

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Ректор Белорусского
государственного университета

А.Д.Король

23 декабря 2024 г.

Регистрационный № РД- 13538/уч.



ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАДИАЦИОННОЙ БИОЛОГИИ

Учебная программа учреждения образования
по учебной дисциплине для специальностей:

1-31 05 03 Химия высоких энергий

2024 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 05 03-2021, учебных планов БГУ № G31-1-009/уч. от 25.05.2021, № G31-1-236/уч. от 22.03.2022.

СОСТАВИТЕЛЬ:

Хруцкий Валерий Юрьевич, старший преподаватель кафедры радиационной химии и химико-фармацевтических технологий химического факультета Белорусского государственного университета.

РЕЦЕНЗЕНТ:

Свердлов Роман Леонидович, ведущий инженер-химик Научно-исследовательского испытательного центра ООО «Фермент», кандидат химических наук, доцент.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой радиационной химии и химико-фармацевтических технологий БГУ (протокол № 5 от 19.12.2024);

Научно-методическим советом БГУ (протокол № 5 от 19.12.2024)

Заведующий кафедрой



И.М.Кимленко

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Специалист в области химии высоких энергий должен обладать фундаментальными представлениями о молекулярных механизмах действия ионизирующих излучений на биологические объекты, комплексными знаниями о методах оценки и предсказания их влияния, относящимися к смежной области радиационной химии, биологии и медицины. Профессиональная деятельность радиохимика при работе с источниками ионизирующих излучений требует знания эффективных мероприятий по минимизации риска воздействия ионизирующего излучения на человеческий организм, включая обоснованное использование радиопротекторов, в том числе при чрезвычайных ситуациях.

Цели и задачи учебной дисциплины

Цель учебной дисциплины – изучение закономерностей протекания радиационно-химических процессов и последствий их реализации, механизмов радиационного воздействия на биологически важные соединения, клетку и целостный организм, а также формирование системных знаний и умений по принципам прогноза и оценки влияния определенных доз ионизирующего излучения на организм и рационального обоснования мероприятий по защите здоровья при осуществлении профессиональной деятельности, связанной с источниками ионизирующего излучения.

Задачи учебной дисциплины:

1. Сформировать целостную картину современных представлений о радиоллизе водных растворов углеводов, белков, липидов, нуклеиновых кислот и их компонентов и общих закономерностей при радиолитических превращениях моно- и бифункциональных органических соединений.

2. Предоставить знания об основных теориях механизма биологического действия излучения на клетку и целостный организм, цитогенетическом эффекте излучения и его взаимосвязи с матричными процессами, радиационно-индуцированными механизмах клеточной гибели, фармакохимической противолучевой защите организма, радиосенсибилизаторах и основных механизмах их действия.

3. Ознакомить с основными методами оценки и прогнозирования действия излучения на биообъекты, влиянием факторов окружающей среды на кривые выживаемости биообъектов при облучении, эффективными мероприятиями минимизации риска воздействия ионизирующего излучения на человеческий организм, в том числе при применении радиопротекторов.

4. Отразить результаты современных научных исследований, проводимых в Республике Беларусь и ведущих научных центрах мира в области установления механизмов биологического действия излучения.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием.

Дисциплина «Химические основы радиационной биологии» относится к модулю «Прикладные аспекты химии высоких энергий» компонента учреждения высшего образования.

