3$ . В соответствующей строке таблицы 3 видно, что для обеспечения относительной ошибки (О.О.) = 5% надо было бы подсчитать 450 импульсов фона (у нас 220, то есть меньше) и 1800 импульсов от препарата (у нас тоже меньше), а при О.О.=10% соответственно  $N_{ф} = 115$  и  $N_{п+ф} = 450$  (у нас больше). Поэтому можно утверждать, что в нашем случае относительная ошибка больше 5%, но меньше 10% ( $5% < \text{О.О.} < 10\%$ ). Примерно можно оценить О.О. как 8%.

В соответствии с данным примером оцените относительную ошибку по данным, которые получены при Ваших измерениях и сделайте соответствующий вывод в отчёте.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Радиоактивность внутри нас. – Элементы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://elementy.ru/nauchno-populyarnaya\\_biblioteka/431032/Radioaktivnost\\_vnutri\\_nas](http://elementy.ru/nauchno-populyarnaya_biblioteka/431032/Radioaktivnost_vnutri_nas).

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

Тема: **Проблемы эпидемиологических исследований по выявлению влияния малых доз радиации на человека**

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Насколько мы еще далеки от познания многих существенных особенностей действия радиации, свидетельствует, например, тот факт, что лишь сравнительно недавно стало ясно, что доза радиации, поглощенная организмом в течение длительного периода времени, может привести к существенно более сильному поражению, чем такая же доза, полученная сразу или за более короткий период (так называемый эффект Петко). В то же время в отношении ряда раковых заболеваний установлено, что отмеченная выше закономерность не всегда действует: фракционное, растянутое во времени, облучение иногда дает меньший канцерогенный эффект, чем разовое (Goldman, 1996). Это связано, по-видимому, с репарационными (восстановительными) свойствами живого организма, в котором при размножении клеток всегда существует некий механизм исправления (репарации) возможных генетических ошибок, могущих нарушить последующее развитие организма. Восстановительные процессы имеют предел, но какие то мелкие повреждения они могут "залечивать".

В то же время известно, что при уменьшении дозы облучения риск заболеть раком не просто уменьшается в той же пропорции - просто латентный период перед проявлением заболевания становится большим (Goldman, 1996).

Несомненно, в области выяснения влияния малых доз нас ждут новые открытия. **Одно из направлений таких открытий становится ясным сейчас: эффекты взаимодействия радиации с другими факторами риска, порознь не так опасными.** Оказалось, например, что малые количества пестицидов могут усиливать действие радиации. То же самое происходит при действии радиации в присутствии небольших количеств ртути (Mercury..., 1994). Недостаток селена в организме усиливает тяжесть радиационного поражения. Известно, что у курильщиков, подвергающихся облучению в 15 мЗв/год, риск заболеть раком легких возрастает более чем в 16 раз по сравнению с некурящими (Anderson, 1991). Известно также, что на фоне небольшого по величине хронического облучения разовое кратковременное дополнительное облучение дает эффект, много более значимый, чем при простом суммировании этих доз (Москалев, Стрельцова, 1987).

Другое быстро развивающееся направление изучения влияния малых доз облучения - работы школы профессора Е.Б.Бурлаковой, убедительно доказавшие на многих объектах резкое нарушение монотонной зависимости "доза - эффект": в зоне сверхмалых доз облучения происходит до конца непонятное по механизмам, но устойчиво повторяющееся резкое возрастание чувствительности организмов облучению. Оказывается, при облучении до 0.1

Зв (10 бэр) число смертельных лейкозов оказывается столь же значительным, как при облучении многократно большим (Бурлакова, 1995).

Оказалось также, что повреждения хромосом и злокачественная трансформация клеток при малых дозах примерно на порядок выше, чем можно было бы ожидать при экстраполяции влияния от высоких доз (Корогодин, 1990. С.51). Возможно, эффект такого взаимодействия радиации с другими факторами риска основан на сенсбилизации (повышении чувствительности) организма, испытавшего воздействие малых доз облучения к химическим мутагенам и канцерогенам (Корогодин, 1990).

Среди других поставленных современной наукой вопросов о негативном воздействии малых доз радиации на живой организм, которые, по всей вероятности, расширят в ближайшем будущем наши представления об опасности облучения человеческого организма, надо, по крайней мере, перечислить следующие (Корогодин, 1990; Шевченко, 1990):

- влияние так называемых малых мутаций, не учитываемых пока в должной мере при исследовании генетических эффектов радиации (таких мутаций может быть многократно больше, чем изучаемых в экспериментах на животных и учитываемых при ярко выраженных наследственных заболеваниях человека);
- влияние повышенной радиочувствительности некоторых этапов развития половых клеток и некоторых ранних этапов эмбрионального развития человека;
- влияние облучения в малых дозах на возникновение наследуемых раковых заболеваний;
- отдаленные последствия локального и внутреннего облучения.

Итак, хотя о влиянии малых доз радиации на живой организм написано множество научных статей и монографий, здесь неизвестного больше, чем известного. Это особенно наглядно видно при рассмотрении проблемы нормирования действия радиации.

### **Проблемы, связанные с нормированием воздействия радиации**

Особое внимание именно к малым дозам радиации понятно: общество интуитивно защищается от возможных опасностей, и линия этой защиты выражается в установлении приемлемых уровней облучения - норм радиационной безопасности. Эти нормы отражают уровень общественного понимания и ощущения опасности.

Поскольку искусственная радиация самыми разными путями все активнее вторгается в жизнь человечества (кроме атомной энергетики это и медицина, и пищевая промышленность, и строительство, и транспорт, и оборона), то хотя бы из чувства самосохранения мы должны вовремя обнаруживать возможные опасности.

Выдающийся шведский радиобиолог Р.М.Зиверт еще в 1950 г. пришел к заключению, что для действия радиации на живые организмы нет порогового уровня. **Пороговый уровень - это такой, ниже которого не обнаруживается поражения у каждого облученного организма [так называемый**

**детерминированный (определенный) эффект]. При облучении в меньших дозах эффект будет стохастическим (случайным), т. е. определенные изменения среди группы облученных обязательно возникнут, но у кого именно - заранее неизвестно.**

Отсутствие порогового уровня при действии радиации не исключает существования приемлемого по опасности для общества уровня облучения. Хорошо известны опасности, связанные с облучением большими дозами. Это и преждевременная смерть людей, и лучевая болезнь, и другие тяжелые заболевания, а также поражения наследственности, уже коснувшиеся многих миллионов людей.

Негативное влияние малых доз, если справедливы опасения многих исследователей, не согласных с успокоительными утверждениями ученых (как правило, связанных с атомной индустрией), грозят не миллионам, а десяткам (и сотням) миллионов людей, ставит под угрозу само существование человечества. Перевешивает ли эта угроза и уже проявляющееся воздействие малых доз радиации положительные эффекты, получаемые обществом от развития атомной индустрии? Ответ на этот вопрос дает нормирование радиационного воздействия. Нормы радиационной безопасности - это те границы, которые общество ставит перед атомной индустрией, исходя из имеющихся знаний...

Для населения пределы приемлемо опасной дозы (напомню, что абсолютно безопасной дозы нет) были впервые установлены лишь в 1952 г. Они составляли тогда 15 мЗв/год. Уже в 1959 г. пришлось уменьшить эту дозу до 5 мЗв/год, а в 1990 г. - до 1 мЗв/год. Сейчас все больше специалистов настаивают на дальнейшем уменьшении этой дозы - до 0.25 мЗв/год (обзор см.: Green, 1990). В некоторых штатах США уже установлена максимальная допустимая годовая доза искусственного облучения для населения 0.1 мЗв/год (Aubrey et al., 1990. P.103)...

### **Особенности действия ионизирующей радиации в малых дозах**

Рассмотрение закономерностей и особенностей действия ионизирующей радиации в малых дозах обуславливается несколькими причинами:

- обнаружением биологических эффектов ненаблюдаемых, или которые невозможно наблюдать при воздействии радиации в больших дозах;
- необходимостью оценить последствия для здоровья человека облучения в малых дозах в связи с тем, что в результате радиационных аварий, особенно аварии на Чернобыльской АЭС, испытаний ядерного оружия и облучения в профессиональных условиях в небольших дозах подверглись или продолжают подвергаться сотни тысяч людей;
- важностью выработать научно обоснованные нормы допустимых доз облучения работников атомных производств и населения, проживающего на загрязненных радионуклидами территориях, в целях исключения вредных последствий для здоровья.

## **ЧТО ТАКОЕ МАЛАЯ ДОЗА ОБЛУЧЕНИЯ. НАЧИНАЯ С КАКОЙ ДОЗЫ ВСЕ БОЛЕЕ НИЗКИЕ ОТНОСЯТСЯ К МАЛЫМ ДОЗАМ**

**Единого мнения по этому вопросу у радиобиологов до настоящего времени нет, хотя все согласны с тем, что это дозы, не вызывающие опасных детерминистских последствий для здоровья.**

Для отнесения мощностей доз облучения к малым при действии на клетки и многоклеточные организмы предлагается несколько подходов. Влияние облучения низких мощностей, если не учитывать взаимодействия облученных клеток с необлученными, сильно зависит от эффективности функционирования ряда биологических процессов. Особенно большое влияние будут оказывать скорости протекания двух процессов

- Скорость репарации — восстановления клеток от повреждений, вызванных при прохождении первой ионизирующей частицы,
- Скорость нормального процесса самообновления клеток в ткани.

Учитывая сведения о скорости репарации ДНК в клетках млекопитающих, за малую мощность редкоионизирующего излучения предложено принимать мощность дозы 10—3 мГр/мин и ниже. Научный комитет по действию атомной радиации Организации Объединенных Наций (НКДАР) предложил за малую дозу считать мощность дозы в 0,1 мГр/мин.

**Учитывая биологические эффекты действия радиации, предложено несколько критериев для отнесения доз облучения к малым. Рассмотрение зависимости проявления ряда радиационных эффектов от дозы, как известно, приводит к заключению о существовании порога, ниже которого исследуемое поражение не выявляется. Дозы начиная с пороговой и ниже предложено рассматривать как малые. Очевидно, что при таком рассмотрении диапазоны малых доз будут зависеть от того, какой радиационный эффект анализируется, какой биологический объект используется и какое число биологических объектов взято в исследование (величина выборки).**

Несмотря на существенные различия в индивидуальной радиочувствительности человека при остром воздействии редкоионизирующей радиации в дозах 200 мГр и ниже не отмечено случаев развития детерминистских последствий (лучевой болезни) облучения. Более того, при обследовании небольшого контингента лиц (меньших нескольких сотен тысяч), облученных в дозах ниже 200 мГр, не удается выявить увеличения числа злокачественных опухолей (стохастические события). Эти результаты получены в ходе эпидемиологических наблюдений за лицами, облученными при взрывах атомных бомб. Поэтому НКДАР предложил считать дозы в 200 мГр и ниже малыми. За малую мощность излучения предложено считать воздействие редкоионизирующей радиации с интенсивностью в 0,1 мГр/мин и ниже.

Наибольшее значение для решения вопросов о том, насколько опасно облучение и каковы механизмы возникновения вредных последствий при действии излучений в малых дозах, имеют относительно недавно обнаруженные феномены

- адаптивного ответа),
- эффекта свидетеля,
- нестабильности генома

### АДАПТИВНЫЙ ОТВЕТ

Адаптивный ответ — радиобиологический феномен, заключающийся в увеличении радиоустойчивости биологических объектов к большим, повреждающим дозам облучения после предварительного воздействия ионизирующей радиации в малых, неповреждающих дозах облучения. Обнаружение этого феномена имело принципиальное значение для выяснения вопроса о биологическом влиянии облучения в малых дозах. Ранее было отмечено, что в подавляющем большинстве экспериментов с использованием клеток и животных и наблюдений за облученными лицами радиобиологи, врачи и специалисты в области радиационной эпидемиологии имеют дело с относительно небольшими выборками биологических объектов (десятками или сотнями). В результате при небольших дозах облучения каких-либо нарушений — гибели клеток, развития радиационных поражений, индукции злокачественных новообразований — выявить не удается. *Поэтому довольно долгое время (почти весь XX в.) считалось, что существует порог доз (около 0,5 Гр), ниже которого никаких видимых эффектов облучения, тем более вредных, не происходит. Это расхожее представление ставило под сомнение необходимость изучения проблемы влияния на биологические объекты облучения в малых дозах. Сомнение подкреплялось результатами немногочисленных экспериментов по изучению действия радиации в низких дозах.* В некоторых из этих исследований экспериментаторы находили такие изменения у облученных объектов, как увеличение числа опухолей у животных, снижение продолжительности жизни, изменение радиочувствительности и др. В аналогичных экспериментах других исследователей таких изменений выявлять не удавалось, т. е. обнаруженные эффекты не воспроизводились.

Однако такое отношение к проблеме биологического действия излучений в малых дозах резко начало меняться, и в 1984 г. итальянские исследователи (во главе с доктором Оливиери) описали феномен увеличения радиорезистентности лимфоцитов человека *in vitro* после воздействия радиации в малых дозах.

Эксперименты, выполненные с большой тщательностью, исключали возможность влияния других, кроме облучения в малой дозе, факторов на исследуемые клетки. Результаты были подтверждены и в опытах с предварительным внешним рентгеновским облучением. При этом эффект наблюдался только при предварительном действии редкоионизирующего

излучения в малых дозах 10 — 200 мГр и не обнаруживался при облучении в дозах от 500 мГр и выше.

**Важно, что этот феномен был воспроизведен в десятках лабораторий во многих странах, и поэтому с конца 1980-х годов прошлого столетия вопрос о том, вызывает ли облучение в малых дозах характерные реакции биологических объектов, перестал вызывать сомнение.** Феномен получил название адаптивного ответа, предварительную малую дозу облучения называют адаптирующей или предварительной, а большую повреждающую дозу — разрешающей или повреждающей. Свое название феномен получил по аналогии проведенным еще в древности наблюдением о повышении устойчивости (адаптации) биологических объектов к многим ядам (химическим агентам) при предварительной обработке клеток или многоклеточных организмов, в том числе человека, этими же ядами в малых нетоксичных концентрациях.

Тщательные исследования адаптивного ответа, предпринятые после опубликования работ группы Оливieri и других радиобиологов, позволили установить многие закономерности проявления этого феномена и выявить ряд молекулярных механизмов, приводящих к повышению радиостойкости клеток и многоклеточных организмов после действия радиации в малых дозах.

Было показано, что адаптивный ответ наблюдается и у бактерий, и у дрожжевых клеток, и у клеток различных растений и животных.

Повышенная радиорезистентность наблюдается после облучения в малых дозах у многоклеточных организмов — разнообразных растений и животных. Адаптивный ответ проявляется не сразу после воздействия предварительной дозы: необходимо время для его формирования. Для большинства исследованных объектов максимальный эффект наблюдался спустя 6 ч после подведения адаптирующей дозы. Состояние повышенной устойчивости культивируемых клеток сохраняется не менее 24 ч, а у лимфоцитов человека *in vitro* — около 72 ч. При облучении животных адаптивный ответ наблюдался в течение недель и месяцев. Обнинские радиобиологи А.С. Саенко, О.В. Семина и Т.Н. Семенец обнаружили, что повышенную радиорезистентность после воздействия на мышей гамма-лучей  $^{60}\text{Co}$  в дозах 3—200 мГр устойчиво проявляют плюрипотентные стволовые клетки костного мозга.

Следовательно, адаптивный ответ носит неспецифический характер и в настоящее время рассматривается как частное проявление клеточной стресс-реакции (клеточного стресса). Однако проявление повышенной радиорезистентности после воздействия повреждающих агентов в небольших дозах имеет и черты специфичности, так как не все повреждающие агенты вызывают такой адаптивный ответ. Подобный «полуспецифический» характер адаптивного ответа связан с особенностями клеточного стресса — проявления реакции клеток на разные повреждающие воздействия. В ответ на повреждающее воздействие в клетках индуцируется повышенный синтез ряда белков (стресс-белков), значительная часть которых усиленно синтезируется в ответ практически на любое повреждающее воздействие. Однако при ряде воздействий обнаруживается и специфический ответ: синтез определенных

стресс-белков, участвующих в формировании устойчивости клеток только к воздействию повреждающему

**Установлено, что проявление адаптивного ответа зависит от генетических особенностей разных линий клеток и животных.** При исследовании лимфоцитов человека выявлено, что клетки одних людей формируют выраженный ответ на предварительное воздействие редкоизионизирующих излучений в малых дозах, в то время как лимфоциты других не проявляют такой реакции. Таким образом, выраженность адаптивного ответа лимфоцитов людей носит индивидуальный характер.

Наиболее устойчиво адаптивный ответ различных биологических объектов регистрируется при остром воздействии редкоизионизирующей радиации. При использовании хронического облучения в качестве адаптирующего агента последующее повышение радиорезистентности воспроизводится гораздо хуже. Имеют место наблюдения о снижении радиоустойчивости животных и некоторых клеток млекопитающих после воздействия гамма- и рентгеновского излучения.

**Таким образом, только при воздействии излучений в малых дозах (обычно в диапазоне до 200,0 мГр) наблюдается характерная реакция — адаптивный ответ, проявляющийся в последующем повышении радиоустойчивости клеток и макроорганизмов.** При остром подведении больших доз эффект не регистрируется. Адаптивный ответ возникает в основном при действии в малых дозах редкоизионизирующей радиации. При воздействии плотноизионизирующих излучений в большинстве случаев эффект не наблюдается, хотя из теоретических соображений адаптивный ответ и при действии ряда корпускулярных излучений может быть индуцирован. Однако в этих случаях он, как правило, будет слабо выражен и будет проявляться в очень узком диапазоне доз, когда только часть клеток в популяции будет облучена, т. е. в условиях проявления эффекта «свидетеля», роль которого в формировании адаптивного эффекта еще не изучена.

### ЭФФЕКТ «СВИДЕТЕЛЯ»

Эффект «свидетеля» в радиобиологии — это феномен, заключающийся в проявлении «лучевых» повреждений в необлученных клетках, находящихся вблизи от облученных клеток в момент воздействия ионизирующей радиации, т. е. необлученные в данной ситуации клетки являются «свидетелями» нанесения лучевых повреждений другим клеткам. **В более широком смысле эффект свидетеля — это способность поврежденных клеток вызывать биологические эффекты в соседних клетках, которые не подвергались действию поражающего фактора или нечувствительных к действию такого агента.** Такой фактор не обязательно является ионизирующей радиацией, а может представлять собой другой физический или химический повреждающий агент. Опосредованное повреждающее действие облученных клеток на необлученные может осуществляться, например, воздействием на нормальные клетки средой, в которой культивировались облученные клетки, или биологическими жидкостями облученного макроорганизма.

В отличие от адаптивного ответа эффект свидетеля проявляется не только и не столько при действии радиации в малых дозах, но и в больших, вызывающих значительную гибель клеток. В области малых доз проявление эффекта свидетеля более характерно для воздействия плотноионизирующих, а не редкоионизирующих излучений. Для адаптивного ответа наблюдается обратная картина.

Наиболее важные результаты по изучению закономерностей и механизмов проявления эффекта свидетеля в области малых доз получены при использовании трех экспериментальных подходов:

- путем воздействия альфа-излучения в очень низких дозах, при которых непосредственно повреждается небольшая часть клеток, а остальные остаются необлученными, т. е. не имеющими ни одного трека от прохождения альфа-частицы;

- облучением клеток микропучками (в основном альфа-частиц), площадь которых значительно меньше размеров ядра клетки, в результате этого можно воздействовать на отдельные участки клетки, например, на участок ядра или цитоплазмы, не затрагивая другие;

- путем использования защитных микрорешеток, которые позволяют экранировать большую или меньшую часть клеток, растущих слоем на поверхности в момент воздействия радиации в малых или больших дозах.

Было показано, что в необлученных клетках-свидетелях увеличивается число хромосомных и хроматидных аберраций, микроядер, генных мутаций, повышается число трансформированных клеток. При использовании микропучков альфа-частиц установлено более сильно выраженное проявление эффекта свидетеля при воздействии малых доз. В экспериментах вместо клеток-свидетелей использовали в качестве свидетелей клеточные ядра, так как лучевому воздействию подвергалась только цитоплазма клеток. Было выявлено, что при прохождении через цитоплазму клетки одной альфа-частицы число генетических повреждений (генных мутаций) в таких клетках увеличивается вдвое. Однако чтобы добиться трехкратного увеличения мутаций, необходимо воздействие в среднем четырех частиц. Результаты экспериментов свидетельствуют о том, что при воздействии радиации в малых дозах выход повреждений на единицу дозы в связи с существованием эффекта свидетеля может быть большим, чем при облучении в больших дозах.

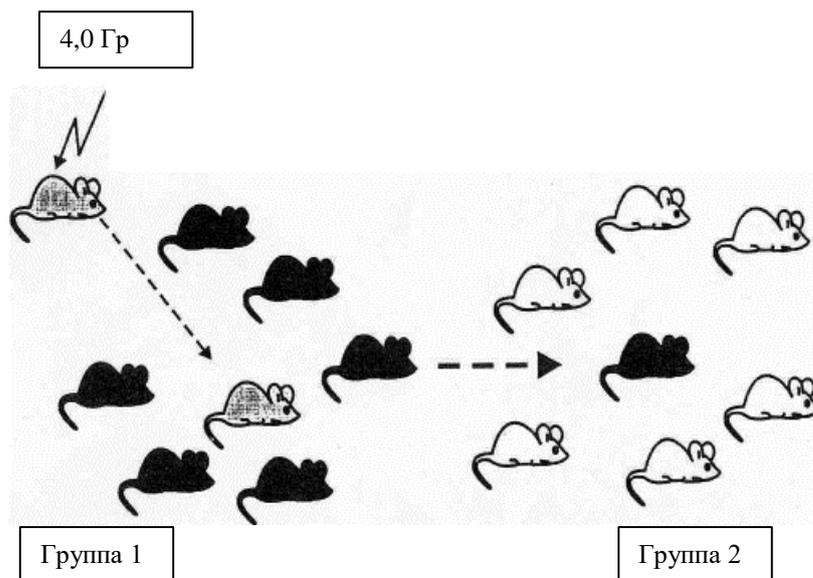
**Первый из них хорошо известен как не прямое действие, связанное с образованием активных форм кислорода и, вероятно, других радикалов.** Действительно, добавление антиоксидантов перед облучением части клеток в значительной мере снимает проявление эффекта свидетеля — уменьшает количество повреждений в необлученных клетках. Однако молекулярные изменения в мутировавших генах были похожи на изменения, возникающие при спонтанных мутациях, но не тех, которые возникают в облученных клетках.

**Второй механизм используется только при тесном контакте облученных и необлученных клеток.** Сигнал на повреждение передается через клеточные контакты. В конфлюэнтных сливных клеточных культурах,

где передача сигнала через клеточные контакты заблокирована, клетки-свидетели повреждаются или испытывают злокачественную трансформацию в значительно меньшей степени. Молекулярные механизмы этого процесса неизвестны.

**Третий механизм, напоминающий первый, заключается в передаче сигнала неповрежденным клеткам через культуральную среду, в которой находились облученные клетки.** Перенесение необлученных клеток из нормальной питательной среды в среду, в которой росли облученные клетки, приводило к гибели части нормальных клеток путем апоптоза. Повреждающих факторов в облученной среде в отсутствие клеток обнаружено не было. Следовательно, токсические факторы выделяются в среду облученными клетками. Выделяемые в питательную среду вещества, которые вызывают гибель необлученных клеток, обнаружены К. Мазерсилл (2000) только после подведения довольно значительных доз фотонных излучений — 0,5 Гр и выше, и их образование было связано с биохимическими процессами гликолиза.

Однако оказалось, что не все облученные клетки выделяют токсические факторы и не все необлученные клетки чувствительны к их воздействию. Природа повреждающих агентов не выяснена. Известно также, что помимо факторов, индуцирующих апоптоз, облученные клетки выделяет и кластогенные, индуцирующие в необлученных клетках хромосомные aberrации. Однако наличие кластогенных факторов уверенно продемонстрировано только в опытах *in vivo*. В опытах *in vitro* кластогенные факторы только начинают изучаться. Они были обнаружены и после облучения сывороток крови и плазмы людей *in vitro*. Однако эти единичные наблюдения пока не подтверждены в других исследованиях.



**Группа 1.** Мыши или крысы, бывшие в контакте с облученной (4Гр) особью в течение одного дня. Биологические эффекты: уменьшение количества лейкоцитов, эритроцитов и иммунореактивности, возрастание количества гранулоцитов.

**Группа 2.** Мыши или крысы, бывшие в контакте с особью из группы №1 один день. Биологические эффекты: уменьшение количества лейкоцитов, лимфоцитов и иммунореактивности

**Рис. Эффект «свидетеля» у мышей или крыс (по Б.П. Суринову и др., 1998)**

Подтверждением выделения облученными клетками макроорганизма факторов, вызывающих нарушения в необлученных клетках, служит факт нахождения поврежденных клеток в тканях вне зоны облучения у больных, подвергнутых локальному лучевому лечению. Например, локальное облучение тканей, находящихся ниже диафрагмы, вызывает повреждения в клетках и тканях, расположенных выше диафрагмы. Этот феномен получил название «Abscopal effects». Показано также, что введение облученных клеток костного мозга необлученным животным вызывает хромосомные аберрации в клетках костного мозга животного-реципиента. Природа образующихся или синтезирующихся повреждающих факторов в облученных донорских клетках не известна.

Проявление эффекта свидетеля может осуществляться и на популяционном уровне у животных. Б.П. Суринов с сотрудниками (2001) из Медицинского радиологического научного центра РАМН показали, что при помещении облученной мыши в клетку к необлученным животным через сутки у интактных животных наблюдались изменения в крови и в иммунном статусе, сходные с обнаруженными у облученных особей. Оказалось, что повреждающие агенты, выделяющиеся облученными мышами с мочой, достаточно летучи и действуют на обонятельный анализатор необлученных животных, вызывая изменения в физиологических показателях (рис).

Таким образом, обнаружение эффекта свидетеля в радиобиологических экспериментах показало, что поражающее действие радиации может быть связано не только с прямым действием на клетки, но и с повреждающим действием облученных клеток на необлученные.

## НЕСТАБИЛЬНОСТЬ ГЕНОМА

**Радиационно-индуцированная нестабильность генома — это явление повышенной частоты образования генетических нарушений у потомков облученных клеток. Феномен заключается в образовании *de novo* множественного появления геномных, хромосомных, хроматидных и генных мутаций неклонального характера, т.е. возникающих в геноме потомков облученных клеток случайным образом, а не передающихся по наследству. Нестабильность может проявляться в отдаленные сроки после облучения через много циклов деления (иногда сотен), и в некоторых генерациях число клеток со структурными мутациями *in vitro* может достигать 10 % и более от всей популяции клеток, при этом наблюдается массовая гибель клеток.**

**У многоклеточных организмов нестабильность генома проявляется в увеличении числа (частоты) соматических мутантных клеток. Состояние нестабильности генома может сохраняться регулярно и на протяжении десятков поколений клеток. Это явление обнаружено после облучения клеток и животных в больших дозах. Одними из первых ученых, описавших в 70—80-х годах прошлого столетия такое явление, были отечественные исследователи И.Б. Бычковская, И.И. Пелевина и др. Результаты их исследований и ряда зарубежных лабораторий показали, что нестабильность генома может проявляться и у потомков клеток, облученных в малых дозах.**

Явление нестабильности генома в настоящее время является одной из наиболее интенсивно изучаемых областей радиобиологии, хотя значительная часть исследований выполняется с использованием довольно больших доз облучения. В связи с тем, что основная часть закономерностей проявления нестабильности генома является сходной при действии больших и при действии малых доз облучения, для описания этих закономерностей использованы результаты, полученные при подведении разных доз радиации.

**Установлено, что нестабильность генома проявляется после действия как плотноионизирующих, так и редкоионизирующих излучений.** Однако у ряда культивируемых объектов *in vitro* при действии фотонного излучения повышенного образования генетических нарушений у потомков облученных клеток на хромосомном уровне не удастся обнаружить, хотя после воздействия альфа-частиц нестабильность генома, проявляющаяся в повышенном образовании хромосомных и хроматидных поломок, легко выявляется. Одновременное исследование генных и хромосомных мутаций в потомках стволовых клеток костного мозга после воздействия излучений с разной ЛПЭ показало, что в отличие от хромосомных генные мутации возникают с повышенной частотой как при действии альфа-излучения, так и при действии рентгеновского излучения. Следовательно, вывод об отсутствии проявления нестабильности генома в потомках облученных клеток в тех исследованиях, где в качестве показателя нестабильности используются структурные мутации, не является окончательным. В этих случаях, особенно

при воздействии редкоизирующей радиации, для такого заключения требуется провести определение частоты генных мутаций. Таким образом, механизмы формирования генетической нестабильности на хромосомном и геномном уровнях отличаются, вероятно, лишь частично, что подтверждают наблюдения, выполненные в МРНЦ РАМН под руководством И.А. Замулаевой и А.В. Севанькаева. Ими отмечено: у части лиц, подвергшихся облучению в малых дозах на атомных производствах или проживающих на загрязненных территориях, в отдаленные сроки после воздействия наблюдается увеличение генных и хромосомных мутаций в лимфоцитах периферической крови. Увеличение числа клеток с генетическими нарушениями у таких лиц, вероятно, связано с проявлением феномена генетической нестабильности. Оказалось, что практически у всех лиц с повышенными частотами структурных мутаций увеличено число клеток с генными мутациями, но у лиц с повышенной частотой генных мутаций приблизительно в половине случаев повышение числа хромосомных нарушений не обнаружено.

**Другое важное наблюдение закономерностей проявления нестабильности генома — малая зависимость (или ее отсутствие) от дозы облучения в большом диапазоне доз.** Увеличение числа клеток-потомков с генетическими изменениями было приблизительно одинаковым и при использовании воздействия в малой дозе, и при подведении большой дозы. Не наблюдалось отличий в количественном проявлении нестабильности генома по тесту генных мутаций при подведении больших доз рентгеновского излучения в диапазоне от 2,0 до 12,0 Гр.

Молекулярные изменения, происходящие в генетическом материале при возникновении генных мутаций у «нестабильных» потомков облученных клеток, сходны с молекулярными изменениями, происходящими при спонтанном мутировании нормальных интактных клеток, и следовательно, отличаются по спектру изменений в молекулах ДНК у непосредственно облученных клеток. Спектр структурных мутаций, наблюдаемых в отдаленные сроки у людей, облученных в малых дозах в результате аварии на ЧАЭС, также отличается от спектра мутаций в облученных клетках. Так, на хромосомном уровне в отдаленные сроки преобладают одиночные и парные фрагменты, а в непосредственно облученных клетках наблюдается значительное число дицентриков и кольцевых хромосом. Повышенные частоты соматических мутаций обнаруживаются и у детей облученных в больших и малых дозах родителей. Однако вопрос о проявлении нестабильности генома у детей облученных родителей еще очень мало изучен и поэтому здесь не рассмотрен.

Механизм возникновения и поддержания нестабильности генома у потомков облученных клеток изучен недостаточно. **Имеющиеся экспериментальные данные и эпидемиологические наблюдения позволяют полагать, что существует несколько механизмов, участвующих в формировании генетической нестабильности. Большая часть исследователей считает, что облучение вызывает долговременное**

**изменение клеточной системы** поддержания системы окислительно-восстановительного гомеостаза, выражающееся в усилении продукции активных форм кислорода.

**Другим возможным механизмом создания и поддержания генетической нестабильности является нарушение системы контроля клеточного цикла.** Прохождение клетки по клеточному циклу — это цепь последовательных событий, основными участниками которой являются компоненты системы передачи и анализа внешних и внутренних сигналов, определяющих судьбу клетки. Упрощенно это звучит так: в результате работы этой системы решается вопрос, что будет с клеткой в ближайшем будущем: будет ли она делиться (давать потомство себе подобных дочерних клеток, так как для этого имеются потребности и условия); выполнять уже приобретенные функции, не участвуя в увеличении численности; приобретать новые функции путем дальнейшей дифференцировки, созревания (в результате которого, например, поддерживается необходимая численность специализированных зрелых клеток в той или иной ткани у животных и человека); включать программу собственной гибели в основном путем апоптоза.

В настоящее время имеются веские экспериментальные аргументы, свидетельствующие о причастности системы контроля в поддержании генетической стабильности клеток на молекулярном уровне. В результате функционирования «сигнальной» системы поддерживается генетическая стабильность клеточной популяции и на клеточном уровне: поврежденным (на пример, с нарушениями в структуре ДНК) или ненужным организму (такие условия создаются, например, в эмбриогенезе) клеткам дается команда на самоуничтожение — апоптоз.

Данные, полученные в ходе изучения генетической нестабильности клеток многоклеточного организма, в том числе и у человека, путем определения количества (частоты) клеток с генными и структурными мутациями, дают основание говорить о том, что повышенный уровень мутантных клеток может быть следствием либо увеличения интенсивности мутагенеза, либо снижения эффективности ликвидации мутантных клеток путем апоптоза — программированной клеточной гибели. В условиях *in vitro* поддержание генетической стабильности клеточных популяций в некоторых клеточных культурах может также зависеть от выраженности спонтанной гибели генетически поврежденных клеток, в частности путем апоптоза.

Феномен повышения чувствительности клеток, облученных в малых дозах, к последующему действию радиации и других генотоксических факторов более всего изучен в исследованиях адаптивного ответа лимфоцитов людей, проживающих на загрязненных радионуклидами территориях. Он заключается в том, что клетки, взятые от части таких лиц, не только не становятся более устойчивыми к последующему облучению в больших дозах, но проявляют обратный эффект — становятся более радиочувствительными. Такое повышение радиочувствительности обнаружено у жителей загрязненных радионуклидами территорий, т. е. после пролонгированного воздействия радиации, а также у лиц, проживающих в экологически

неблагоприятных условиях из-за химического загрязнения. *in vitro* этот феномен практически не изучен.

Нарушение процесса репарации ДНК может являться не единственной причиной такого «обратного» адаптивного ответа. Повышение радиочувствительности может быть связано с ухудшением защитных механизмов, например системы антиоксидантной защиты, и(или) нарушением контроля клеточного цикла. В любом случае повышение чувствительности к действию генотоксических факторов эндогенного и экзогенного происхождения будет сопровождаться увеличением мутагенеза в соматических клетках.

Таким образом, после действия радиации как в малых, так и в больших дозах у необлученных потомков облученных родительских клеток проявляется нестабильность генома, т. е. происходит повышенное образование структурных и генных мутаций. Феномен нестабильности генома прослеживается в десятках и сотнях поколений клеток *in vitro*, а в организме животных и человека проявляется в отдаленные после облучения сроки в виде увеличения количества, частоты клеток с генетическими нарушениями, представляющими собой геномные, хроматидные, хромосомные, генные мутации и микроядра. **Нестабильность генома в потомках проявляется после действия на родительские клетки как редкоионизирующих, так и плотноионизирующих излучений.** Последние более стабильно индуцируют генетическую нестабильность, проявляющуюся на хромосомном уровне. У потомков клеток после воздействия редкоионизирующей радиации нестабильность на хромосомном уровне возникает не всегда. Интенсивность проявления нестабильности не зависит от дозы облучения родительских клеток в большом диапазоне доз. В отношении индукции нестабильности генома проявляется эффект «свидетеля», т. е. повышенное образование генетических нарушений происходит и у потомков необлученных клеток, если последние находились в контакте с облученными клетками, **Не все клетки и не все макроорганизмы отвечают на облучение в малых дозах в виде формирования нестабильности генома и передачи этого состояния потомкам.** Причина, по которой часть клеток не проявляет генетическую нестабильность, в настоящее время неизвестна. Молекулярные механизмы, обеспечивающие генетическую нестабильность, также пока не выяснены.

Проявление генетической нестабильности у потомков облученных клеток в связи с первостепенной ролью генных и хромосомных мутаций в индукции злокачественных опухолей ставит вопрос о значении этого феномена в радиационном канцерогенезе, особенно при воздействии ионизирующего излучения в малых дозах. **При воздействии в малых дозах риск развития злокачественной трансформации и возникновения опухолей в отдаленные сроки после воздействия радиации на единицу дозы за счет развития нестабильности генома у потомков облученных и необлученных, но получивших сигналы от облученных клеток может быть значительно выше, чем при воздействии в больших дозах.**

## КАНЦЕРОГЕННЫЕ ЭФФЕКТЫ ДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕЙ РАДИАЦИИ В МАЛЫХ ДОЗАХ

**Наиболее важным в проблеме медицинских последствий действия ионизирующей радиации в малых дозах является вопрос о том, возрастает ли число заболевших злокачественными новообразованиями после облучения в таких дозах.**

Существуют две противоположные точки зрения на эту проблему, которые связаны с двумя ныне существующими концепциями индукции радиогенных опухолей: беспороговой и пороговой. При принятии беспороговой концепции возникает вопрос — какова форма кривой доза—эффект в области малых доз: линейная или нет, и если она линейная, то совпадает ли она с той, которая получается при экстраполяции (продолжении кривой) полученной при облучении в больших дозах. Если же индукция злокачественных новообразований имеет порог, то также возникает вопрос: начиная с какой дозы порог в индукции опухолей заканчивается? В настоящее время имеется очень небольшое количество надежных фактов, подтверждающих ту или иную точку зрения, однако приведенные выше биологические эффекты, вызываемые облучением в малых дозах, позволяют выбрать более предпочтительные из них.

Увеличение риска развития злокачественных новообразований связано с нарушениями в онкогенах и антионкогенах. Первые при этом увеличивают свою активность (экспрессию), вторые, наоборот, снижают экспрессию или «выдают» испорченную мутацией информацию, которая приводит к синтезу неактивного продукта — белка.

Молекулярные изменения, приводящие к нарушениям функций анти- и онкогенов, принципиально могут быть вызваны и в результате одного трека ионизирующей частицы, проходящей через ядро соматической клетки. Поэтому с точки зрения молекулярных событий в генетическом материале при облучении в любой малой дозе увеличивается вероятность возникновения злокачественных новообразований в будущем, которая свидетельствует в пользу беспороговой концепции. Однако очевидно, что это утверждение является лишь косвенным доказательством.

Основными источниками информации о реальных канцерогенных эффектах облучения в малых дозах являются эпидемиологические данные и исследования радиационного канцерогенеза у экспериментальных животных. Надежность результатов, полученных в исследованиях, определяется объемом выборки и однородностью облученных и контрольных популяций животных и людей, а при эпидемиологических наблюдениях и его продолжительностью. Многолетние наблюдения за лицами, облученными в малых дозах в результате аварии на ЧАЭС, показали, что у ликвидаторов (средняя поглощенная доза около 100 мГр) наблюдается статистически значимый рост возникновения лейкозов, а у детей, проживающих на загрязненных территориях, в том числе и тех, у кого щитовидная железа облучена в малой дозе, — увеличение развития рака щитовидной железы. Поэтому указанные «эффекты Чернобыля» можно считать свидетельством в пользу беспороговой концепции, хотя нельзя

исключить наличия порога в более низком диапазоне малых доз. Что касается минимальной дозы, при которой можно наблюдать канцерогенный эффект в опытах на животных, то, по мнению экспертов НКДАР, обнаружить статистически значимое увеличение числа злокачественных новообразований при суммарных поглощенных дозах ниже 100 мГр (для редкоизионизирующей радиации) также вряд ли удастся. Поэтому вплоть до настоящего времени, опираясь на результаты исследований, высказаны самые различные заключения о характере кривых доза—эффект индукции злокачественных новообразований при облучении в малых дозах:

- в области малых доз имеется порог канцерогенного действия ионизирующих излучений, а при некоторых дозах возможно даже уменьшение индукции развития опухолей по сравнению с контрольным уровнем;
- индукция развития опухолей увеличивается с дозой, а выход злокачественных новообразований на единицу дозы значительно выше, чем при облучении в больших дозах;
- имеется превышение возникновения опухолей по сравнению с контрольным уровнем при любой малой дозе, однако зависимость выхода от дозы в малом диапазоне доз — немонотонная, а имеет один или, возможно, более максимумов.

Таким образом, из сведений о биологических эффектах действия облучения в области малых доз следует: проявление большинства эффектов связано с влиянием на частоту мутагенеза в соматических клетках, которая напрямую связана с канцерогенезом — чем больше в организме мутантных клеток, тем чаще и раньше возникают злокачественные новообразования. В пользу этого заключения свидетельствуют два общеизвестных наблюдения:

- подавляющее число мутагенов являются канцерогенами;
- у людей и животных с наследственными заболеваниями, проявляющимися в развитии нестабильности генома (т. е. приводящими к увеличению числа мутантных соматических клеток в организме), очень рано и в большом числе случаев возникают разнообразные злокачественные опухоли.

Возникновение мутаций в определенных генах — ключевое иницирующее событие в превращении нормальной клетки в злокачественную. Однако в настоящее время принято считать, что для индукции опухоли одной мутации, как правило, недостаточно, и для возникновения большинства новообразований необходимо возникновение еще нескольких мутаций в геноме клетки. Таким образом, в злокачественной клетке должны присутствовать сразу две, три и, вероятно, для индукции некоторых злокачественных опухолей, и больше мутаций в определенных генах. Следовательно, при изменении частоты возникновения новых мутаций в геноме потомков облученных вероятность возникновения клеток с необходимым количеством мутировавших генов, контролирующего процесс «озлокачествления» соматических клеток, может быть либо увеличена, либо снижена. Облучение в малых дозах приводит к индукции ряда процессов, как

способствующих появлению новых мутантных клеток — нестабильность генома, эффект свидетеля, так и препятствующих их появлению — адаптивный ответ. Какой процесс является преобладающим, в настоящее время неизвестно. Поскольку развитие эффектов мало зависит от дозы в большом диапазоне доз, не все облученные клетки реагируют на облучение в малых дозах и их число разное у различных групп обследованных людей и животных. Вряд-ли можно ожидать установления строгих численных значений рисков развития опухолей от дозы облучения, как это осуществлено для случаев воздействия радиации в больших дозах, а отсутствие или наличие зависимости частоты развития опухолей от дозы облучения в диапазоне малых доз, вероятно, не может служить критерием для заключения о радиогенном происхождении злокачественных опухолей.

Наибольшее влияние на число индуцированных опухолей в той или иной группе облученных, вероятно, будет оказывать развитие нестабильности генома. Очевидно, что количество мутантных клеток в организме является интегральным показателем проявления всех описанных выше эффектов у каждого данного лица в ответ на воздействие в малой дозе, и оценка частоты мутантных клеток, вероятно, позволит в будущем прогнозировать канцерогенный эффект от облучения.