Дисциплина связана с такими учебными дисциплинами как «Радиационная химия», «Биохимия» и «Радиационная и ядерная безопасность».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Химические основы радиационной биологии» должно обеспечить формирование следующих компетенций:

Специализированные компетенции:

Применять знание особенностей радиохимических процессов для предсказания поведения различных радионуклидов в биологических системах, природных и техногенных объектах, материалах органической и неорганической природы.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

знать: основные понятия и термины радиационной химии и радиационной биологии; отличительные особенности прямого и косвенного радиолиза и радиационно-химические превращения воды; основные закономерности радиолиза водных растворов биополимеров и их составляющих компонентов; основы радиобиологии клетки и сложных биосистем; взаимосвязь мутагенного эффекта с матричными процессами; механизмы цитогенетического эффекта ионизирующего излучения; последствия воздействия неионизирующего ультрафиолетового спектра и ионизирующего излучения определенной дозы на человеческий организм; взаимосвязь между структурой и эффективностью радиопротекторов; особенности применения в радиотерапии сенсibilизаторов,

уметь: ориентироваться в современных данных из области радиационной биологии и медицины; оценить основные пути радиационно-химических превращений биомолекул; предложить научно-обоснованный выбор радиопротекторов; сформулировать причины радиобиологического парадокса,

владеть: навыками первичной оценки выраженности радиационных повреждений различных биологических систем в зависимости от поглощенной дозы, механизмов их формирования; подходами минимизации последствий действия радиации или усиления ее действия на биообъекты.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 8 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Химические основы радиационной биологии» отведено:

– для очной формы получения высшего образования – 102 часа, в том числе 50 аудиторных часа, из них: лекции – 28 часов, семинарские занятия – 14 часов + 4 часа ДОТ, управляемая самостоятельная работа – 2 часа + 2 часа ДОТ.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации – зачет.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1 Введение в молекулярную радиационную биологию

Тема 1.1 Радиационная биология как наука

Радиационная биология, фундаментальные задачи и структура как комплексной дисциплины. Исторические этапы становления радиационной биологии. Радиационная биология и радиационная химия, основные понятия и термины. Ионизирующее и неионизирующее излучение и его виды. Взаимодействие излучений с веществом. Основные дозиметрические величины, радиационно-химический выход. Линейная передача энергии и относительная биологическая эффективность. Эквивалентная и эффективная доза.

Тема 1.2 Основы радиационной химии водных растворов моно- и бифункциональных органических соединений

Физические и предхимические изменения при радиолизе воды. Радикальные и молекулярные продукты радиолиза воды, их свойства. Эффект разведения Дейла. Косвенный и прямой радиолиз. Взаимодействие радикальных продуктов радиолиза воды с органическими веществами. Свободные органические радикалы и их свойства. Основные реакции органических радикалов. Радиолиз водных растворов монофункциональных органических соединений (спирты, амины, альдегиды). Радиолиз водных растворов бифункциональных органических соединений (α -диолы и их эфиры, аминокислоты, аминокислоты).

Тема 1.3 Радиационно-химические превращения биологически значимых соединений

Основные закономерности радиолиза аминокислот в водных растворах. Влияние структуры аминокислот на направленность их радиолиза. Радиационные превращения пептидов и их составляющих. Радиационно-индуцированный разрыв пептидной связи – возможные механизмы. Сшивка белковых молекул при облучении.

Радиолитические превращения углеводов в водных растворах. Основные типы радиолитических превращений моносахаридов (глюкозы, дезоксирибозы). Радиолиз различных полисахаридов.

Радиолиз водных растворов липидов и моделирующих их соединений. Радиолиз водных дисперсий высших ненасыщенных карбоновых кислот. Радиационно-индуцированное пероксидное окисление липидов. Радиационно-индуцированная фрагментация липидов. Закономерности свободнорадикальной фрагментации лизофосфолипидов в модельных системах при γ -радиолизе на примере лизофосфатидилхолина.

Действие ионизирующих излучений на водные растворы азотистых оснований. Взаимодействие продуктов радиолиза воды с компонентами нуклеотидов. Основные закономерности радиационно-химических превращений нуклеиновых кислот. ДНК и РНК: одиночный и двойной разрывы цепи; модификация азотистых оснований, элиминирование азотистых оснований, модификация углеводного фрагмента. Отличительные особенности радиолиза

ДНК.