Прямые доказательства индукции злокачественных заболеваний получены при облучении в дозах около 100 мГр. При облучении в меньших дозах получение прямых доказательств развития дополнительного числа злокачественных опухолей вряд ли возможно из-за ограниченной численности особей в когортах облученных людей и экспериментальных животных. Косвенные доказательства позволяют считать, что и в области малых доз канцерогенный эффект облучения не имеет порога. Зависимость развития опухолей от дозы облучения в разных облученных группах может отличаться, и отсутствие или наличие такой зависимости, по-видимому, не может служить критерием радиогенного происхождения опухолей. При любом виде зависимости частоты возникновения опухолей от дозы облучения число радиогенных опухолей, возникающих при воздействии радиации в малых дозах, значительно меньше количества злокачественных новообразований, индуцируемых облучением в больших дозах. Среди облученных в малых дозах лица с высокой частотой мутантных соматических клеток, вероятно, составляют группу риска в отношении развития злокачественных новообразований.

### **ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ В МАЛЫХ ДОЗАХ НА РАЗВИТИЕ СОМАТИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ**

**Отсутствие детерминистских проявлений при облучении в малых дозах не снимает вопроса о влиянии облучения в малых дозах на индукцию и развитие разнообразных соматических заболеваний различных органов и систем.** Это связано с тем, что облучению подвергается гетерогенная популяция людей, многие из которых страдают хроническими заболеваниями или имеют наследственную или приобретенную

предрасположенность к развитию тех или иных заболеваний. Поэтому проявление реакции клеток на облучение в малых дозах, видимо, может сказаться на здоровье и течении заболеваний у многих из таких людей. Существует огромное количество публикаций, свидетельствующих о существенном увеличении в последние годы у облученных в малых дозах людей (ликвидаторов, работников атомных предприятий и проживающих на загрязненных радионуклидами территориях) заболеваний нейроэндокринной, сердечно-сосудистой, пищеварительной, иммунной и других систем и органов. У части облученных в малых дозах людей развивается повышенная чувствительность не только к радиации, но и к действию различных токсических факторов.

Подтверждением неблагополучия со здоровьем у этого контингента облученных является факт высокой инвалидизации участников ЛПА: более четверти всех ликвидаторов признаны медицинскими комиссиями инвалидами. Несмотря на такое массовое проявление соматических заболеваний у облученных в малых дозах людей, до сих пор нет надежных доказательств радиогенного происхождения этих болезней. В качестве аргументов приводятся разные причины ухудшения здоровья: длительный стресс, нарушение полноценности питания из-за ограничения употребления продуктов местного производства у проживающих на загрязненных территориях.

Существенное влияние на оценку состояния здоровья несомненно оказывает и более тщательное, более квалифицированное и многостороннее медицинское обследование пострадавших по сравнению с «контрольными», необлученными группами людей, т. е. так называемый эффект скрининга. Только последующее включение в наблюдение за здоровьем больших контингентов необлученных лиц и проведение медицинского обследования на том же высоком профессиональном и инструментальном уровне, как это делается у облученных групп людей, позволит сделать окончательные выводы. Тем не менее первое доказательство влияния облучения в малых дозах на развитие соматических заболеваний уже получено. По данным Российского государственного медико-дозиметрического регистра (РГМДР), организованного на базе Медицинского радиологического научного центра РАМН в г.Обнинске Калужской области, у ликвидаторов аварии на ЧАЭС достоверно выше число цереброваскулярных заболеваний. Впервые в мире сотрудниками регистра опубликовано значение риска развития такого заболевания от дозы облучения.

Таким образом, несмотря на то, что в отдаленные сроки после воздействия ионизирующей радиации в малых дозах в качестве основного вредного последствия для здоровья рассматривается развитие злокачественных опухолей, существует значительное число наблюдений, указывающих на увеличение числа разнообразных соматических заболеваний у облученных лиц. Отсутствие соответствующих по масштабам и профессиональному уровню медицинских обследований аналогичных контингентов необлученных людей не позволяет сделать заключение о

радиогенном происхождении подавляющего большинства соматических заболеваний, тем более что на состояние здоровья облученных лиц оказывают влияние и другие неблагоприятные факторы, среди которых наиболее значительным является длительный стресс. Однако впервые доказано, что облучение в малых дозах несомненно увеличивает число цереброваскулярных заболеваний. Установление этого факта позволяет полагать, что воздействие ионизирующей радиации в малых дозах на развитие соматических заболеваний может оказывать значительно большее влияние, чем предполагается в настоящее время.

### **ГОРМЕЗИС — ПОЛЕЗНОЕ ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ В МАЛЫХ ДОЗАХ НА ЗДОРОВЬЕ**

Наряду с обширными наблюдениями за вредными последствиями для здоровья облучения в малых дозах существует представление о полезном для здоровья влиянии такого воздействия радиации. Это влияние называется радиационным гормезисом — инверсией вредного влияния в полезное. Термин «гормезис» взят в радиобиологии из фармакологии, в которой он был предложен для обозначения давно известного феномена — изменение действия препарата на организм в зависимости от его дозы. Например, очень большое количество химических соединений или веществ природного происхождения в больших концентрациях являются токсичными для организма, а в малых дозах оказывают полезное действие (являются лекарствами).

В радиобиологии термин «гормезис» применяют для обозначения стимуляции жизненных процессов, которую наблюдают при действии малых доз облучения на некоторые биологические объекты в определенных условиях в отличие от угнетающего влияния больших доз. Такое положительное влияние оказывает предварительное облучение на всхожесть семян, рост и развитие проростков растений, прирост массы птиц, рыб, насекомых и других биологических объектов в ходе развития. Кроме того, само существование жизни в отсутствие фонового облучения ставится под сомнение [Кузин, 1994]. В ряд положительных проявлений облучения в малых дозах входит и адаптивный ответ.

Указанные наблюдения послужили основой для разработки ряда технологий использования облучения для практических целей: предпосадочного облучения семян, луковиц, клубней, черенков для увеличения урожаев. Однократное и хроническое облучение яиц, цыплят и кур приводит к снижению падежа и увеличению яйценоскости, воздействие на молодняк различных сельскохозяйственных животных увеличивает скорость прироста биомассы животных. Существует ряд и других наблюдений, указывающих на перспективность использования облучения для увеличения продуктивности сельскохозяйственных растений и животных. Однако несмотря на, казалось бы, очевидную полезность применения и относительную легкость организации использования облучения, эти методы почти не получили распространения. Широкое внедрение в практику

достижений в изучении закономерностей радиационного гормезиса не происходит, очевидно, в большинстве случаев потому, что до сих пор не проведены долгосрочные исследования влияния такого облучения на потомство в поколениях облученных растений и животных. Кроме того, нет надежных данных об отсутствии вредного влияния продуктов, полученных из плодов, выращенных из облученных семян и клубней, на здоровье животных и людей при их систематическом использовании. В настоящее время в связи с развитием генно-инженерных и клеточных технологий повышения продуктивности растениеводства и животноводства, имеющих значительно более высокую эффективность по сравнению с радиационными, такие длительные исследования, необходимые для обоснования безопасности широкого использования феномена гормезиса в практике, вряд ли будут проведены.

В отношении полезности облучения в малых дозах для здоровья приводятся в основном положительные результаты использования радоновых ванн, пребывания на высокогорных курортах или местностях с высоким радиационным фоном в качестве оздоровительных мероприятий. При использовании радоновых ванн получены экспериментальные результаты, указывающие, что их полезность зависит от концентрации радона в воде: существует оптимум его содержания, ниже и выше которого эффект оздоровления снижается. Поэтому доказательность приводимых сведений о полезности (гормезисе) для здоровья облучения организма в малых дозах сомнительна, тем более что эксперименты с радоновыми ваннами проведены практически в единичных количествах и не воспроизведены в других учреждениях. Однако полностью отрицать отсутствие реакции на облучение во время принятия радоновых ванн исключить пока нельзя. Полезность отдыха для здоровья в перечисленных условиях несомненна, однако при этом наряду с радиационным воздействием не учитываются другие, способствующие восстановлению и укреплению здоровья условия пребывания на отдыхе.

**Таким образом, облучение в малых дозах разных биологических объектов в ряде случаев может привести к полезному эффекту. Этот эффект называется радиационным гормезисом, и его существование, в частности, в виде адаптивного ответа и повышения продуктивности растениеводства и животноводства не вызывает сомнения. Существование радиационного гормезиса в отношении здоровья людей (лечебный, оздоровительный эффект) в настоящее время не является доказанным и требует дальнейшего изучения.**

## ЛИТЕРАТУРА

1. Котеров А.Н. Малые дозы радиации: факты и мифы. Книга первая: Основные понятия и нестабильность генома. М.: Изд-во «ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России», 2010. 283 с.

2. Петин В.Г. Многообразие проявления радиационного гормезиса: Сборник научных работ лауреатов областных премий и стипендий. Калуга, 2010. Вып. 6. С. 233-242.

3. Петин В.Г. Биологические эффекты, индуцируемые малыми дозами ионизирующего излучения: не пришло ли время для смены парадигмы? //Актуальные проблемы биологии и экологии /Под ред. А.В. Селиховкина. Санкт-Петербург: СПбГЛТА, 2011. С. 270-280.

4. Петин В.Г., Пронкевич М.Д. Анализ действия малых доз ионизирующего излучения на лабораторных животных: Сборник научных работ лауреатов областных премий и стипендий. Калуга, 2011. Вып. 7. С. 201-210.

5. Тихонов В.А. Книга Дж. Гофмана «Рак, вызываемый облучением в малых дозах: независимый анализ проблемы» //Мед. радиология и радиац. безопасность. 1997. Т. 42, № 2. С. 74-75.

6. Тихонов В.А. Книга А.В. Яблокова «Атомная мифология». Заметки эколога об атомной индустрии» //Мед. радиология и радиац. безопасность. 2000. Т. 45, № 3. С. 74.

7. Филюшкин И.В., Петоян И.М. Объективизация оценок канцерогенного риска у человека при низких уровнях облучения: новый взгляд на старую проблему //Мед. радиология и радиац. безопасность. 2000. Т. 45, № 3. С. 33-40.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

Тема: Расчет доз медицинского облучения

### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Известно, что мощность экспозиционной дозы  $D_x$ , создаваемая  $\gamma$ -излучением точечного изотропного источника, содержащего данный радионуклид, на расстоянии  $R$  без защиты

$$D_x = K_\gamma A / R^2,$$

Где коэффициент  $K_\gamma$  называется  $\gamma$ -постоянной данного радионуклида;  $A$  – активность источника.

Единицы измерения: [ $D_x$ ] – Р/ч; [ $K_\gamma$ ] – Р×см<sup>2</sup>/(мКи×ч); [ $A$ ] – мКи; [ $R$ ] – см (1 Ки = 3,7×10<sup>10</sup> Бк).

Гамма-постоянная определяется по формуле

$$K_\gamma = b \sum_i E_i n_{\gamma i} \mu_i,$$

Где  $b$  – коэффициент, учитывающий единицы измерения;  $n_{\gamma i}$  – квантовый выход  $\gamma$ -излучения на распад;  $\mu_i$  – массовый коэффициент поглощения энергии в воздухе для  $\gamma$ -излучения с энергией  $E_i$ . Значения  $K_\gamma$  можно найти в справочниках. В табл. 1 приведены значения гамма-постоянных некоторых изотопов.

Таблица 1 - Гамма-постоянные некоторых изотопов

Источник	$E_i$ , МэВ	$N_{\gamma i}$ , %	$K_\gamma$ , Р×см <sup>2</sup> /час×мКи
$^{137}_{55}\text{Cs} + ^{137m}_{56}\text{Ba}$	0,662 0,032	85,1 6,92	3,192 5,03×10 <sup>-2</sup>
$S = 92,02$	$S = 3,242$		
$^{22}_{11}\text{Na}$	1,275 0,511	99,95 181,1	6,518 5,333
		$S = 281,05$	$S = 11,851$

Изменение экспозиционной дозы за время  $T$  имеет вид

$$X = T D_x. (1)$$

Формула (1) верна, если активность источника постоянна. Изменение активности во времени выражается так:

$$A = A_0 \text{Exp}((- \ln 2)T/T_{1/2}),$$

Где период полураспада  $T_{1/2}$  есть время, в течение которого распадается в среднем половина ядер данного радионуклида. Для Cs-137  $T_{1/2} = 30,2$  г.

Формула (1) позволяет выбирать  $T$  и  $R$ , обеспечивая защиту при работе с источником излучения. Рассмотрим это на следующем примере.

Пусть активность источника Cs-137 равна 105 Бк. Рассчитаем мощность экспозиционной дозы от источника на расстоянии 5 см от него. ( $K_{\gamma}$  Для 137Cs = 3,2 Р×см<sup>2</sup>/мКи×ч):

$$D_x = 3,2 \times \frac{10^5}{3,7 \cdot 10^7} \cdot \frac{1}{5^2} = 3,4 \times 10^{-4} \text{ (Р/ч)}.$$

Если в качестве годовой дозы  $D_{\bar{a}}$  принять ПД для населения из табл. 2, то  $D_{\bar{a}} = 5$  мЗв/год = (500 мР/год)/(250 рабочих дней в году) = 2 мР/день, а время работы с источником составит

$$T = D_{\bar{a}}/D_x \gg 6 \text{ ч в день}.$$

Мы рассчитали время работы с источником на расстоянии 5 см от него. Если стремиться к меньшим получаемым дозам, например потребовать, чтобы  $D_{\bar{a}} = 1$  мЗв/год, то время уменьшится до  $\gg 1,2$  ч в день. Если увеличить расстояние до 10 см, то время работы с источником в последнем случае ( $D_{\bar{a}} = 1$  мЗв/год) составит  $\gg 4,8$  ч в день.

Если же Вам предстоит работать с этим источником только в течение 1 рабочего дня в этом году (6 ч), то доза, полученная вами, будет равна  $\gg 20$  мкЗв, что значительно меньше ПД.

Как известно, закон ослабления моноэнергетического ( $E = \text{const}$ ) потока  $\gamma$ -квантов однородным поглотителем толщиной  $D$  в геометрии узкого пучка (рассеянные в поглотителе кванты не попадают на детектор) имеет вид

$$N(D) = N(0)\text{exp}(-m D),$$

Где  $N(D)$  – число частиц, прошедших поглотитель;  $N(0)$  – начальное число частиц в пучке при  $D = 0$ ;  $m$  – коэффициент ослабления.

Эта же зависимость верна и для мощности экспозиционной дозы  $D_x$ :

$$D_x(D) = D_x(0)\exp(-m D), \quad (2)$$

Где  $D$  – толщина однородной защиты.

Рассеянные  $\gamma$ -кванты обычно учитывают введением в закон ослабления (2) фактора накопления (ФН)  $B$ :

$$D_x(D) = B D_x(0)\exp(-m D),$$

Фактор накопления зависит от энергетического состава и углового распределения излучения источника, плотности потока  $\gamma$ -излучения, толщины, атомного номера материала защиты и от других причин. Таблицы дозового фактора накопления для различных материалов приведены в справочнике В. Ф.Козлова (см. литературу). В частности, значения ФН для свинца приведены в табл. 2.

Таблица 2 - Значение фактора накопления для свинца для энергий  $\gamma$ -излучения 0,5 и 1 МэВ

$EG,$ [МэВ]	$M$ [см-1]	$M \times D$							
1	2	4	7	10	15	20			
0,5	1,7	1,24	1,42	1,69	2,00	2,27	2,65	2,73	
1,0	0,51	1,37	1,69	2,26	3,02	3,74	4,81	5,86	

Коэффициент ослабления  $\gamma$ -излучения Cs-137 (0,662 МэВ):  $m = 1,18 \text{ см}^{-1}$ .

### ЗАДАНИЯ

Задача 1. Источник Cs-137 помещен за свинцовый экран толщиной  $D = 8$  см на расстоянии  $R = 5$  см от экрана. Рассчитать максимальную активность источника при условии, что мощность дозы у внешней стенки экрана не превышает  $0,6 \text{ мкЗв/ч}$ . Коэффициент ослабления  $\gamma$ -излучения Cs-137 в воздухе  $m(0,662 \text{ МэВ}) \approx 1 \cdot 10^{-4} \text{ см}^{-1}$ .

Задача 2. Рассчитать толщину свинцового экрана, ослабляющего  $\gamma$ -излучение от источника Cs-137 в 10 раз без учета рассеяния  $\gamma$ -квантов. Как изменится мощность экспозиционной дозы от этого источника, если учесть фактор накопления?

Задача 3. Пусть свинцовый фильтр толщиной  $X = 5$  см ослабляет мощность экспозиционной дозы  $\gamma$ -излучения точечного источника с  $E = 1,5 \text{ МэВ}$  до допустимого уровня. Насколько нужно увеличить толщину фильтра, если активность источника увеличить в 10 раз. Расстояние между источником и детектором постоянно.  $\mu = 0,56 \text{ см}^{-1}$ .

Задача 4. Определить мощность поглощенной дозы в биологической ткани на расстоянии 2 м от точечного изотропного источника Co-60 с

активностью, равной  $1,85 \cdot 10^5$  Бк, при условии, что: 1) излучение полностью поглотилось в ткани; 2) слой биологической ткани равен 10 см.  $\mu = 0,065 \text{ см}^{-1}$ ;  $K_\gamma = 12,85 \text{ Р} \cdot \text{см}^2 / (\text{ч} \cdot \text{мКи})$ .

Задача 5. Рассчитать экспозиционную дозу рентгеновского излучения с энергией 1 МэВ на выходе из тела пациента при рентгеноскопии грудной клетки (толщина 25 см), если на входе пучка в тело экспозиционная доза равна 6,4 Р.  $\mu = 0,07 \text{ см}^{-1}$ . Рассмотреть два случая: 1) геометрию узкого пучка; 2) геометрию широкого пучка.  $B = 3$ .

Задача 6. Рассчитать дозу  $D$  внешнего облучения от источника Cs-137 с активностью  $A = 2$  кБк, полученную человеком, находящимся на расстоянии  $R = 1$  см от источника за время, равное 2 ч. Сравнить расчет с дозой, получаемой от естественного фона: 0,2 мкЗв/ч.

Задача 7. Рассчитать слой половинного ослабления  $\Delta$   $\gamma$ -излучения с энергией 3 МэВ в биологической ткани человека для геометрии: 1) узкого пучка (рассеянные фотоны не регистрируются),  $\mu = 0,043 \text{ см}^{-1}$ ; и 2) широкого пучка, если кратность ослабления равна 2 (рассчитывается толщина защиты из воды).

Задача 8. Определить глубину, на которую проникают в тело пациента электроны, испускаемые аппликатором из гибкого пластика площадью 4 см<sup>2</sup>. Аппликатор содержит чистый  $\beta$ -излучатель Р-32; а также поглощенную телом человека дозу за 0,5 ч. Максимальная энергия  $\beta$ -частиц равна 1,712 МэВ, средняя энергия электронов – 0,694 МэВ, плотность биологической ткани  $\rho = 1 \text{ г/см}^3$ . Активность фосфора равна 150 кБк/см<sup>2</sup>. Максимальный пробег электронов в веществе  $R$  связан с максимальной энергией частиц  $E$  эмпирическим выражением:

$$E (\text{МэВ}) = (\rho R + 0,133) / 0,542,$$

Где  $R$  выражено в сантиметрах.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Международная комиссия по радиологической защите (МКРЗ). Рекомендации международной комиссия по радиологической защите 1990 года. Публикация 60 МКРЗ. Ч.1 и Ч.2. М. Энергоатомиздат. 1994.
2. International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for Safety of Radiation Sources/ IAEA, Safety Series №115, 1996, p.279-284.
3. Закон Республики Беларусь. О радиационной безопасности населения. 5.01. 1998.-№122-3.
4. Нормы радиационной безопасности НРБ-2000/ ГН 2.6.1.8-127-2000. М-во здравоохранения Республики. Беларусь., Мн., 2000.
5. Hart, D. Estimation of effective Dose in Diagnostic Radiology from Entrance Surface Dose and Dose-Area Product Measurements /D. Hart, D.G. Jones, B.F. Wall //NRPB-R262. National Radiological Protection Board, Didcot. 1994.
6. Patient Dosimetry System PDS-60. RADOS technology Oy , prospect. 1997.

7. Дозовые нагрузки на взрослых пациентов при рентгенологических исследованиях /Р.В. Ставицкий [и др.] //Методические рекомендации № 3. М., 1997.
8. Контроль доз облучения пациентов при рентгенологических исследованиях /Р.В. Ставицкий [и др.] //Методические рекомендации №97/159. М., 1998.
9. Контроль дозовых нагрузок на детей при рентгенологических исследованиях /Р.В. Ставицкий [и др.] //Методические рекомендации. М., 1996.
10. Khan, F. M. The Physics of Radiation Therapy /F. M. Khan. Baltimor. 1994.
- 11 Larsson, J.P. Transmission ionization chambers for measurements of air collision kerma integrated over beam area. Factors limiting the accuracy of calibration /J.P. Larsson [et al.] //Physics in medicine and biology, V.41. 1996. P. 2381 – 2383.
12. Zoetelief, J. Recommendations for patient dosimetry in diagnostic radiology using TLD /J. Zoetelief //Proceed. of Int. Symposium on Standards and Codes of Practice in Medical Radiation Dosimetry. IAEA, Vienna, 2002. Rep. CN – 96 – 46.
13. Bartolotta, A. ESR dosimetry as an alternative and powerful technique in radiotherapy /A. Bartolotta B. [et al.] //Dosimetry in radiotherapy, V. 2. IAEA, 1988. P. 340 – 342.
14. Rehani, M. Radiological protection of patients in general diagnostic radiology /M. Rehani. //Proceed. of an International Conf. on Radiological Protection of Patients in Diagnostic and Interventional Radiology, Nuclear medicine and Radiotherapy, Spain 2001. IAEA, Vienna, 2001. P.169-180.
15. Богушевич С.Е., Г.В. Гацкевич, А.И. Голубовский и др. Неорганический спин-резонансный дозиметр для медицинской радиологии /Матер. конф. Новые технологии в клинической радиологии, Минск, 1998, с. 34-39.
16. Le Heron, J.C. Estimation of effective dose to the patient during medical x-ray examination from measurement of the dose-area product /J.C. Le Heron //Physics in Medicine and Biology. V. 37. 1992. P. 2117 – 2126.
- 17 Rodriguez-Romero, R. Absorbed doses to patients from angioradiology /R. Rodriguez-Romero, F. Diaz-Romero, J. Hernandez-Armas //Proceed. of an International Conf. on Radiological Protection of Patients in Diagnostic and Interventional Radiology, Nuclear medicine and Radiotherapy, Spain, 2001. IAEA, Vienna, 2001. Rep. CN – 85 –111.
- 18 Тарутин, И.Г. Определение дозовых нагрузок на взрослых пациентов при рентгенодиагностических исследованиях /И.Г. Тарутин [и др.] //Методические рекомендации Министерства Здравоохранения Республики Беларусь № 148-9812, 1999.
- 19 Чиж Г.В., Полойко Ю.Ф. Контроль доз облучения пациентов при рентгенодиагностических исследованиях. Инструкция по применению М-ва здравоохранения Респ. Беларусь. Утвержд. 11 сентября 2001 г.Мн., 2001 г.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

Тема: **Расчёт толщины защиты от ионизирующих излучений**

### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

#### 1. Расчет защиты от техногенных источников гамма-излучения

При расчете защиты должны быть известны следующие параметры:

1. Геометрия источника (точечный или протяженный)
2. Активность (Бк) и тип источника
3. Энергия излучения, МэВ
4. Расстояние от источника до рассчитываемой точки, м
5. Время облучения, ч
6. Керма-постоянная изотопа,  $10^{-18}$  Гр·м<sup>2</sup>/с·Бк
7. Мощность эквивалентной дозы, мкЗв/ч
8. Проектная мощность эквивалентной дозы, мкЗв/ч
9. Материалы защиты (плотность, материал)

Мощность поглощенной дозы определяется по формуле:

$$D = \frac{10^6 \cdot G \cdot A \cdot 3600}{R^2},$$

где:

D – мощность поглощенной дозы, мкГр/ч

$10^6$  – коэффициент перевода Гр в мкГр

G – керма-постоянная изотопа,  $10^{-18}$  Гр·м<sup>2</sup>/с·Бк

A – активность источника, Бк

3600 – перевод час в с

R – расстояние, м.

Значения кермы-постоянной некоторых радионуклидов приведены в таблице 1.

Мощность эквивалентной дозы рассчитывают по формуле:

$$H = D \cdot W_R,$$

где H – мощность эквивалентной дозы, мкЗв/ч; D – мощность поглощенной дозы, мкГр/ч;  $W_R$  – взвешивающий коэффициент излучения (для гамма-излучения любой энергии равен 1).

При использовании защитных экранов в знаменатель формулы должна быть введена кратность ослабления данным экраном (K). Этот коэффициент показывает, во сколько раз уменьшается мощность дозы за защитным экраном толщиной d. Кратность ослабления зависит от вида излучения, его энергии, материала экрана и толщины. На практике этот коэффициент приводится в

специальных справочниках по радиационной безопасности (табл. 2,3,4 для свинца, железа, бетона). Тогда

$$D = \frac{10^6 \cdot G \cdot A \cdot 3600}{R^2 \cdot K}$$

Величину коэффициента ослабления определяют по формуле:  $K = N_{\text{измер}} / N_{\text{проект}}$ , где  $N_{\text{измер}}$  – измеренная на рабочем месте мощность эквивалентной дозы, мкЗв/ч;  $N_{\text{проект}}$  – проектная мощность эквивалентной дозы, мкЗв/ч (таблица 5).

При использовании в качестве защитных экранов других материалов (бетона, железа, кирпича, воды, чугуна и др.) можно сделать перерасчет защиты по отношению к плотности материалов. Данные о плотности некоторых материалов приведены в таблице 6. При перерасчете толщины по плотностям следует исходить из следующего соотношения:

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{p_2}{p_1}$$

Где  $d_1$  – толщина защитного материала (свинца);  $p_1$  – плотность свинца;  $d_2$  и  $p_2$  – толщина и плотность искомого материала.

Для расчета времени работы с источником ионизирующего излучения используем следующую формулу:

$$t = \frac{H_{\text{проект}}}{H_{\text{измерен}}}$$

**Пример ситуационной задачи.** Рассчитайте необходимую толщину защитного экрана при работе с источником  $^{60}\text{Co}$  активностью 100 МБк в помещении постоянного пребывания персонала. Расстояние от источника до рабочего места 0,5 м.

Керма-постоянная для кобальта-60 равна  $84,23 \cdot 10^{-18}$  Гр·м<sup>2</sup>/с·Бк. Средняя энергия фотонов кобальта-60 – 1,25 МэВ.

**Решение.** Рассчитываем мощность поглощенной дозы в помещении:

$$D = \frac{10^6 \cdot G \cdot A \cdot 3600}{R^2} = \frac{10^6 \cdot 84,23 \cdot 10^{-18} \cdot 100 \cdot 10^6 \cdot 3600}{0,5^2} = 120 \text{ мкГр/ч.}$$

Мощность эквивалентной дозы равна:

$$H = D \cdot W_R = 120 \cdot 1 = 120 \text{ мкЗв/ч.}$$

Проектная мощность эквивалентной дозы в помещении постоянного пребывания персонала равна 6 мкЗв/ч (табл. 5). Находим кратность ослабления  $K = 120/6 = 20$ .

По таблицам толщины защиты в зависимости от кратности ослабления и энергии излучения (табл. 2-4) определяем, что при коэффициенте ослабления 20 и энергии фотонов 1,25 МэВ толщина защитных материалов следующая: свинец – 58 мм, железо – 113 мм, бетон – 399 мм.

## 2. Расчет защиты от рентгеновского излучения

Рентгеновское излучение является электромагнитным излучением, возникающем при бомбардировке вещества потоком электронов. Оно представляет собой совокупность тормозного и характеристического излучений с диапазоном энергии квантов 1,0 кэВ-1,0 МэВ в зависимости от величины ускоряющего напряжения между анодом и катодом.

Рентгеновские лучи возникают в любых электровакуумных установках, в которых используются большие напряжения в десятки и сотни киловольт для ускорения электронного пучка (например, в установках рентгенодефектоскопии, рентгенодиагностики, в телевидении, ПЭВМ, а также в некоторых радиоактивных изотопах). Рентгеновское излучение обладает малой ионизирующей способностью и большой глубиной проникновения.

К числу технических средств защиты относятся экраны стационарные и передвижные. При расчете определяют материал экрана и его толщину.

Чем больше плотность вещества, тем больше степень ослабления излучения. Поэтому чаще всего используют свинец.

На основании расчетных и экспериментальных данных построены таблицы кратности ослабления, а также различные номограммы, позволяющие определять толщину стенки экрана от излучений различных энергий.

*ПРИМЕР* расчета свинцового экрана для защиты от рентгеновских лучей. Определить толщину свинцового экрана для защиты от рентгеновских лучей излучаемых клистроном. Рассчитанная величина мощности экспозиционной дозы неэкранированного клистрона  $R_{\text{э}} = 2,56 \times 10^3$  мкР/с.

*РЕШЕНИЕ:* Мощность экспозиционной дозы вблизи защитного экрана не должна превышать 0,27 мкР/с. При этих условиях кратность ослабления “к” определяется по формуле:

$$k = R_{\text{э}} / R_{\text{э доп}},$$

где  $R_{\text{э}}$  - измеренная или рассчитанная мощность экспозиционной дозы в данной точке рабочего пространства;

$R_{\text{э доп}}$  - допустимая мощность экспозиционной дозы

$$k = 2,56 \times 10^3 / 0,27 = 9,4 \times 10^3$$

Из таблицы находим, что толщина свинца для  $k = 9,4 \times 10^3$  и напряжении на аноде  $U = 100$  кВ примерно 2,7 мм.

Таблица 1 - Толщина защитного слоя свинца [мм] для ослабления рентгеновского излучения высоковольтных электронных приборов.

Напряжение на аноде электронного прибора кВ.

кратность ослабления "К"	30	40	50	60	70	80	100
2	-	-	-	-	-	0,2	0,2
20	-	0,1	0,2	0,2	0,3	0,6	0,8
100	-	0,2	0,2	0,4	0,5	1	1,3
1000	0,1	0,3	0,4	0,7	1,0	1,6	1,9
10000	0,2	0,4	0,6	1,1	1,5	2,1	2,7
20000	0,2	0,4	0,7	1,2	1,6	2,3	2,9
50000	0,2	0,4	0,7	1,3	1,8	2,5	3,2

### ЗАДАНИЯ

**1** Рассчитайте необходимую толщину защитного экрана при работе с источником  $^{131}\text{I}$  активностью 400 МБк в помещении временного пребывания персонала. Расстояние от источника до рабочего места 1 м.

**2** Определить толщину свинцового экрана для защиты от рентгеновских лучей.

Величины мощности экспозиционной дозы неэкранированного источника излучения и напряжения на аноде даны в табл.2.

Таблица 2 - ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ по вариантам

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U, кВ	100	80	70	60	50	40	30	100	100	80
Pэ, мкР/с x 10 <sup>3</sup>	1,5	2,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	3,5	3,0	4,0

### ЛИТЕРАТУРА

1. Международная комиссия по радиологической защите (МКРЗ). Рекомендации международной комиссия по радиологической защите 1990 года. Публикация 60 МКРЗ. Ч.1 и Ч.2. М. Энергоатомиздат. 1994.

2. Зарипова, Л.Д. Защита от ионизирующего излучения: Учебно-методическое пособие для студентов физического факультета/ Л.Д. Зарипова. — Казань: Изд-во Казанск. гос. ун-та . 2008.-48 с.: ил.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

Тема: Оценка риска угрозы здоровью при воздействии радиоактивных канцерогенов

### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Рассчитать дозу внешнего облучения при проживании на территории с плотностью загрязнения  $^{137}\text{Cs}$   $37000 \text{ Бк}\cdot\text{м}^2$ , внешнего облучения от  $^{137}\text{Cs}$  при объемной активности в воздухе  $10^{-4} \text{ Бк}\cdot\text{м}^3$ , ингаляционную дозу от  $^{137}\text{Cs}$ , годовое поступление  $^{137}\text{Cs}$  с продуктами питания, индивидуальный и коллективный риски, относительную и индивидуальную потерю жизни при облучении.

Таблица 1 - Варианты для выполнения лабораторной работы

Продукты	Удельная активность $^{137}\text{Cs}$ $UA_i$ , $\text{Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$											
	Вариант											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
хлеб	2	1	1	370	370	74	40	20	15	10	5	4
картофель	5	3	3	740	370	74	80	40	20	10	10	6
овощи	10	5	5	740	185	100	100	150	100	40	15	10
фрукты	10	5	5	740	185	100	40	40	20	15	10	10
мясо	20	10	10	590	600	370	180	150	100	70	50	50
молоко	40	15	5	370	111	111	100	80	40	30	30	30
грибы свежие	200	100	60	1850	370	370	370	370	370	370	300	250
ягоды лесные	60	30	30	185	185	185	185	150	150	150	100	100

Примечание: каждый вариант задания соответствует содержанию  $^{137}\text{Cs}$  в продуктах питания для различных условий или временного промежутка: вариант 1 – в Белорусском и Украинском Полесье в конце 70-х гг.; вариант 2 - на территории Беларуси в конце 70-х гг.; вариант 3 – средневзвешенное по территории бывшего СССР в конце 70-х гг.; 4 – норматив ВДУ-88; 5 – норматив РДУ-92; 6 – норматив РДУ-96; 7 – норматив РДУ-99; 8-10 – удельная активность в продуктах питания в различные периоды после аварии на ЧАЭС; 11-12 – типичные удельные активности  $^{137}\text{Cs}$  в продуктах питания на современном этапе.

### 1. Оценка риска для здоровья человека при загрязнении радионуклидами

Радиационное воздействие на организм человека определяется внешним ( $D_{\text{int}}$ ) и внутренним ( $D_{\text{ext}}$ ) облучением.

$$D_{\text{total}} = D_{\text{int}} + D_{\text{ext}} \quad (1)$$

Доза *внешнего облучения* определяется преимущественно  $\gamma$ -излучением, вклад  $\beta$ -излучения выражен в гораздо меньшей степени и определяет воздействие на наружные покровы тела,  $\alpha$ -излучение не определяет внешнего облучения объектов биоты и человека, задерживаясь в поверхностном слое кожи или одежды. *Внешнее облучение* обусловлено радионуклидами, находящимися, в первую очередь, в воздухе и на поверхности почвы:

$$D_{\text{ext}} = D_{\text{soil}}^{\text{corr}} + D_{\text{air}} \quad (2)$$

где  $D_{\text{soil}}^{\text{corr}}$  - доза внешнего  $\gamma$ -излучения от поверхности почвы, Зв;

$D_{\text{air}}$  - доза внешнего  $\gamma$ -излучения от радионуклидов, рассеянных в атмосфере, Зв.

Доза внешнего  $\lambda$ -излучения от радионуклидов, находящихся в почве:

$$D_{\text{soil}} = A_{\text{soil}} * V_{\text{soil}(\gamma)} * t \quad (3)$$

где  $A_{\text{soil}}$  - удельная активность радионуклида в почве, Бк\*м<sup>-2</sup>;

$V_{\text{soil}(\gamma)}$  - дозовый коэффициент, Зв\*м<sup>2</sup>\*ч<sup>-1</sup>\*Бк<sup>-1</sup> (таблица 2);

t - время, ч.

При расчете дозы внешнего облучения следует учесть, что от 0,1 до 0,4 времени в течение суток человек проводит на улице, а жилые постройки имеют определенное свойство к экранированию излучения (деревянные дома снижают интенсивность  $\gamma$ -излучения примерно в 10 раз). Соответственно, величина дозы внутреннего облучения должна быть скорректирована:

$$D_{\text{soil}}^{\text{corr}} = 0,46 * D_{\text{soil}} \quad (4)$$

Доза внешнего  $\gamma$ -излучения от радионуклидов, находящихся в атмосфере:

$$D_{\text{air}} = A_{\text{air}} * V_{\text{air}(\gamma)} * t \quad (5)$$

где  $A_{\text{air}}$  - объемная активность радионуклида в почве, Бк\*м<sup>-3</sup>;

$V_{\text{air}(\gamma)}$  - дозовый коэффициент, Зв\*м<sup>3</sup>\*ч<sup>-1</sup>\*Бк<sup>-1</sup> (таблица 22);

t - время, ч.

Доза *внутреннего облучения* определяется от алиментарного и ингаляционного поступления  **$\alpha$ - и  $\beta$ -излучающих радионуклидов**, а роль  $\gamma$ -излучения в формировании дозы внутреннего облучения относительно мала.

Доза *внутреннего облучения* ( $D_{\text{int}}$ ) обусловлена ингаляционным ( $D_{\text{ing}}$ ) и алиментарным ( $D_{\text{al}}$ ) поступлением радионуклидов:

$$D_{\text{int}} = D_{\text{ing}} + D_{\text{al}} \quad (6)$$

При этом ингаляционная доза будет равна:

$$D_{\text{ing}} = A_{\text{air}} * V_{\text{air}(\beta\gamma)} * V * t \quad (7)$$

где  $A_{air}$  – объемная активность радионуклида в почве, Бк\*м<sup>-3</sup>;

$B_{air(\beta\gamma)}$  – дозовый коэффициент от ингаляции радионуклида, Зв\*Бк<sup>-1</sup> (таблица 24);

$V$  – потребление воздуха, м<sup>3</sup>/ч;

$t$  – время, ч.

Таблица 2– Дозовые коэффициенты

Радионуклид	Дозовые коэффициенты		Дозовый коэффициент при поступлении, Зв/Бк	
<sup>137</sup> Cs	$B_{air(\gamma)}$ Зв*м <sup>3</sup> *ч <sup>-1</sup> *Бк <sup>-1</sup>	$B_{soil(\gamma)}$ Зв*м <sup>2</sup> *ч <sup>-1</sup> *Бк <sup>-1</sup>	$B_{air(\beta\gamma)}$	$B_{al(\beta\gamma)}$
	4,68*10 <sup>-10</sup>	4,18*10 <sup>-13</sup>	4,6*10 <sup>-9</sup>	1,3*10 <sup>-8</sup>

Доза внутреннего облучения от алиментарного поступления рассчитывается по формуле:

$$D_{al} = 365 * B_{al(\beta\gamma)} * \sum_{i=1}^n m_i * UA_i, \quad (8)$$

где,  $m_i$  – масса  $i$ -го продукта, потребляемого в сутки (таблица 25), кг;

$UA_i$  – удельная активность  $i$ -го продукта питания, Бк/кг;

$B_{al}$  – дозовый коэффициент от перорального поступления, Зв/Бк.

Рассчитывается суммарная доза внешнего и внутреннего облучения по формуле 37. Исходя из величины полученной дозы рассчитывается индивидуальный радиационный риск (чел<sup>-1</sup>):

$$r = D_{total} * r_e, \quad (9)$$

где  $r_e$  – индивидуальный радиационный риск при дозе 1 Зв, принимаемый для населения равным 7,3\*10<sup>-2</sup> чел<sup>-1</sup>Зв<sup>-1</sup>. Данный коэффициент характеризует сокращение длительности периода полноценной жизни в среднем на 15 лет на один стохастический (вероятностный) случай смертельного заболевания.

Применяется следующая **шкала индивидуальных радиационных рисков** воздействия:

- при  $r_e < 10^{-6}$  индивидуальный риск рассматриваемого канцерогена считается **пренебрежимо малым**;

- при  $10^{-6} < r_e < 5,0*10^{-5}$  индивидуальный риск рассматриваемого канцерогена считается **приемлемым**.

- при  $5,0*10^{-5} < r_e$  индивидуальный риск рассматриваемого канцерогена считается **недопустимым**.

Таблица 3 – Примерное суточное потребление основных продуктов питания для сельских жителей

Продукты	Суточное потребление, кг
хлеб	0,4
картофель	0,474
овоци	0,2
фрукты	0,06
мясо	0,11
молоко	0,5
грибы свежие	0,02
ягоды лесные	0,009

Примечание – индивидуальный пищевой рацион может претерпевать значительное варьирование по сравнению с типичным как по перечню продуктов, так и по их массе. Приведенный рацион был использован при расчете гигиенических нормативов РДУ-2009.

Коллективная доза  $K$  (чел·Зв) равна произведению индивидуальной дозы  $D_{total}$  (Зв) на численность облученной когорты  $N$  (чел):

$$K = D_{total} * N \quad (10)$$

Коллективный радиационный риск  $R$  равен произведению коллективной дозы  $K$  (чел·Зв) на коэффициент индивидуального радиационного риска  $r_e$  (чел<sup>-1</sup> · Зв<sup>-1</sup>):

$$R = K * r_e \quad (11)$$

Коллективный риск отражает количество случаев проявления стохастических эффектов от действия излучения, каждый из которых определяет сокращение длительности периода полноценной жизни на  $\beta=15$  лет. Перемножая величину коллективной дозы  $K$  на величину  $\beta$  получаем потерю коллективной продолжительности жизни  $\Delta$ :

$$\Delta = R * \beta \quad (12)$$

Данный показатель позволяет рассчитать относительную потерю коллективной продолжительности жизни  $\delta$ :

$$\delta = \frac{\Delta}{70 \cdot N} \quad (13)$$

Индивидуальное сокращение жизни человека от воздействия ионизирующего излучения при этом составит  $\Delta_u$ :

$$\Delta_u = 70 * \delta \quad (14)$$

**Пример решения задачи**

**Задача.** Рассчитать дозу внешнего облучения при проживании на территории с плотностью загрязнения  $^{137}\text{Cs}$   $30000 \text{ Бк}\cdot\text{м}^2$ , внешнего облучения от  $^{137}\text{Cs}$  при объемной активности в воздухе  $10^{-3} \text{ Бк}\cdot\text{м}^3$ , ингаляционную дозу от  $^{137}\text{Cs}$ , годовое поступление  $^{137}\text{Cs}$  с хлебом (удельная активность  $^{137}\text{Cs}$   $UA_i = 0,1 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ ), индивидуальный риск.

**Решение**

Доза внешнего  $\lambda$ -излучения от радионуклидов, находящихся в почве:

$$D_{\text{soil}} = A_{\text{soil}} * B_{\text{soil}(\gamma)} * t = 3 * 10^4 * 4,18 * 10^{-13} * 8,76 * 10^3 = 1,1 * 10^{-4} \text{ Зв}$$

$$D_{\text{soil}}^{\text{corr}} = 0,46 * 1,1 * 10^{-4} \text{ Зв} = 5,1 * 10^{-5} \text{ Зв}$$

Доза внешнего  $\gamma$ -излучения от радионуклидов, находящихся в атмосфере:

$$D_{\text{air}} = A_{\text{air}} * B_{\text{air}(\gamma)} * t = 10^{-3} * 4,68 * 10^{-10} * 8,76 * 10^3 = 4,1 * 10^{-9} \text{ Зв}$$

Ингаляционная доза будет равна:

$$D_{\text{ing}} = A_{\text{air}} * B_{\text{air}(\beta\gamma)} * V * t = 10^{-3} * 4,6 * 10^{-9} * 0,83 * 8,76 * 10^3 = 3,3 * 10^{-8} \text{ Зв}$$

Доза внутреннего облучения от алиментарного поступления:

$$D_{\text{al}} = 365 * 1,3 * 10^{-8} * 0,4 * 0,1 = 1,9 * 10^{-7} \text{ Зв.}$$

Суммарная доза внешнего и внутреннего облучения равна:

$$5,1 * 10^{-5} + 4,1 * 10^{-9} + 3,3 * 10^{-8} + 1,9 * 10^{-7} \approx 5,1 * 10^{-5} \text{ Зв.}$$

Индивидуальный радиационный риск (чел<sup>-1</sup>):

$$r = D_{\text{total}} * r_e = 5,1 * 10^{-5} * 7,3 * 10^{-2} = 3,7 * 10^{-6} \text{ чел}^{-1}$$

Так как  $10^{-6} < r_e < 5,0 * 10^{-5}$  индивидуальный риск можно считать приемлемым.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Гусев, Н.Г. Радиоактивные выбросы в биосфере: Справочник / Н.Г. Гусев, В.А. Беляев. - Москва: Энергоатомиздат, 1991. - 256 с.
- 2 Романов, Г.Н. Ликвидация последствий радиационных аварий: Справочное руководство / Г.Н. Романов. - Москва: ИздАТ, 1993. - 336 с.
- 3 Методика разработки нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух (ДВ-2010). - Том 2 (технические приложения, рекомендации для расчетов). - М.: Федеральный Центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. - 216с.
- 4 Проведение комплексного экспедиционного радиационно-гигиенического обследования населенного пункта для оценки доз облучения населения. Методические рекомендации - М.: Федеральный Центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. - 48 с.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8

Тема: **Оценка радиационной обстановки при разрушении (аварии) радиационно-опасных объектов**

### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**Радиационная авария** - потеря управления источником ионизирующего излучения, вызванная неисправностью оборудования, неправильными действиями работников (персонала), стихийными бедствиями или иными причинами, которые могли привести или привели к облучению людей выше установленных норм или радиоактивному загрязнению окружающей среды.

**Радиационно-опасный объект (РОО)** - объект, на котором хранят, перерабатывают, используют или транспортируют радиоактивные вещества (РВ), при аварии на котором (разрушении) может произойти облучение ионизирующим излучением или радиоактивное загрязнение людей, животных, растений, объектов народного хозяйства, а также окружающей природной среды.

**Радиационная обстановка** складывается на территории административного района, населенного пункта или объекта в результате радиоактивного заражения местности и всех расположенных на ней предметов и требует принятия определенных мер защиты, исключающих или способствующих уменьшению радиационных потерь среди населения.

Под **оценкой радиационной обстановки** понимается решение основных задач по различным вариантам действий формирований, а также производственной деятельности объекта в условиях радиоактивного заражения, анализу полученных результатов и выбору наиболее целесообразных вариантов действий, при которых исключаются радиационные потери.

Оценка радиационной обстановки проводится как методом прогнозирования, так и по данным разведки (показаниям дозиметрических приборов). Выявление радиационной обстановки по данным радиационной разведки включает сбор и обработку информации о мощностях доз облучения (уровнях радиации) на местности, а также нанесения зон заражения на карту.

**Степень радиационной опасности** зависит от многих факторов: типа ядерного реактора, вероятного количества продуктов (радионуклидов) в выбросе, розы ветров (господствующих направлений ветра), разработанных мероприятий по предотвращению и ликвидации последствий аварий на РОО, а также способности сил ГО своевременно выполнить эти мероприятия.

**Ионизирующее излучение** – это излучение, которое создается при радиоактивном распаде ядерных превращений торможения заряженных частиц в веществе и образует при взаимодействии со средой ионы разных знаков.

Важнейшими свойствами ионизирующего излучения является их проникающая способность и ионизирующее действие.

Биологический эффект ионизирующего излучения зависит от суммарной дозы и времени воздействия излучения, от вида излучения, размеров излучаемой поверхности и индивидуальных особенностей организма.

Высокая ионизирующая способность ***α-частиц*** делает их очень опасными при попадании внутрь организма с пищей, водой, воздухом. В воздухе они распространяются на расстоянии до 10 см, а при облучении человека проникают в глубину поверхностного слоя кожи.

Ионизирующее действие ***β-излучения*** значительно ниже, чем у α-излучения, но проникающая способность выше, в воздухе β-излучение распространяется на 3 м и больше, в воде и биологической ткани до 2 см.

***Гамма излучение*** представляет собой коротковолновое электромагнитное излучение, которое испускается при ядерных превращениях. По своей природе гамма излучение аналогично световому, ультрафиолетовому, рентгеновскому, оно обладает большой проникающей способностью. В воздухе распространяется на расстоянии 100 м и более. Может проходить через свинцовую пластину, толщиной в несколько см, и полностью проходит через тело человека. Основную опасность гамма излучение представляет как источник внешнего облучения организма.

Существует два различных пути, при которых излучение достигает ткани организма и воздействует на них.

Первый путь – ***внешнее облучение*** от источника, расположенного вне организма. Оно вызывается гамма-излучением, рентгеновским излучением, нейтронами, которые глубоко проникают в организм, а также бета-лучами с высокой энергией, способными проникать в поверхностные слои кожи. Источниками фонового внешнего облучения являются космические излучения, гамма-излучающие нуклиды, которые содержатся в породах, почве, строительных материалах.

Второй путь – ***внутреннее облучение*** от ионизирующих излучений радиоактивных веществ, находящихся внутри организма (при вдыхании, поступлении с водой и пищей, проникновении через кожу). Подвергаясь в тканях тела радиоактивному распаду, эти изотопы излучают альфа-, бета-частицы, гамма-лучи.

Существует ряд особенностей, которые делают внутреннее облучение во много раз более опасным, чем внешнее (при одних и тех же количествах радионуклидов):

1. При внутреннем облучении увеличивается время облучения тканей организма, так как при этом время облучения совпадает со временем нахождения РВ в организме (при внешнем облучении доза определяется временем нахождения в зоне радиационного воздействия).

2. Доза внутреннего облучения резко возрастает из-за практически бесконечно малого расстояния до тканей, которые подвергаются ионизирующему воздействию (так называемое контактное облучение).

Степень чувствительности различных тканей к облучению неодинакова. Если рассматривать ткани органов в порядке уменьшения их чувствительности к действию излучения, то получим следующую

последовательность: лимфатическая ткань, лимфатические узлы, селезенка, зубная железа, костный мозг, зародышевые клетки.

3. За небольшим исключением РВ распределяются в тканях организма неравномерно, а выборочно концентрируются в отдельных органах, ещё более усиливая их облучение.

4. В случае внутреннего облучения нет возможности использовать методы защиты, которые разработаны для внешнего облучения (экранирование, сокращение времени нахождения в поле действия РВ, удаление от источника облучения) и т.д.

Степень радиационной опасности *при внутреннем облучении* человека определяют ряд параметров:

1. Путь поступления РВ в организм (органы дыхания, ЖКТ, кожа).
2. Место локализации РВ в организме.
3. Продолжительность поступления РВ в организм человека.
4. Время нахождения в организме (в зависимости от периода полураспада и периода полувыведения радионуклидов).
5. Энергия, излучаемая радионуклидами за единицу времени.
6. Масса облучаемой ткани (зависит от локализации РВ в организме).
7. Отношение массы облучаемой ткани к массе тела человека.
8. Количество радионуклида в организме.

**Доза облучения** – это часть энергии радиационного излучения, которая расходуется на ионизацию и возбуждение атомов и молекул любого облученного объекта.

**Поглощенная доза** – это количество энергии, переданной излучением веществу в пересчете на единицу массы, Гр.

**Эквивалентная доза** – учитывает особенности поражающего действия различных видов излучений на организм человека (при одинаковых поглощенных дозах различные виды радиации производят неодинаковое биологическое воздействие на организм), Зв. Эквивалентная доза рассчитывается путем умножения значения поглощенной дозы на коэффициент относительной биологической эффективности.

**Эффективная доза** – является мерой риска возникновения отдаленных последствий облучения всего человека или отдельных его органов с учетом радиочувствительности, Зв. Она представляет сумму произведений эквивалентной дозы в органах и тканях на соответствующие взвешивающие коэффициенты.

Одни органы и ткани человека более чувствительны к действию радиации, чем другие: например, при одинаковой эквивалентной дозе возникновение рака в легких более вероятно, чем в щитовидной железе, а облучение половых желез особенно опасно из-за риска генетических повреждений. Поэтому дозы облучения разных органов и тканей следует учитывать с разным коэффициентом, который называется коэффициентом радиационного риска. Умножив значение эквивалентной дозы на соответствующий коэффициент радиационного риска и просуммировав по

всем тканям и органам, получим **эффективную дозу**, отражающую суммарный эффект для организма.

**Мощность дозы** (интенсивность облучения) — приращение соответствующей дозы под воздействием данного излучения за единицу времени (Зв/час и т.п.).

Установлены следующие основные гигиенические нормативы (допустимые пределы доз) облучения на территории Беларуси:

- для населения средняя годовая эффективная доза равна 0.001 Зв (1мЗв) или эффективная доза за период жизни (70 лет) – 0.07 Зв (70 мЗв);

- для работников РОО средняя годовая эффективная доза равна 0.02 Зв (20 мЗв) или эффективная доза за период трудовой деятельности (50 лет) – 1 Зв (1 000 мЗв). Допустимо облучение в годовой эффективной дозе до 0.05 Зв, но при условии, что она, исчисленная за пять последовательных лет, не превысит 0.02 Зв. Регламентируемые значения основных пределов доз облучения не включают в себя дозы, создаваемые естественным и искусственным радиационным фоном, а также дозы, получаемые при проведении медицинских рентгенорадиологических процедур и лечения.

В СанПиН 2.6.1.2523-09 "Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)" приведена классификация облучаемых лиц, в соответствии, с которой приняты две категории:

- 1) персонал (группы А и Б);
- 2) все население, включая лиц из персонала вне сферы и условий их производственной деятельности.

Для категорий облучаемых лиц устанавливаются два класса нормативов:

- основные пределы доз (ПД);

Нормируемые величины	Пределы доз	
	Персонал (группа А)	Население
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год
в хрусталике глаза	150 мЗв	15 мЗв
коже	500 мЗв	50 мЗв
кистях и стопах	500 мЗв	50 мЗв

Основные пределы доз, как и все остальные допустимые уровни воздействия персонала группы Б, равны 1/4 значений для персонала группы А.

- допустимые уровни монофакторного воздействия (для одного радионуклида, пути поступления или одного вида внешнего облучения), являющиеся производными от основных пределов доз: пределы годового поступления (ПГП), допустимые среднегодовые объемные активности (ДОВА),

среднегодовые удельные активности (ДУА) и другие (приложения № 1,2 НРБ-99/2009).

**Радиационная безопасность** – комплекс научно обоснованных мероприятий по обеспечению защиты человека и объектов окружающей среды от вредного воздействия ионизирующих излучений.

*При аварии на АЭС определяют показатели обстановки:*

- время начала облучения персонала объекта экономики;
- дозу внутреннего (ингаляционного) облучения людей; степень поражения и срок работоспособности незащищенных людей в зависимости от полученной ими дозы облучения;
- дозу внешнего облучения людей в любой точке следа выброса;
- размеры (длина, ширина) зон радиоактивного заражения и их расположение на местности;
- суммарные потери людей от радиации в зависимости от полученной ими дозы облучения;
- режим спасательных работ (СидНР).

При авариях, влекущих за собой радиоактивное загрязнение больших территорий, на основании контроля и прогноза радиационной обстановки устанавливается зона радиационной аварии (ЗРА), представляющая собой территорию, на которой суммарное внешнее и внутреннее облучение в единицах эффективной дозы может превысить 5 мЗв за первый после аварии год (в среднем по населенному пункту).

К зоне радиационной аварии не относится **зона радиационного контроля** - с годовой эффективной дозой от 1 до 5 мЗв. В этой зоне, помимо наблюдения за радиоактивностью объектов окружающей среды, сельскохозяйственной продукции и определения доз внутреннего и внешнего облучения критических групп населения, осуществляются меры по снижению доз и другие меры защиты.

На ранней и промежуточной стадиях аварии ЗРА делится на три зоны:

1. **Зона ограниченного проживания** населения - с годовой эффективной дозой от 5 до 20 мЗв. В этой зоне осуществляются те же мероприятия по защите населения, что и в зоне радиационного контроля.

2. **Зона добровольного отселения** населения - с годовой эффективной дозой от 20 до 50 мЗв. Здесь осуществляются радиационный мониторинг людей и объектов окружающей среды, а также

необходимые меры радиационной и медицинской защиты. Оказывается необходимая помощь в добровольном переселении населения за пределы зоны.

3. **Зона отселения** - с годовой эффективной дозой более 50 мЗв. Зона отселения, являясь наиболее радиоактивно загрязненной зоной, остается какое-то время территорией, на которой могут находиться аварийно-спасательные формирования, технический персонал объектов, продолжающих свою производственную деятельность, и население, ожидающее своей очереди на отселение по государственным планам. Для того, чтобы обеспечить необходимый уровень защиты для всех, находящихся на этой территории,

проводится ее зонирование по степеням радиоактивного загрязнения местности (см. табл.1.)

Таблица 1 - Характеристика зон радиоактивного загрязнения местности при авариях на АЭС

Наименования зон	Индекс	Доза за первый год после аварии	Мощность дозы на 1 час после аварии
Радиационной опасности	М	5 рад (50мГр)	14мРад/час
Умеренного загрязнения	А	50 рад (0,5 Гр)	140 мРад/час
Сильного загрязнения	Б	500 рад (5 Гр)	1,4 Рад/час
Опасного загрязнения	В	1500 рад (15 Гр)	4,2 Рад/час
Чрезвычайно опасного загрязнения	Г	5000 рад (50 Гр)	14 Рад/час

На восстановительной стадии на основании прогнозируемых на этот период доз устанавливаются зоны:

вне зоны радиационной аварии - **зона радиационного контроля** - с годовой эффективной дозой от 1 до 5 мЗв. В этой зоне проводятся те же мероприятия, что и на ранней и промежуточной стадиях;

внутри зоны радиационной аварии:

1. **Зона ограниченного проживания** населения - с годовой эффективной дозой от 5 до 20 мЗв. Проводятся те же мероприятия, что и на ранней и промежуточной стадиях.

2. **Зона отселения** - с годовой эффективной дозой от 20 до 50 мЗв. Въезд в эту зону для постоянного проживания не разрешается. В этой зоне запрещается постоянное проживание лиц репродуктивного возраста и детей. Здесь осуществляются радиационный мониторинг людей и объектов окружающей среды, а также необходимые меры радиационной и медицинской защиты.

3. **Зона отчуждения** - с годовой эффективной дозой более 50 мЗв. В этой зоне постоянное проживание не разрешается, а хозяйственная деятельность и природопользование регулируется специальными актами. Осуществляется мониторинг и защита работающих с обязательным индивидуальным дозиметрическим контролем.

В зоне отселения на начальных стадиях радиационной аварии устанавливаются 5 зон радиоактивного загрязнения местности. В зоне радиационной опасности (М) и зоне умеренного загрязнения (А) - могут какое-то время находиться люди, являющиеся работниками социальных и производственных объектов, продолжающих свою деятельность, а также население, ожидающее своей очереди на отселение по государственным планам. Для того, чтобы обеспечить необходимый уровень защиты для всех, находящихся в этих зонах вводятся **режимы радиационной защиты**. В

зависимости от уровня загрязнения территорий, особенностей режимов работы и степени защищенности персонала объектов и населения режимы радиационной защиты рассчитываются конкретно для каждого случая.

Для объектов, обеспечивающих жизнедеятельность людей на загрязненных территориях, расчет режимов радиационной защиты производится заблаговременно, исходя из конкретных условий работы объекта и возможных уровней радиации, а вводится в действие наиболее близкий к реально сложившейся обстановке.

Для населения, находящегося в зоне радиационной аварии, в системе ГО ЧС разработаны типовые режимы радиационной защиты при авариях на АЭС. Режимы учитывают, что люди могут проживать в домах, имеющих разные коэффициенты ослабления ( $K_{осл}$ ), а сами дома могут находиться в разных зонах с разными уровнями радиационного загрязнения.

Под **режимом радиационной защиты** понимают установленный порядок действия людей, применения средств и способов защиты в зонах радиоактивного загрязнения, предусматривающий максимальное уменьшение возможных доз облучения.

При разработке режимов было принято, что годовая допустимая доза внешнего облучения населения не должна превышать 10 рад. Режимы предусматривают, что во время прохождения радиоактивного облака для защиты от излучения и радиоактивных осадков люди должны находиться в защитных сооружениях или герметичных укрытиях не менее 4 ч. Режимы ограничивают пребывание людей на открытой местности до 1 ч в начальный период и до 2 ч до окончания действия режима. Вид типовых режимов представлен в табл. 2.

Таблица 2 - Типовые режимы радиационной защиты при авариях на АЭС

Наименование зон радиоактивного загрязнения	Уровни радиации на 1 ч после аварии, Р/ч	Условное наименование режима	Последовательность соблюдения режима			Общая продолжительность режима, сутки
			Этап I	Этап II		
			Время укрытия в герметичных помещениях	Продолжительность проживания населения (в сутках) с ограниченным пребыванием на открытой местности		
			До 1 ч в сутки	До 2 ч в сутки		
Для населения, проживающего в деревянных домах						
М	0,05	1 - 1	4	-	365	365
Для населения, проживающего в каменных домах ( $K_{осл} = 10$ )						
М	0,05					

### ЗАДАНИЯ

**Исходные данные для определения радиационной обстановки** приведены в табл. 3 (вариант задается преподавателем):

- координаты местоположения АЭС;
- тип реактора, его энергетическая емкость;
- время начала выброса радиоактивных веществ в атмосферу;
- направление и скорость ветра;
- степень вертикальной устойчивости приземной атмосферы.

Таблица 3 - Исходные данные для оценки радиационной обстановки

№ варианта	Координаты местоположения АЭС, км	Тип реактора	Мощность реактора, МВт	Время начала выброса радиоактивных веществ в атмосферу	Скорость движения воздуха, м/с	Степень вертикальной устойчивости воздуха
1	30	РБМК-1000	1000	1ч 10мин	3	инверсия
2	45	ВВЭР-1000	1000	2ч 00мин	4	изотермия
3	70	РБМК-1000	1000	3ч 10мин	5	конвекция
4	100	РБМК-1000	1000	6ч 00мин	3	инверсия
5	120	РБМК-1500	1500	9ч 00мин	5	изотермия

Примем следующее допущение: мгновенный выброс части РА продуктов в момент разрушения корпуса реактора и последующее их истечение происходит до двух недель. Доля РА продуктов, поступивших в атмосферу, для реактора РБМК-1000 при мгновенном выбросе составит 25%, а при последующем истечении - 75% от общей активности радионуклидов, выброшенных из реактора.

Данные для реактора ВВЭР-1000: соответственно 15% и 25%. Высота центра мгновенного выброса и распространения РА облака - 1 км, а РА струи, формирующейся при истечении продуктов из реактора, - 200м.

Расчет проводится в следующей последовательности:

1. Время начала облучения персонала объекта экономики (ОЭ) определяется по формуле

2.

$$t = R/v,$$

где  $R$ -расстояние до объекта экономики, км;  $v$ -скорость ветра, м/с.

3. Доза ингаляционного (внутреннего) облучения определяется по формуле

$$D_{вум} = 2W_{эл} r^{-(R/200+1,4)},$$

где  $W_{эл}$  - мощность реактора, МВт;  $R$  - расстояние от АЭС до ОЭ, км.

Значения дозы ингаляционного (внутреннего) облучения людей приведены в табл.4.

Таблица 4 - Дозы внутреннего (ингаляционного) поражения людей, Гр

Мощность реактора, МВт	Расстояние от поврежденного реактора, км													
	6	8	10	16	18	20	25	30	40	50	60	70	80	100
440	67	44	31	13	12	10	6,50	4,50	2,50	1,70	0,80	0,50	0,30	0,15
1000		100	71	30	27	22	15	10	5,5	3	2	1,2	0,75	0,30
1500				44	33,5	27	22	15,5	8	4,7	3	1,8	1,1	0,50
2000				58	54	45	30	20	11	6,5	4	2,5	1,5	0,60
3000				87	81	67	44	31	16,5	9,5	4,7	3,7	2,2	1,0
4000						90	59	41	22	12,5	7,5	4,7	3,0	1,2

4. На карту (план местности) нанести зоны вероятного ингаляционного поражения людей в соответствии с данными табл. 5, положение ОЭ, АЭС и другие необходимые данные (рис. 1).

Таблица 5- Размеры зон возможного ингаляционного РА облучения, км

Мощность реактора, МВт	Зона поражения						
	Диаметр круга	Легкой степени (цвет синий)		Средней степени (цвет желтый)		Тяжелой степени (цвет коричневый)	
		длина	ширина	длина	ширина	длина	ширина
440	1,9	30	3,3	20	2,5	10	1,9
1000	2,6	46	4,3	30	3,3	17	2,6
1500	2,7	55	4,8	36	3,5	21	2,7
2000	2,8	63	5,3	40	3,9	24	2,8
3000	3,3	70	5,4	50	4,5	29	3,3
4000	3,6	78	5,5	56	4,8	34	3,6

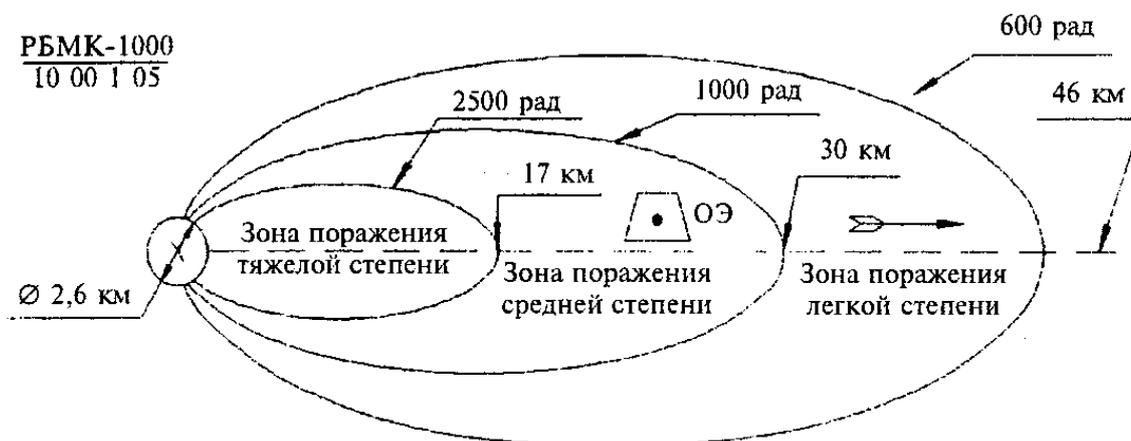


Рис. 1. Зона поражения при аварии на АЭС

4. Оценить степень поражения и срок работоспособности незащищенных людей в зависимости от полученной ими дозы ингаляционного (внутреннего) облучения по табл. 6.

Таблица 6 - Возможные потери незащищенных людей в зависимости от полученной ими дозы ингаляционного (внутреннего) облучения

Величина дозы, Гр	Потери, %	Степень поражения; срок сохранения работоспособности, сут.
3	1	Легкая; до 10
4	1,8	
5	2,8	
6	4	
7	5,5	
9	9	Средняя; до 7
10	11,3	
13	19	
16	29	
17	32,7	
18	36,6	
19	41	Тяжелая; до 7
20	45	
25	70	
27	82	
28	88	
30	100	

5. Доза внешнего облучения определяется суммированием дозы внешнего облучения ( $D'_{внш}$ ) при прохождении РА облака и дозы внешнего облучения ( $D''_{внш}$ ), полученной за время нахождения людей на зараженной местности.

5.1. Доза внешнего облучения при прохождении РА облака определяется по формуле:

$$D'_{внш} = \frac{W_{эл}}{100K_{осл}} R^{-1,2}$$

где  $K_{осл}$  - коэффициент ослабления доз радиации (табл. 7).

Таблица 7 - Коэффициенты ослабления доз радиации ( $K_{осл}$ )

На открытой местности	1
Автомобиль, крытый вагон	2
Бульдозер, автогрейдер	4
Открытые щели, траншеи	3...4

Дезактивированные щели, траншеи	20
Перекрытые щели, траншеи	40
Укрытия, убежища	400... 1000
Производственное здание, цех	5...8
Дома жилые каменные: одноэтажные трехэтажные пятиэтажные	10...13/40...50 20...30/400...600 25...50/400...600
Дома жилые деревянные: одноэтажные двухэтажные	2/7 7...13/12...16

**Примечание.** Числителем показан диапазон изменения  $K_{осл}$  для этажей дома, а знаменателем - для подвала. Нижняя граница диапазона характеризует  $K_{осл}$  нижних этажей (например, для 3-этажного цеха: 5 - для 1-го этажа, 8 - для 2-го, 6 - для 3-го). Для подвалов многоэтажных домов следует брать большее значение этого коэффициента.

Значения доз внешнего облучения при открытом расположении людей приведены в табл.8.

Таблица 8 - Дозы внешнего облучения, Гр, при открытом расположении людей

Мощность реактора, МВт	Расстояние от реактора, км							
	5	10	20	25	30	40	50	70
440	0,65	0,26	0,12	0,09	0,04	0,03	0,02	0,01
1000	1,5	0,60	0,28	0,21	0,12	0,10	0,09	0,06
1500	2,25	0,90	0,42	0,31	0,15	0,12	0,11	0,10
4000	6	2,4	1,10	0,85	0,40	0,30	0,25	0,21

Уровень радиации на территории ОЭ через час после аварии определяется по формуле:

$$P_1 = 0,54 * W_{эл} e^{-0,0165R}.$$

Уровни радиации на оси следа через 1 ч после аварии приведены в табл.9.

Таблица 9 - Уровни радиации, р/ч, на оси следа через 1 ч после аварии

Мощность реактора МВт	Расстояние от аварийного реактора, км											
	10	20	30	40	50	60	70	100	150	200	300	500
440	200	170	145	120	100	90	75	45	20	9	1,7	0,06
1000	460	390	330	280	235	200	170	100	45	20	4	0,14
1500	690	580	500	420	360	300	250	150	70	30	6	0,2
2000	920	780	660	560	470	400	340	200	90	40	8	0,3
3000	1370	1160	990	840	710	600	510	310	140	60	12	0,4
4000	1830	1150	1320	1120	950	800	680	410	180	80	15	0,55

6. Определение дозы внешнего облучения за время нахождения людей на зараженной территории выполняется по формуле

$$D_{\text{внш}}^{\text{//}} = \frac{P_{\text{вх}} + P_{\text{вых}}}{200 K_{\text{осл}}} \cdot t$$

где  $P_{\text{вх}}$ ,  $P_{\text{вых}}$  – уровни радиации на объекте в момент начала и окончания облучения людей,  $P_{\text{вх} \cdot \text{вых}} = P_I \cdot K_t$ , где  $K_t$  – коэффициент для пересчёта уровней радиации на различное время после аварии (разрушения), табл. 11.

$t$  - время нахождения людей на зараженной территории, ч.

Таблица 10 - Размеры зон РЗ при внешнем облучении, км

Мощность реактора, МВт	Г (чрезвычайно опасного)		В (опасного заражения)		Б (сильного заражения)		А (умеренного заражения)	
	длина	ширина	длина	ширина	длина	ширина	длина	ширина
440	60	7,5	140	18	200	25	340	42
1000	120	15	190	24	250	31	400	50
2000	160	20	230	29	300	37	440	55
3000	180	22	260	32	320	40	460	56
4000	200	25	270	34	340	42	480	60

Таблица 11 - Коэффициенты пересчета уровней радиации на различное время после аварии (разрушения) АЭС

$t, \text{ ч}$	$K_t$	$t, \text{ ч}$	$K_t$	$t, \text{ ч}$	$K_t$
0.5	2.3	9	0.072	18	0.031
1	1	10	0.063	20	0.027
2	0.435	11	0.056	22	0.024
3	0.267	12	0.051	24	0.022
4	0.189	13	0.046	26	0.020
5	0.145	14	0.042	28	0.018
6	0.116	15	0.039	32	0.015
7	0.097	16	0.036	36	0.013
8	0.082	17	0.033	48	0.01

Определение суммарной дозы внешнего облучения людей, оказавшихся на открытой местности, по результатам расчета (п. 5.1 и 5.2).

6. Возможные потери среди персонала от суммарного внешнего облучения определяются по табл. 12.

Таблица 12 - Суммарные людские потери от радиации, %, в зависимости от полученной ими дозы облучения

Доза облуч., Гр	При одно-разов.облучении до:	Продол-жительно-сть, Т	Время выхода из строя после начала облучения, %						Смертность облучаемых, %
			часы			сутки			
			3	6	12	1	14	30	
1	4 сут.	до 4 сут.	-	-	-	-	-	Единич. случаи	
1,25	4 сут.	до 4 сут.	-	-	-	-	-	5	
1,5	4 сут.	до 4 сут.	-	-	-	-	-	15	
1,75	4 сут.	до 30 мин	1	3	3	3	3	32	
		1 ч	-	3	3	3	3	32	
		2 ч	-	1	3	3	3	32	
		3 ч	-	1	3	3	3	32	
		6 ч	-	-	3	3	3	32	
		12 ч	-	-	1	3	3	32	
		1 сут	-	-	-	2	3	32	
		4 сут	-	-	-	1	3	32	
2	4 сут.	до 20 мин	3	5	5	5	5	50	Единичные случаи
		30 мин	2	5	5	5	5	50	
		1 ч	1	5	5	5	5	50	
		2 ч	-	1	5	5	5	50	
		3 ч	-	3	5	5	5	50	
		6 ч	-	-	5	5	5	50	
		12 ч	-	-	2	5	5	50	
		1 сут	-	-	-	4	5	50	
4 сут	-	-	-	2	5	50			
2,5	1 ч	10 мин	8	10	10	10	10	85	10
		20 мин	7	10	10	10	10	85	
		30 мин	6	10	10	10	10	85	
		1 ч	4	10	10	10	10	100	
		2 ч	1	9	10	10	10	100	
3	-	1 ч	10	20	20	20	20	100	20
		3 ч	2	15	20	20	20	100	
		12 ч	-	6	15	20	20	100	
		4 сут	-	3	7	12	20	100	
4	-	1 ч	25	40	40	40	40	100	40
		6 ч	2	16	34	40	40	100	
		12 ч	-	7	18	28	40	100	
5	-	1 ч	45	60	60	60	60	100	70
		10ч	12	33	53	60	60	100	
		4 сут	2	16	32	45	60	100	
6	-	1 ч	64	64	80	80	85	100	100
		6 ч	23	23	73	80	85	100	
		4 сут	9	9	28	48	85	100	

7. Режим спасательных работ (СиДНР) определяется по табл. 13.

Таблица 13 - Режимы СидНР при авариях на РОО

№ режима	Уровень радиации после аварии, рад/ч	Время начала после аварии, ч, мин	№ смены	Продолжительность работы смены, ч, при каждом выходе						
				1-й ВЫХОД	2-7-й ВЫХОДЫ					
1	5	0.13	1	2	8	8	8	8	8	6
			2	8	8	8	8	8	8	0
3	10	0.43	1	2	8	8	8	5,5	Смена прекращает выполнение работ после набора заданной дозы облучения	
			2	8	8	8	8	0		
			3	8	8	8	8	0		
9	40	3.46	1	2	8	8	8	Смена прекращает выполнение работ после набора заданной дозы облучения		
			2	3,4	8	8	0			
			3	6,2	8	8	0			
			4	8	8	8	0			
11	50	4.43	1	2	8	8	Смена прекращает выполнение работ после набора заданной дозы облучения			
			2	3,1	8	8				
			3	5	8	8				
			4	8	8	2,2				
			5	8	8	0				
17	150	13.08	1	2	3,6	3,8	Смена прекращает выполнение работ после набора заданной дозы облучения			
			2	2,4	4	4				
			3	2,8	4,4	4,3				
			4	3,4	4,9	4,5				
			5	4,1	5,5	5				
			6	5	6,2	0				
			7	6,1	6,9	0				
21	350	27.40	1	2	2,2	1,7	Смена прекращает выполнение работ после набора заданной дозы облучения			
			2	2,2	2,3	1,7				
			3	2,4	2,4	1,8				
			4	2,6	2,5	1,8				
			5	2,8	2,7	1,9				
			6	3,1	2,8	1,9				
			7	3,4	2,9	2				
			8	3,7	3,1	2				
			9	4,1	3,3	2,1				

### ЛИТЕРАТУРА

1. Оценка радиационной обстановки при разрушении (аварии) радиационно опасных объектов: методические указания к выполнению практической работы №2 по дисциплине "Безопасность жизнедеятельности"/Сост.:Е.А.Бедрина.-Омск: СиБАДИ, 2012.-22 с.

2. Белов П.Г. «Моделирование опасных процессов в техносфере» Москва: Издательство Академии гражданской защиты МЧС РФ. 1999. 124 с.
3. Мастрюков, Б. С. Безопасность в чрезвычайных ситуациях [Текст]: учеб. / Б.С. Мастрюков. - М.: Академия, 2003. - 336 с. - (Высшее образование). - Библиогр.: с. 328-329. - ISBN 5-7695-1294-6.
3. Гринин А.С., Новиков В.И. Экологическая безопасность. Защита территории и населения при чрезвычайных ситуациях. М.: ФАИР – Пресс, 2002.
4. СП 2.6.1.758-99 Нормы радиационной безопасности (НРБ-99).
5. ГОСТ Р 22.3.03-94. Защита населения. Основные положения.
6. ГОСТ Р 22.0.02-94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения основных понятий.

**КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ**

## 1 вариант

1. Дозиметрическая величина, равная количеству энергии, поглощенной веществом на единицу массы, называется
  1. Мощность дозы
  2. Керма
  3. Экспозиционная доза
  4. Эквивалентная доза
  5. Поглощенная доза
  
2. Единица активности
  1. Рентген
  2. Рад
  3. Зиверт
  4. Беккерель
  5. Грей
  
3. Что представляет собой альфа-излучение?
  1. Поток отрицательно заряженных элементарных частиц
  2. Поток частиц, представляющий собой положительно заряженные ядра атомов гелия
  3. Поток позитронов
  4. Поток альфа – квантов
  5. Нет правильного ответа
  
4. Каковы принципы радиационной безопасности?
  1. Принцип нормирования, принцип неперевышения допустимых пределов, принцип обоснования
  2. Принципы: оптимизации, нормирования и пользы излучения для человека (исключения риска)
  3. Принципы: опережения, оптимизации, нормирования и обоснования
  4. Принципы: оптимизации, нормирования и обоснования
  5. Нет правильного ответа
  
5. Самой низкой проникающей способностью обладает
  1. Альфа-излучение
  2. Гамма-излучение
  3. Бета-излучение.
  4. нет правильного ответа
  5. верны все ответы.

6. Для измерения дозы внешнего облучения не используют дозиметры
1. Ионизационные
  2. Люминесцентные
  3. Сцинтилляционные
  4. Фотохимические
  5. Химические
7. При дозе 10 Зв ответная реакция организма может быть:
1. Рак
  2. Гибель
  3. Любой стохастический эффект
  4. Повышение резистентности
  5. Острая лучевая болезнь первой стадии
8. При внешнем облучении наиболее опасно
1. Альфа-излучение, т.к. из всех трёх оно обладает наибольшей степенью ионизации
  2. Гамма-излучение, т.к. из всех трёх оно обладает наибольшей проникающей способностью
  3. Гамма- и бета-излучение, т.к. их проникающая способность составляет в воздухе десятки сантиметров
  4. Все ответы верны
  5. Нет верного ответа
9. Из перечисленных радионуклидов в настоящее время в организме людей, проживающих в зоне радиоактивного загрязнения, не встречается:
1. Плутоний
  2. Йод
  3. Цезий
  4. Стронций
  5. Радий
10. Клиническим симптомом, наиболее рано возникающим при острой лучевой болезни, является:
1. Выпадение волос
  2. Тошнота и рвота
  3. Эритема кожи
  4. Жидкий стул
  5. Лейкопения

11. Что такое естественный радиационный фон?

1. Ионизирующее излучение, характерное для данной местности
2. Излучение от естественных и искусственных радиоактивных элементов, находящихся в данной местности
3. Излучение, обусловленное присутствием естественных радиоактивных элементов в воздухе, почве, воде и космическим излучением, характерным для данной местности
4. Все вышеперечисленные ответы правильные
5. Все ответы неправильные

12. Как осуществляется профилактика радиационных поражений?

1. За счёт санитарно-гигиенических, санитарно-технических и лечебно-профилактических мероприятий
2. За счёт санитарно-гигиенических(НРБ), санитарно-технических (ОСП) и лечебно-профилактических мероприятий(ЛПП)
3. За счёт санитарно-гигиенических, санитарно-технических и медико-профилактических мероприятий
4. За счёт санитарно-гигиенических(НРБ), санитарно-технических (ОСП) и специальных медицинских мероприятий (ЛПП)
5. За счёт санитарно-гигиенических, санитарно-технических и профилактических мероприятий

13. Основные принципы защиты медицинского персонала от внешнего облучения

1. Защита временем
2. Защита расстоянием
3. Защита экранами
4. Все ответы правильные
5. Нет правильного ответа

14. Основная опасность для медицинского персонала при рентгеновских исследованиях

1. Внешнее облучение
2. Внутреннее облучение
3. Слепящее действие рентгеновского пучка
4. Неблагоприятный микроклимат
5. Нет правильного ответа

15. Взвешивающие коэффициенты для тканей и органов «стандартного человека» используют при расчете дозы:

1. Экспозиционной
2. Поглощенной
3. Эквивалентной

4. Эффективной
  5. Амбиентной
16. При работе с радиоактивными веществами в закрытом виде не применяют следующие меры защиты
1. Защита временем
  2. Защита расстоянием
  3. Защита количеством
  4. Защита экранами
  5. Использование индивидуальных средств защиты
17. НРБ-99/2009 устанавливают категории облучаемых лиц:
1. Категории А, Б и В
  2. Персонал групп А и Б
  3. Персонал и ограниченная часть населения
  4. Персонал и население
  5. Персонал и пациенты
18. Какова физическая сущность гамма-излучения?
1. Поток квантов
  2. Поток позитронов
  3. Поток нейтрино
  4. Поток электронов, позитронов и нейтрино
  5. Поток квантов, электронов, позитронов и нейтрино
19. Какие гигиенические разделы, направления или аспекты охватывает радиационная гигиена?
1. коммунальная гигиена, гигиена труда
  2. гигиена детей и подростков
  3. гигиеническое нормирование
  4. диетическое питание
  5. гигиена одежды и обуви
20. Под радиоактивностью понимают:
1. радиоактивные превращения химических элементов
  2. совокупность тормозного и характеристического фотонного излучения с непрерывным энергетическим спектром
  3. процесс распада химических элементов
  4. способность некоторых атомных ядер самопроизвольно превращаться в другие ядра с испусканием частиц и фотонов
  5. все ответы являются правильными
21. Атомная энергия впервые вошла в жизнь человечества через гибель сотен тысяч людей при испытаниях на:

1. Хиросиме и Нагасаки (Япония)
  2. на Семипалатинском ядерном полигоне
  3. полигоне Капустин Яр
  4. полигоне Азгыр
  5. полигоне Лобнор (Китай)
22. Изучение радиационной гигиены направлено на решение следующих профессиональных задач:
1. для правильного понимания взаимодействия организма и среды в условиях профессиональной деятельности и проживания людей
  2. для постановки диагноза онкобольным
  3. для проведения дезинфекции на объектах
  4. для проведения дегазации объектов среды в условиях профессиональной деятельности
  5. для проведения дератизации и дезинсекции
23. Одним из основных разделов радиационной гигиены является:
1. гигиена труда при работе с ИИИ
  2. гигиена труда при работе с ЭМП
  3. гигиена труда при работе с источниками УФО
  4. гигиена воды и водоснабжения
  5. гигиена питания
24. К одной из задач радиационной гигиены относится:
1. изучение условий труда и заболеваемости лиц, контактирующих с ИИИ
  2. изучение условий труда и заболеваемости лиц, контактирующих с ЭМП
  3. изучение заболеваемости лиц, контактирующих с источниками УФО
  4. разработка мер по предупреждению загрязнения окружающей среды химическими отходами
  5. осуществление контроля за проведение дегазации объектов среды
25. В задачи радиационной гигиены не входит:
1. гигиеническое нормирование уровней ЭМП
  2. изучение условий труда и заболеваемости лиц, контактирующих с ИИИ
  3. создание комплекса общих и индивидуальных мер по защите от неблагоприятного действия ИИ
  4. осуществление контроля за радиологической чистотой окружающей среды (воздуха, водоемов, почвы, пищевых продуктов)
  5. разработка мер по предупреждению загрязнения окружающей среды радиоактивными отходами
26. Радиационному контролю подвергаются пищевые продукты на содержание:

1. стронция-90 и цезия-137
  2. иода-131
  3. калия-40
  4. радия-226
  5. урана-238
27. Какие растительные продукты больше поглощают техногенные радионуклиды из почвы и обладают наибольшими кумулятивными свойствами?
1. картофель и пшеница
  2. яблоки
  3. лук
  4. земляника
  5. фасоль
28. Каким методом проводят концентрирование пищевых продуктов животного происхождения?
1. методом термического концентрирования
  2. методом кислотного озоления
  3. методом кислотного створаживания
  4. метод озонирования
  5. холодной метод
29. Как называется фон, действующий на человека на поверхности земли от природных источников?
1. технологически измененный естественный
  2. искусственный
  3. естественный
  4. радиоактивный от продуктов ядерного взрыва
  5. атомный аварийный
30. Как называется фон, претерпевший определенные изменения в результате деятельности человека?
1. естественный
  2. искусственный
  3. атомный аварийный
  4. технологически измененный естественный
  5. радиоактивный

## 2 вариант

1. Дозиметрическая величина, равная количеству ионов с отрицательным зарядом, деленному на массу воздуха в ионизационной камере, называется:
  1. поглощенная доза
  2. мощность дозы
  3. керма
  4. экспозиционная доза
  5. эквивалентная доза.
  
2. Поглощенной дозе 1 Грей рентгеновского излучения соответствует эквивалентная доза, равная:
  1. 10 Зиверт
  2. 100 Зиверт
  3. 1 Зиверт
  4. 0,1 Зиверт
  5. Нет правильного ответа.
  
3. Самой высокой проникающей способностью обладает
  1. Альфа-излучение
  2. Гамма-излучение
  3. Бета-излучение
  4. нет правильного ответа
  5. верны ответы 1 и 2
  
4. Основными принципами обеспечения радиационной безопасности персонала и населения являются:
  1. принцип нормирования
  2. принцип оптимизации
  3. принцип обоснования
  4. ответы 1), 2) и 3) правильные
  5. нет правильного ответа.
  
5. Защита от внешнего гамма-излучения спецодеждой:
  1. Нецелесообразна, т.к. спецодежда не экранирует организм от воздействия гамма-излучения
  2. Нецелесообразна, т.к. спецодежда не уменьшает степень воздействия гамма-излучения на кожу
  3. Нецелесообразна, т.к. гамма-излучение обладает высокой проникающей способностью и спецодежда для него не помеха
  4. Верны ответы 1 и 3
  5. Все ответы не верны

6. Какова проникающая способность альфа-излучения в воздухе? в тканях человека?
1. В воздухе - десятки см, в биологических тканях-десятки мкм.
  2. В воздухе - сантиметры, в биологических тканях - десятки мкм.
  3. В воздухе - до полуметра, в биологических тканях - несколько см.
  4. В воздухе - метры, в биологических тканях - десятки см.
  5. Нет правильного ответа.
7. При дозе в 0,1 Зв:
1. возможна ОЛБ легкой формы
  2. возможна ОЛБ средней формы
  3. возможна лучевая катаракта
  4. возможно повышение резистентности организма
  5. нет правильного ответа
8. К принципам радиоактивной безопасности не относится
1. принцип нормирования
  2. принцип оптимизации
  3. принцип обоснования
  4. принцип непревышения допустимых пределов
  5. варианты 1, 2 и 3
9. При острой лучевой болезни клинические изменения обязательно имеют место в следующей системе
1. сердечно-сосудистой системе
  2. системе органов кроветворения
  3. иммунной системе
  4. центральной нервной системе
  5. пищеварительной системе
10. В результате аварии на ЧАЭС воздействию радиоактивного йода подверглись следующие контингенты:
1. все ликвидаторы аварии
  2. ликвидаторы и население, находившееся в зоне радиоактивного загрязнения в первые два месяца после аварии
  3. ликвидаторы 1987-1990 гг.
  4. дети, родившиеся в зоне радиоактивного загрязнения после 1987 г.
  5. нет правильного ответа.
11. Излучение от радиоактивного источника происходит в направлении
1. перпендикулярном источнику
  2. во всех направлениях
  3. перпендикулярном к облучаемому объекту

4. градиента радиоактивности
  5. против градиента радиоактивности
12. Что такое радиоактивность?
1. Это радиоактивные превращения химических элементов
  2. Это совокупность тормозного и характеристического фотонного излучения с непрерывным энергетическим спектром
  3. Это процесс распада химических элементов
  4. Это способность некоторых атомных ядер самопроизвольно превращаться в другие ядра с испусканием частиц и фотонов
  5. Нет правильного ответа
13. Вид излучения, обладающий самой высокой проникающей способностью:
1.  $\alpha$ -излучение;
  2.  $\beta$ -излучение;
  3. рентгеновское излучение;
  4. космическое излучение
  5. все перечисленное верно.
14. В отделениях открытых источников защита медперсонала должна осуществляться по следующим направлениям
1. защита органов дыхания и кожи от попадания радиоактивных веществ
  2. защита от внешнего облучения
  3. правильное планировочное решение отделения
  4. применение индивидуальных средств защиты
  5. все ответы правильные.
15. Максимальное значение взвешивающего коэффициента для органов и тканей установлено для:
1. грудной железы
  2. щитовидной железы
  3. легких
  4. гонад
  5. красного костного мозга
16. Взвешивающие коэффициенты для отдельных видов ионизирующих излучений используют при расчете дозы:
1. экспозиционной
  2. поглощенной
  3. эквивалентной
  4. эффективной
  5. амбиентной.
17. Лица, привлекаемые для проведения аварийных и спасательных работ, в соответствии с НРБ-99/2009:
1. приравниваются к персоналу группы А

2. приравниваются к персоналу группы Б
  3. приравниваются к персоналу группы А и должны дать письменное согласие на проведение этих работ
  4. приравниваются к персоналу группы Б, но должны дать письменное согласие на проведение этих работ
  5. должны дать письменное согласие на проведение этих работ
18. Для количественной оценки ИИ используется понятие:
1. доза
  2. концентрация
  3. активность
  4. масса
  5. вес.
19. Перечислите группу органов, относящихся к I критической группе:
1. гонады, красный костный мозг
  2. мышцы, печень
  3. ЖКТ, лодыжка
  4. красный костный мозг, кожа
  5. печень, почка
20. К какой группе критических органов относится печень и почки?
1. I
  2. II
  3. III
  4. IV
  5. V
21. Доза внешнего облучения обратно пропорциональна:
1. квадрату расстояния
  2. мощности дозы
  3. времени облучения
  4. активности
  5. потоку излучения
22. К категории «персонал» группы А относятся врачи по специальности:
1. рентгенолог
  2. акушер - гинеколог
  3. терапевт
  4. педиатр
  5. стоматолог
23. Что не относится к экранам индивидуальных средств защиты?
1. щиток из оргстекла
  2. смотровые стекла пневмотостюмов

3. просвинцованный фартук
4. просвинцованные перчатки
5. марлевая маска

24. Виды организаций санитарного надзора при обеспечении радиационной безопасности:

1. регулярный
2. предупредительный и заключительный
3. предупредительный и текущий
4. в зависимости от положения
5. заключительный

25. Остаточная активность:

1. радиоактивная загрязняемость
2. восприимчивость к загрязнению
3. дезактивируемость поверхности материалов
4. активность частичная
5. диапазон энергии излучения

26. Какие органы и ткани по степени радиочувствительности относятся к первой критической группе:

1. тазовые органы
2. красный костный мозг
3. кисти, стопы
4. паренхиматозные органы
5. грудная полость

27. В зависимости от каких свойств различают  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  излучения:

1. проникаемость
2. капиллярность, поглощение
3. гигроскопичность
4. интенсивность, энергия излучения
5. ионизирующая, проникающая способности

28. Рентгеновское излучение по своим свойствам сходно с:

1.  $\alpha$  – излучением
2.  $\beta$  - излучением
3.  $\gamma$  - излучением
4.  $\alpha$ - $\beta$  - излучением
5.  $\beta$ - $\gamma$  – излучением

29. От чего зависит радиотоксичность изотопа?

1. от вида радиоактивного превращения
2. от влажного воздуха
3. от скорости ветра

4. от температуры окружающей среды
5. от расстояния источника

30. Какой закон существует в радиационной гигиене?

1. закон радиоактивного распада
2. закон сохранения массы вещества
3. закон сохранения энергии
4. закон Джоуля
5. закон радиоактивности

3 вариант

1. Дозиметрическая величина, равная произведению поглощенной дозы на коэффициент качества (взвешивающий фактор излучения), называется:
  1. экспозиционная доза
  2. керма
  3. мощность дозы
  4. эквивалентная доза
  5. поглощенная доза
  
2. Единицей измерения экспозиционной дозы является:
  1. Бэр
  2. Грей
  3. Рентген
  4. Рад
  5. Зиверт
  
3. Что представляет собой бета-излучение?
  1. Поток фотонов
  2. Поток отрицательно заряженных элементарных частиц
  3. Поток отрицательно заряженных элементарных частиц и нейтрино
  4. Поток отрицательно и положительно заряженных элементарных частиц (электронов и позитронов)
  5. Нет правильного ответа
  
4. Соблюдение норм радиационной безопасности приводит к:
  1. предотвращению возникновения детерминированных и стохастических эффектов
  2. ограничению вероятности появления детерминированных и стохастических эффектов
  3. предотвращению возникновения детерминированных и ограничению вероятности появления стохастических эффектов
  4. ограничению вероятности появления детерминированных и предотвращению возникновения стохастических эффектов
  5. гарантированному предотвращению всех неблагоприятных эффектов
  
5. При облучении населения природными источниками излучения допустимое значение эффективной дозы, обусловленной суммарным воздействием этих источников:
  1. не устанавливается
  2. не должна превышать 1 мЗв в год
  3. не должна превышать 5 мЗв в год
  4. не должна превышать 1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год

5. не должна превышать 5 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 1 мЗв в год
  
6. Взвешивающий коэффициент излучения превышает единичное значение для:
  1. фотонов тормозного излучения
  2. электронов
  3. нейтронов
  4. гамма-квантов
  5. позитронов
  
7. Следствие эквивалентной дозы в 0,1 Зв.
  1. возможна ОЛБ легкой формы
  2. возможна ОЛБ средней формы
  3. возможна лучевая катаракта
  4. возможны лишь стохастические эффекты
  5. нет правильного ответа
  
8. Какие меры защиты применяются при работе с радиоактивными веществами в закрытом виде?
  1. Защита временем
  2. Защита расстоянием
  3. Защита количеством
  4. Защита экранами
  5. Все варианты правильные
  
9. «Малыми» принято называть дозы
  1. меньшие, чем допустимые дозы облучения
  2. не вызывающие хромосомных повреждений
  3. не вызывающие лучевой болезни
  4. не вызывающие специфических изменений в отдельном организме, а вызывающие статистически выявленные изменения в состоянии здоровья группы
  5. не вызывающие генных поломок
  
10. Степень тяжести лучевого поражения определяется:
  1. степенью угнетения кроветворения
  2. количеством "горячих" частиц в легких
  3. количеством радионуклидов в организме
  4. содержанием радионуклидов на месте облучения
  5. нет правильного ответа
  
11. Относительная биологическая эффективность в зависимости от линейной передачи энергии:

1. уменьшается с ростом линейной передачи энергии по экспоненциальной зависимости
  2. растет безгранично с увеличением линейной передачи энергии
  3. уменьшается с ростом линейной передачи энергии по линейной зависимости
  4. растет, достигая насыщения
  5. растет, достигая максимума, а затем снижается
12. Какие органы и системы органов поражаются ионизирующей радиацией в первую очередь?
1. ЦНС и ССС
  2. Кожа и легкие
  3. Щитовидная железа
  4. Почки
  5. Гонады и органы кроветворения
13. Принцип защиты при работе с радиоактивными веществами в закрытой зоне:
1. защита количеством
  2. защита временем
  3. использование индивидуальных средств защиты
  4. верны ответы 1 и 2
  5. верны ответы 1, 2 и 3
14. Если за 2 суток активность радионуклида уменьшилась в 8 раз, то период полураспада составит:
1. 12 ч
  2. 16 ч
  3. 18 ч
  4. 20 ч
  5. 24 ч
15. Дозиметрические приборы, предназначенные для инспекционного радиационного контроля, должны проходить метрологическую поверку:
1. два раза в год
  2. один раз в год
  3. один раз в два года
  4. ежеквартально
  5. только при неисправной работе
16. В соответствии с НРБ-99/2009 годовая эффективная доза более 50 мЗв характеризует зону:
1. радиационного контроля
  2. отселения
  3. отчуждения
  4. ограниченного проживания

5. добровольного отселения

17. Основным путем поступления радионуклидов в организм человека в условиях среды обитания является:

1. с продуктами питания
2. с водой
3. с воздухом
4. через кожу
5. через слизистые оболочки

18. Какой документ не относится к основным законодательным документам, которым руководствуется врач по радиационной гигиене?

1. Нормы радиационной безопасности
2. Закон «О санитарно-эпидемиологического благополучии населения»
3. Закон «О радиационной безопасности населения»
4. Сборник санитарных правил и норм по радиационной гигиене
5. Постановления «О радиационной защите»

19. Где производится дезактивация предметов, загрязненных радиоактивными веществами ?

1. в домашних условиях
2. в специальных прачечных
3. достаточно помыть мылом
4. достаточно почистить химическими веществами
5. достаточно использовать порошок «новость»

20. Какие моющие средства используются при дезактивации комнат?

1. вода, трилон Б, натрий
2. вода, сода
3. мыло, стиральный порошок
4. адсорбенты
5. окислители, хозяйственное мыло

21. Каким материалом берут мазок для радиологического исследования поверхности?

1. марлевым тампоном
2. губкой
3. тампоном, смоченным кислотой
4. марлевым тампоном с рН- 5,5
5. ватным тампоном с рН- 7,4

22. Через сколько периодов полураспада радиоизотоп полностью распадается:

1. 5
2. 10

3. 100
4. 50
5. 8

23. Выберите группу методов, применяемых в радиационной гигиене:

1. радиохимический, радиометрический, дозиметрический
2. радиохимический, радиометрический, радиолокационный
3. спектрометрический, электронный, механический
4. химический, микроскопический, дозиметрический
5. термический, радиохимический, биологический

24. Что не относится к корпускулярным частицам?

1.  $\alpha$ - частицы
2.  $\beta$ - частицы
3. нейтроны
4. мезоны
5. рентгеновские лучи

25. Что подразумевается в радиационной гигиене под термином «радиация»

1. ионизирующее излучение
2. неионизирующее излучение
3. ультрафиолетовое излучение
4. инфракрасное излучение
5. световое излучение

26. В переводе с латинского «радиация» означает:

1. отблеск
2. сияния, блеск
3. излучение, облучение
4. токсичность
5. свечение

27. Что изучает «радиобиологическое направление» в радиационной гигиене:

1. ионизирующие излучения и уровни облучения
2. эффекты и последствия воздействия ИИ на здоровье человека
3. облучение персонала и населения
4. занимается разработкой практических мер защиты от ИИ
5. изучает содержание радионуклидов в объектах окружающей среды

28. Дозиметрическое направление в радиационной гигиене:

1. изучает ИИ и уровни облучения
2. изучает эффекты и последствия воздействия ИИ на здоровье человека
3. изучает содержание радионуклидов в организме человека
4. занимается разработкой практических мер защиты от ИИ
5. изучает содержание радионуклидов в объектах ОС

29. Какое радиоактивное вещество относится к короткоживущим?

1. цезий-137
2. стронций-90
3. уран
4. радон
5. иод-131

30. Какое вещество относится к долгоживущим радионуклидам?

1. иод- 131
2. натрий- 24
3. калий-39
4. стронций -90
5. иод-129

#### 4 вариант

1. Дозиметрическая величина, равная дозе, создаваемой вторичными электронами, возникающими при взаимодействии рентгеновского излучения с веществом, называется:

1. керма
2. мощность дозы
3. поглощенная доза
4. экспозиционная доза
5. эквивалентная доза

2. Единицей измерения эквивалентной дозы является:

1. Грей и рад
2. бэр и зиверт
3. рад и бэр
4. зиверт и грей
5. нет правильного ответа

3. Что представляет собой гамма-излучение?

1. Поток квантов
2. Поток позитронов
3. Поток нейтрино
4. Поток электронов, позитронов и нейтрино
5. Нет правильного ответа

4. Активность  $^{99}\text{Tc}$  (период полураспада  $T=6$  ч) по прошествии суток уменьшится в:
1. 4 раза
  2. 8 раз
  3. 16 раз
  4. 18 раз
  5. 24 раза
5. При проведении противорадиационного вмешательства устанавливаются:
1. основные пределы доз
  2. уровни вмешательства
  3. допустимые пределы доз
  4. контрольные уровни
  5. референтные уровни
6. Наиболее весомый вклад в дозу облучения населения от природных источников вносят:
1. радий
  2. уран
  3. радон и его продукты распада
  4. полоний
  5. цезий
7. Ионизирующее излучение в «малых дозах»:
1. вызывает лишь слабые ответные реакции
  2. может вызывать бурный ответ организма
  3. может вызывать нестохастические реакции
  4. может вызывать состояние горемезиса
  5. нет правильного ответа
8. Детерминированные эффекты в результате однократного облучения могут возникать при дозах, превышающих:
1. 0,25 Гр при облучении головного мозга
  2. 0,17 Гр в гонадах у молодых мужчин
  3. 0,2 Гр при облучении области живота у беременной женщины
  4. 0,5-1 Гр облучении красного костного мозга
  5. все ответы правильные
9. Число случаев острой лучевой болезни в настоящее время во всем мире составляет:
1. несколько сотен
  2. несколько миллионов
  3. несколько десятков
  4. несколько тысяч
  5. нет правильного ответа

10. Пороговая доза для развития острой лучевой болезни составляет:
1. 1 Гр
  2. 4 Гр
  3. 0,5 Гр
  4. 3 Гр
  5. 2 Гр
11. Защита от излучения рентгеновского аппарата необходима:
1. в течение рабочего дня
  2. только во время генерирования рентгеновского излучения
  3. круглосуточно
  4. только во время рентгеноскопических исследований
  5. нет правильного ответа
12. Назовите экранирующие материалы от нейтронного излучения:
1. Свинец
  2. Бетон
  3. Полимерные материалы
  4. Алюминий
  5. Слой бумаги
13. При авариях на ядерных объектах пострадавшим вводят препараты йода с целью
1. стимулировать регуляторные процессы
  2. усилить бактерицидность тканей
  3. предотвратить гипоплазию щитовидной железы
  4. повысить резистентность организма
  5. усилить протекторный эффект
14. Эффективная доза за счет естественных радионуклидов в питьевой воде не должна превышать (минимальное значение, мЗв/год):
1. 0,2
  2. 0,5
  3. 0,75
  4. 1,0
  5. не регламентируется
15. Для целей группового радиационного контроля используются дозиметры:
1. индивидуальные
  2. носимые
  3. переносные
  4. стационарные
  5. передвижные

16. В соответствии с НРБ-99/2009 годовая эффективная доза от 20 до 50 мЗв характеризует зону:

1. добровольного отселения
2. отселения
3. отчуждения
4. радиационного контроля
5. ограниченного проживания

17. Отношение удельной активности одной среды по отношению к другой называется:

1. коэффициент ослабления
2. коэффициент накопления
3. коэффициент качества
4. взвешивающий коэффициент
5. коэффициент дискриминации

18. Вклад радона и продуктов его распада в эффективную дозу от естественных источников излучения в среднем составляет (%):

1. 5
2. 10
3. 20
4. 60
5. 75

19. Для  $\gamma$ -излучения верны следующие характеристики:

1. обладает большой линейной плотностью ионизации
2. длина пробега квантов в воздухе достигает нескольких сот метров
3. не обладает зарядом и массой
4. верны ответы 2 и 3
5. верны ответы 1, 2 и 3

20. Для учета биологической эффективности разных видов ионизирующего излучения для человека используется:

1. постоянная распада
2. взвешивающий коэффициент
3. линейная плотность ионизации
4. гамма-постоянная
5. линейная передача энергии

21. Для контроля качества деталей производится гамма-дефектоскопия с помощью кобальтового дефектоскопа. Определите вид и опасность используемого источника для дефектоскописта.

1. Открытый
2. Неизотопный

3. Периодически генерирующий излучение
  4. Опасно внутреннее облучение
  5. Закрытый, вызывающий внешнее облучение
22. Кислородный эффект отсутствует при действии на организм:
1.  $\alpha$ -излучения
  2.  $\beta$ -излучения
  3.  $\gamma$ -излучения
  4. рентгеновское излучения
  5. нейтронного излучения
23. Что такое радиопротекторы?
1. Химические вещества, усиливающие иммунитет у человека
  2. Химические вещества, снижающие степень радиационного поражения человека
  3. Химические вещества, способствующие увеличению периода максимальной работоспособности
  4. Химические вещества, чувствительные к действию ионизирующих излучений
  5. Химические вещества, способствующие увеличению периода полураспада радионуклидов
24. Почему облучение нейтронами опасно для человека?
1. Потому, что нейтроны вызывают в теле человека (в его атомах) наведенную радиоактивность
  2. Потому, что нейтроны обладают высокой проникающей способностью и насквозь пронизывают тело человека
  3. Потому, что нейтроны в организме человека вызывают аллергические реакции
  4. Потому, что нейтроны обладают выраженной ионизирующей способностью
  5. Потому, что нейтроны, имея нулевой заряд, обладают выраженной проникающей и ионизирующей способностью
25. Источники загрязнения окружающей среды искусственными радионуклидами
1. рентгенодиагностические процедуры
  2. предприятия ядерно-топливного цикла, применение и испытание ядерного оружия, медицинские диагностические процедуры
  3. продукты сгорания органического топлива
  4. космические излучения
  5. почвенный воздух
26. Алиментарная профилактика отдаленных эффектов действия радиации базируется на уменьшении перекисной чрезмерности процессов обмена. С

целью предоставления рациону радиопротекторных свойств его обогащают веществами, имеющими антиоксидантное действие и ограничивают пищевые вещества с прооксидантными свойствами. Какие из перечисленных веществ следует уменьшить в пищевом рационе, как прооксиданты?

1. Токоферол
2. Аскорбиновая кислота
3. Бета-каротин
4. Селен
5. Кальциферол

27. В результате аварии на АЭС, которая сопровождалась выбросом радиационного топлива в атмосферу, состоялось загрязнение большой территории радионуклидами, которые привело к повышению фона ионизирующего излучения. Увеличение каких заболеваний у населения, проживающего на этих территориях, следует ожидать в будущем

1. Заболевания желудочно-кишечного тракта
2. Сердечно-сосудистые заболевания
3. Новообразования злокачественные
4. ЛОР – заболевания
5. Глазные болезни

28. К радиологическому отделу городского ЦГиЭ обратился фермер А. с просьбой провести анализ картофеля на содержание радионуклидов и выдать гигиеническое заключение относительно возможной реализации готовой продукции. Результаты анализа показали, что содержание радионуклеидов цезия-137 в картофеле равняется 40 Бк/кг, а стронция-90 - 8 Бк/кг.

Определите наиболее правильный вариант заключения.

1. Картофель может употребляться лишь на корм скоту
2. Картофель может употребляться без ограничений
3. Картофель может быть использован для производства этилового спирта
4. Картофель может быть использован для производства крахмала
5. Картофель может быть использован для производства чипсов

29. Наибольшая концентрация радона отмечается в:

1. приземном слое воздуха зимой
2. приземном слое воздуха летом
3. воздухе над океаном
4. почвенном воздухе
5. в верхних слоях атмосферы

30. Имеют заряд, но не обладают атомной массой следующие радиоактивные частицы:

1.  $\alpha$ -частицы
2. электроны
3. позитроны

4. ответ 1 и 2
5. ответ 2 и 3

## 5 вариант

1. Дозиметрическая величина, равная дозе за единицу времени, называется:
  1. керма
  2. поглощенная доза
  3. экспозиционная доза
  4. эквивалентная доза
  5. мощность дозы
  
2. Единицей измерения поглощенной дозы является:
  1. Бэр и зиверт
  2. Рентген и бэр
  3. рад и грей
  4. грей и зиверт
  5. нет правильного ответа
  
3. Какова физическая сущность рентгеновского излучения?
  1. Поток отрицательно заряженных элементарных частиц (электронов)
  2. Поток отрицательно и положительно заряженных элементарных частиц (электронов и позитронов)
  3. Поток фотонов
  4. Поток отрицательно заряженных элементарных частиц и нейтрино
  5. Нет правильного ответа
  
4. К источникам излучения непрерывного действия относятся:
  1. ускорители заряженных частиц
  2. аппараты для  $\gamma$ -дефектоскопии
  3. рентгеновские аппараты
  4. установки «Пульмоскан»
  5. все ответы верны
  
5. Суммарная бета-радиоактивность питьевой воды не должна превышать (минимальное значение, Бк/кг):
  1. 0,1
  2. 1,0
  3. 0,01
  4. 10,0
  5. 100,0
  
6. Отдаленные нестохастические эффекты лучевого воздействия – это:
  1. хроническая лучевая болезнь
  2. сокращение продолжительности жизни
  3. рак
  4. лейкоз
  5. врожденные уродства потомства

7. Прогнозируемый уровень облучения всего тела за двое суток аварии, при котором безусловно необходимо срочное вмешательство, составляет (Гр):

1. 0,01
2. 0,05
3. 0,1
4. 0,5
5. 1,0

8. При проведении профилактических рентгенологических исследований предел годовой эффективной дозы установлен на уровне:

1. 5 мЗв
2. 300 мЗв
3. 3 мЗв
4. 30 мЗв
5. 1 мЗв

9. В 1986 г наиболее высокие дозы облучения щитовидной железы чаще всего встречались у следующих контингентов:

1. школьники
2. взрослое население
3. подростки
4. дошкольники
5. ликвидаторы

10. Минимальная доза излучения, вызывающая развитие хронической лучевой болезни, составляет:

1. 0,5 Гр
2. любая
3. 0,1 Гр
4. 1 Гр
5. 1,5 Гр

11. Поглощенная доза в исследуемом органе или области тела формируется главным образом за счет:

1. излучения, рассеянного на металлических частях штатива
2. рабочего пучка рентгеновского излучения
3. излучения, рассеянного в теле пациента
4. все ответы верны
5. нет правильного ответа

12. Назовите экранизирующие материалы от бета-излучения:

1. Бетон
2. Свинец
3. Алюминий

4. Кадмий
5. Тяжелая вода

13. Под радиопротекторами понимают

1. Химические вещества, усиливающие иммунитет у человека
2. Химические вещества, снижающие степень радиационного поражения человека
3. Химические вещества, способствующие увеличению периода максимальной работоспособности
4. Химические вещества, чувствительные к действию ионизирующих излучений
5. Нет правильного ответа

14. Пробег альфа-частиц, испускаемых радиоизотопными источниками в мышечной ткани, в среднем составляет:

1. единицы микрон
2. десятки микрон
3. сотни микрон
4. около 1 мм
5. около 10 мм

15. Для оценки радиационной опасности облучения пациентов при проведении рентгенорадиологических процедур используют значения дозы:

1. экспозиционной
2. поглощенной
3. эквивалентной
4. эффективной
5. AMBIENTНОГО эквивалента дозы

16. В соответствии с НРБ-99/2009 годовая эффективная доза от 5 до 20 мЗв характеризует зону:

1. радиационного контроля
2. ограниченного проживания
3. добровольного отселения
4. отселения
5. отчуждения

17. Максимум концентрации радона регистрируется:

1. приземном слое воздуха зимой
2. приземном слое воздуха летом
3. воздухе над океаном
4. почвенном воздухе
5. в верхних слоях атмосферы

18. Взаимодействие радиации с атомами вызывает:

1. Радиоактивность
  2. ионизацию
  3. фоновую радиацию
  4. заражение
  5. все ответы верны
19. Мощность дозы с увеличением расстояния до объекта
1. увеличивается обратно пропорционально квадрату расстояния
  2. увеличивается прямо пропорционально квадрату расстояния
  3. не изменяется
  4. уменьшается прямо пропорционально квадрату расстояния
  5. уменьшается обратно пропорционально квадрату расстояния
20. Для блокады щитовидной железы стабильным йодом чаще всего используется
1. морская капуста
  2. иодированная поваренная соль
  3. иодид калия
  4. антиструмин
  5. все ответы верны
21. Что из защитной одежды снимается последним
1. чехлы для обуви
  2. респиратор
  3. внутренние перчатки
  4. халат
  5. нет правильного ответа
22. На месте радиационной аварии критерием для установления контрольной линии для ограничения загрязненной радиоактивными материалами зоны является...
1. расстояние в 5 метров от места аварии,
  2. мощность дозы 2 мР/ч
  3. мощность дозы 10 Гр/ч
  4. отсутствие дымов и запахов
  5. нет правильного ответа
23. Какие части тела или органы исследуются на аппарате СИЧ?
1. щитовидная железа, все тело, легкие
  2. легкие, печень, почки
  3. голова, органы малого таза, легкие
  4. верхние конечности, нижние конечности
  5. щитовидная железа, поджелудочная железа
24. Для каких целей используются переносные дозиметрические приборы?

1. для санитарно- эпидемиологического контроля
  2. для санитарно- дозиметрического контроля
  3. для бактериологического контроля
  4. для определения радиоактивных веществ на руках работающих
  5. для санитарно- химического контроля
25. Какие продукты в обязательном порядке подвергаются радиологическому исследованию?
1. молоко, мясо
  2. крупы, рыба
  3. конфеты, печенье
  4. консервы, концентраты
  5. вода, колбасные изделия
26. В качестве моющих средств для дезактивации помещений применяются:
1. контакт Петрова
  2. 5% раствор хлорамина
  3. 0,5% раствор хлорамина
  4. дезинфицирующий порошок
  5. раствор щелочи
27. К мероприятию «предварительный санитарный надзор» относится:
1. участие в отводе участков под строительство объектов, использующих радиоактивные источники
  2. контроль за полученной дозой облучения персонала в процессе работы
  3. контроль за транспортировкой и хранением радиоактивных веществ
  4. выборочный контроль рентгеновских кабинетов
  5. выборочный контроль лабораторных кабинетов
28. В зависимости от уровня удельной эффективной активности все стройматериалы делятся на:
1. 2 класса
  2. 3 класса
  3. 4 класса
  4. 5 класса
  5. 10 классов
29. Метод исследования, заключающийся в получении рентгеновского изображения с флюоресцентного экрана:
1. флюорография
  2. рентгенография
  3. рентгеноскопия
  4. МРТ
  5. компьютерная томография

30. К какой категории потенциальной опасности радиационных объектов относятся рентгеновские кабинеты?

1. I категория
2. II категория
3. III категория
4. IV категория
5. V категория

**Вопросы к зачету по дисциплине «Радиационная эпидемиология и гигиена»**

1. Радиационная гигиена как наука. История становления и развития.
2. Применение радионуклидов и ионизирующих излучений в науке и на практике.
3. Цели и принципы радиационной безопасности. Законодательная и нормативная база в области радиационной защиты.
4. Основные дозовые пределы.
5. Ограничение облучения населения.
6. Гигиена труда при работе с закрытыми источниками ионизирующих излучений.
7. Гигиена труда при работе с открытыми источниками ионизирующих излучений.
8. Гигиена труда при использовании источников ионизирующих излучения в промышленности и медицине. Радиационный контроль.
9. Природный радиационный фон.
10. Гигиеническая характеристика потенциальных источников загрязнения окружающей среды.
11. Радиационные аварии. Охрана окружающей среды от радиоактивных загрязнений.
12. Медицинские последствия облучения населения.
13. Последствия крупномасштабной ядерной аварии в Беларуси.
14. Индивидуальный и коллективный пожизненный риск возникновения стохастических эффектов при воздействии ионизирующего излучения.
15. Концепция приемлемого риска. Критерии приемлемости риска
16. Основы оценки значимости радиационных эффектов.
17. Модели риска. Оценка радиационных и техногенных рисков.
18. Обязательные условия для проведения заслуживающих доверия научных исследований по оценке радиационного риска.
19. Концепция "польза-вред" и обеспечение радиационной защиты. ALARA-принцип.
20. Концепции нормирования и приемлемости риска. Управление риском.

Учреждение образования  
«Международный государственный экологический институт  
имени А. Д. Сахарова»  
Белорусского государственного университета

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора по учебной и  
воспитательной работе

МГЭИ имени А. Д. Сахарова БГУ



В. И. Красовский

2016 г.

Регистрационный № УД- 24-2016 /уч.

**РАДИАЦИОННАЯ ЭПИДЕМИОЛОГИЯ И ГИГИЕНА**

Учебная программа учреждения высшего образования по учебной  
дисциплине для специальности:

**1 - 33 81 02 Радиобиология**

2016 г.

*Проверено*  
*[Signature]*

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта Республики Беларусь DCBD1-33.81.02-2014 учебного плана по специальности № 59-16/уч. м.м.н. 05.05.16 уч.

#### СОСТАВИТЕЛИ:

А.Г. Сыса, заведующий кафедрой радиационной гигиены и эпидемиологии учреждения образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, кандидат химических наук.

Е.Г. Бусько, профессор кафедры радиационной гигиены и эпидемиологии учреждения образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, доктор биологических наук.

#### РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой радиационной гигиены и эпидемиологии учреждения образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета (протокол № 9 от 12.04.2016);

Советом факультета экологической медицины учреждения образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета (протокол № 12 от 11.05.2016).

## I. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Дисциплина «Радиационная эпидемиология и гигиена» относится к циклу дисциплин специальной подготовки и направлена на развитие умений адекватного использования математических и статистических методов при планировании научных исследований, статистической обработки полученных данных, формулировки выводов.

**Целью** изучения дисциплины является ознакомление студентов с основными принципами радиационной защиты и гигиенической регламентации облучения человека в различных сферах деятельности.

Учебная дисциплина «Радиационная эпидемиология и гигиена» входит в комплекс дисциплин для подготовки специалистов-радиобиологов, компетентных в научно-исследовательском, образовательном, медико-профилактическом и культурно- и санитарно-просветительском видах деятельности и включена в развитие компетенций для решения **профессиональных задач**:

– в научно-исследовательской деятельности: экспертная оценка воздействия факторов окружающей среды на человека;

– в научно-производственной деятельности: экспертная оценка влияния на человека, различные группы населения и популяции вредных и агрессивных факторов окружающей среды с целью, прогнозирования и профилактики патологических процессов; разработка комплекса медико-профилактических мероприятий для случаев экологических (в том числе и радиационных) инцидентов, аварий и катастроф; экспертная оценка и контроль качества общественного здоровья популяций человека.

Для изучения дисциплины «Радиационная эпидемиология и гигиена» необходимы знания по следующим дисциплинам: «Общая физика», «Основы радиобиологии».

В результате изучения дисциплины обучаемый должен:

**знать:**

– задачи радиационной гигиены и основные принципы радиационной защиты в различных сферах деятельности человека;

– принципы гигиенической регламентации облучения человека;

– гигиенические характеристики радиоактивных источников и загрязнений окружающей среды;

– принципы работы дозиметрической и спектрометрической аппаратуры

**уметь:**

– использовать нормативные акты в области радиационной гигиены;

– рассчитывать дозы облучения, полученные человеком при различных ситуациях;

– проводить количественную оценку риска стохастических эффектов облучения;

**владеть:**

– методами анализа медико-биологических данных с применением пакетов прикладных программ SPSS, Statistica, R.

**Характеристика используемых методов обучения.** При организации обучения рекомендуется использовать традиционные методы преподавания дисциплины: лабораторные занятия, а также элементы самостоятельной работы студентов. Обучение организуется с использованием традиционных и современных учебно-информационных ресурсов (компьютерных презентаций практических занятий), интерактивных ресурсов в локальной компьютерной сети института и Internet.

Самостоятельная работа студента организуется во время внеаудиторной работы с использованием следующих форм:

– решение ситуационных задач.

Дисциплина изучается в течение 1-го семестра. Форма контроля – зачет. Учебные занятия проводятся в форме лекций и лабораторных занятий в учебных аудиториях. Также предусмотрена самостоятельная работа. Предполагается, что в процессе обучения будут использоваться средства вычислительной техники.

В соответствии с учебным планом изучение дисциплины «Радиационная эпидемиология и гигиена» рассчитано на объем 50 учебных часов (1 зачетная единица), из них – 50 аудиторных. Примерное распределение аудиторных часов по видам занятий: лекций - 20 часов, лабораторных работ – 30 часов.

## **II. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА**

### **1. Гигиеническая регламентация облучения человека.**

История развития радиационной гигиены. Основы радиационной гигиены. Понятия о дозовых пределах и принципы радиационной защиты населения. Дозовые пределы внешнего облучения. Допустимые уровни внутреннего облучения. Предел годового поступления. Требования к ограничению облучения населения.

### **2. Гигиена труда при работе с источниками ионизирующих излучений.**

Мероприятия, позволяющие обеспечить условия радиационной безопасности при применении открытых и закрытых источников ионизирующих излучений. Применение источников ионизирующих излучений в промышленности и медицине.

### **3. Основы радиационной защиты населения. Основы регламентации и прогнозирования радиационных воздействий на человека**

Природный радиационный фон. Потенциальные источники загрязнения окружающей среды. Поведение радионуклидов искусственного происхождения в окружающей среде. Радиационные аварии. Охрана окружающей среды от радиоактивных загрязнений. Детерминированные и стохастические эффекты облучения. Концепция беспорогового действия ИИ. Проблемы эпидемиологических исследований по выявлению влияния малых доз радиации на человека.

### **4. Медицинские последствия облучения населения. Последствия крупномасштабной ядерной аварии в Беларуси.**

Применение рентгено- и радиологических процедур. Рекомендуемые дозовые уровни для пациентов. Максимально возможное снижение уровней облучения. Экологические, медицинские последствия Чернобыльской аварии. Организация защитных мероприятий при авариях аналогичного типа.

### **5. Организация санитарно-эпидемиологического надзора в области радиационной гигиены**

Структура органов государственного санитарного надзора в системе здравоохранения Минздрава РБ. Основные задачи, решаемые специалистами по радиационной гигиене. Организация работы отделов радиационной гигиены учреждений санэпидслужбы всех уровней. Аппаратура и оборудование лабораторий отделов радиационной гигиены.

### III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Номер раздела, темы	Название разделов, тем	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля занятий
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>1</b>	<b>Гигиеническая регламентация облучения человека</b>	<b>2</b>	-	-	<b>2</b>	-	-	
1.1	История развития радиационной гигиены. Основы радиационной гигиены. Понятия о дозовых пределах и принципы радиационной защиты населения. Дозовые пределы внешнего облучения. Допустимые уровни внутреннего облучения.	1	-	-	-	-	-	
1.2	Предел годового поступления. Требования к ограничению облучения населения.	1	-	-	2	-	-	Устный опрос
<b>2</b>	<b>Гигиена труда при работе с источниками ионизирующих излучений</b>	<b>2</b>	-	-	-	-	-	

2.1	Мероприятия, позволяющие обеспечить условия радиационной безопасности при применении открытых и закрытых источников ионизирующих излучений.	1	-	-	-	-	-	Компьютерное тестирование
2.2	Применение источников ионизирующих излучений в промышленности и медицине	1	-	-	-	-	-	
<b>3</b>	<b>Основы радиационной защиты населения. Основы регламентации и прогнозирования радиационных воздействий на человека</b>	<b>2</b>	-	-	<b>6</b>	-	-	
3.1	Природный радиационный фон. Потенциальные источники загрязнения окружающей среды. Поведение радионуклидов искусственного происхождения в окружающей среде. Радиационные аварии. Охрана окружающей среды от радиоактивных загрязнений.	1	-	-	2	-	-	Компьютерное тестирование, Защита лабораторной работы

3.2	Детерминированные и стохастические эффекты облучения. Концепция беспорогового действия ИИ. Проблемы эпидемиологических исследований по выявлению влияния малых доз радиации на человека	1	-	-	4	-	-	Защита лабораторной работы
<b>4</b>	<b>Медицинские последствия облучения населения. Последствия крупномасштабной ядерной аварии в Беларуси.</b>	<b>2</b>	-	-	<b>4</b>	-	-	
4.1	Применение рентгено- и радиологических процедур. Рекомендуемые дозовые уровни для пациентов. Максимально возможное снижение уровней облучения.	1	-	-	2	-	-	Компьютерное тестирование, Защита лабораторной работы
4.2	Экологические, медицинские последствия Чернобыльской аварии. Организация защитных мероприятий при авариях аналогичного типа.	1	-	-	2	-	-	Защита лабораторной работы
<b>5</b>	<b>Организация санитарно-эпидемиологического надзора в области радиационной гигиены</b>	<b>2</b>	-	-	-	-	-	

5.1	Структура органов государственного санитарного надзора в системе здравоохранения Минздрава РБ. Основные задачи, решаемые специалистами по радиационной гигиене. Организация работы отделов радиационной гигиены учреждений санэпидслужбы всех уровней. Аппаратура и оборудование лабораторий отделов радиационной гигиены	2	-	-	-	-	-	Компьютерное тестирование, Защита лабораторной работы
<b>6</b>	<b>Предмет, метод и задачи радиационной эпидемиологии</b>	<b>2</b>	-	-	-	-	-	
6.1	Содержание радиоэкологической эпидемиологии как научной дисциплины. Предмет, методы, цели и задачи радиоэкологической эпидемиологии.	1	-	-	-	-	-	Компьютерное тестирование
6.2	Особенности использования методов эпидемиологического анализа при установлении причинно-следственных связей и оценке влияния радиационной обстановки в среде обитания на здоровье населения.	1	-	-	-	-	-	Компьютерное тестирование

<b>7</b>	<b>Риск в условиях деятельности человека, социально-экономические критерии его приемлемости.</b>	<b>2</b>	-	-	<b>4</b>	-	-	
7.1	Понятие риска. Постановка проблемы. Классификация источников риска смерти для человека. Концепция приемлемого риска. Критерии приемлемости риска.	1	-	-	-	-	-	Компьютерное тестирование
7.2	Радиационный риск. Некоторые обязательные условия для проведения заслуживающих доверия научных исследований по оценке радиационного риска (по Дж. Гофману).	1	-	-	4	-	-	Защита лабораторной работы
<b>8</b>	<b>Основы оценки значимости радиационных эффектов.</b>	<b>2</b>	-	-	<b>6</b>	-	-	
8.1	Смысл и представление радиационного "риска". Риск смерти. Плотность вероятности смерти. Кривые Гомпертца-Майкхмера.	1	-	-	4	-	-	Компьютерное тестирование, Защита лабораторной работы
8.2	Концепция эффективной дозы. Исходные "коэффициенты риска".	1	-	-	2	-	-	Компьютерное тестирование, Защита лабораторной работы

<b>9</b>	<b>Модели радиационного риска.</b>	<b>2</b>	-	-	<b>4</b>	-	-	
9.1	Модели абсолютного и относительного риска. Модели радиационного риска. Оценка радиационных рисков.	2	-	-	4	-	-	Компьютерное тестирование, Защита лабораторной работы
<b>10</b>	<b>Социально-экономические критерии приемлемости радиационного риска.</b>	<b>2</b>	-	-	<b>4</b>	-	-	Компьютерное тестирование, Защита лабораторной работы
10.1	Концепция "польза-вред" и обеспечение радиационной защиты. Оптимизация радиационной защиты, ALARA-принцип.	1	-	-	2	-	-	Компьютерное тестирование, Защита лабораторной работы
10.2	Концепции нормирования и приемлемости радиационного риска. Управление радиационным риском.	1	-	-	2	-	-	Компьютерное тестирование, Защита лабораторной работы
<b>Итого</b>		<b>20</b>	-	-	<b>30</b>	-	-	

#### **IV. ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

##### **Перечень методик диагностирования**

Для аттестации студентов создаются фонды диагностических и оценочных средств, технологий и методик диагностирования.

Процесс диагностики предполагает:

- контрольные работы;
- рефераты;

- зачет.

### **Критерии оценок**

Для оценки учебных достижений студентов используются критерии, предложенные Министерством образования Республики Беларусь.

### **Учебно-методические материалы по дисциплине**

#### **Основная литература:**

1. Радиационная гигиена. Практикум. Учебное пособие / Архангельский В.И., Кириллов В.Ф., Коренков И.П. – М.: «ГЭОТАР-Медиа», 2015.
2. Физические основы радиационных технологий. Учебное пособие / Ободовский И.М. – М.: «ИД Интеллект», 2014.
3. Радиационная гигиена. Учебник для вузов / Ильин Л.А., Кириллов В.Ф., Коренков И.П. – М.: «ГЭОТАР-Медиа», 2010.

#### **Дополнительная литература:**

4. Нормы радиационной безопасности (НРБ-2000). Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 25 января 2000 г. №5 (Национальный реестр правовых актов РБ, 2000 г., №35, 8/3037).
5. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСП-2002). Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 22 февраля 2002 г. №6 (Национальный реестр правовых актов РБ, 2002 г., №35, 8/7859).
6. Санитарные правила и нормы «Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения». Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 1 апреля 2005 г. №36.
7. Санитарные правила и нормы «Гигиенические требования к обеспечению радиационной безопасности при проведении лучевой терапии». Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 22 ноября 2006 г. №143..