Раздел 2 Радиобиология клетки. Теоретические представления о механизме биологического действия ионизирующих излучений

Тема 2.1 Основы функционирования клетки как биосистемы. Влияние излучения на клеточный цикл

Клетка как биосистема и структурно-функциональная единица всего живого. Современная клеточная теория. Структурная организация и химический состав клетки. Структура и функции ДНК, РНК и белков. Матричные процессы синтеза нуклеиновых кислот и белков как основополагающие в саморегуляции и воспроизводстве биосистем. Генетический код и реализация генетической информации. Распознавание и сигнализация повреждений в ДНК, значение архитектуры хроматина. Мутационные изменения в нуклеиновых кислотах и механизмы репарации ДНК, последствия нерепарированного повреждения ДНК. Цитогенетический эффект ионизирующего излучения. Радиационно-индуцированная нестабильность генома и эффект «свидетеля».

Митотическое деление клетки, клеточный цикл и его регуляция. Репликативное старение и предел Хейфлика, теломерные последовательности и теломераза. Активация контрольных точек клеточного цикла при облучении. Задержка деления клеток в зависимости от дозы облучения. Летальные и нелетальные лучевые реакции клетки. Кластерный эффект радиации.

Тема 2.2 Типы клеточной гибели и кривые выживаемости. Фундаментальные радиобиологические теоретические представления

Формы клеточной гибели (митотическая катастрофа, апоптоз, некроз) и их наиболее вероятные причины. Основные отличия репродуктивной и интерфазной гибели клеток. Температурный и кислородный эффект, реоксигенация. Кривая выживаемости клеток как способ количественной регистрации зависимости эффекта от дозы: LD_{50} , $LD_{50/30}$ и $LD_{50/60}$, D_0 , D_{37} . Линейно-квадратичная модель. Механизмы радиационного повреждения клеток и адаптивный ответ. Клеточная гиперчувствительность. Эффекты малых доз радиации и радиационный гормезис. Молекулярные модели и цитотоксический эффект ультрафиолетового излучения. Особенности действия УФ-А, УФ-В и УФ-С на клетку.

Принципы попадания и мишени. Стохастическая гипотеза. Вероятностная модель радиационного поражения клетки. Гипотеза липидных радиотоксинов и цепных реакций. Структурно-метаболическая гипотеза.

Раздел 3 Радиобиология организма. Радиочувствительность, радиосенсибилизаторы и радиопротекторы

Тема 3.1 Радиочувствительность и клинические последствия облучения человеческого организма

Правило Бергонье-Трибондо и проблема радиочувствительности. Детерминированные и стохастические эффекты воздействия высоких доз

облучения. Радиобиология повреждения нормальной ткани. Острые и поздние реакции тканей. Гетерогенность тканей, лучевые реакции отдельных органов и тканей. Диапазон различий радиочувствительности в природе. Относительная чувствительность нормальных тканей и опухолей. Необходимость адекватных критериев оценки сравнительной радиочувствительности и ее методологическое значение. Радиосенсибилизаторы. Радиационный канцерогенез и механизмы возникновения радиационно-индуцированной онкопатологии.

Радиобиология организма. Радиобиологический парадокс и его причины. Продромальный и латентный периоды, лучевые синдромы (цереброваскулярный, гастроинтестинальный и гемопоэтический). Лучевая болезнь человека, летальность при облучении. Последствия для здоровья после местного и тотального облучения тела в результате радиационных аварий. Эпидемиологические исследования в группах населения, подвергшихся воздействию радиации.

Тема 3.2 Защита организма от ионизирующих излучений. Радиотерапия

Радиобиологическая основа радиационной защиты. Механизмы противолучевой защиты. Классификация радиопротекторов, механизмы действия, критерии применимости. Основные классы химических соединений радиозащитного действия. Оценка радиозащитного действия. Радиотерапия и биоредуктивные препараты. Терапевтическое соотношение в радиотерапии.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Очная (дневная) форма получения высшего образования с применением дистанционных образовательных технологий
(ДОТ)

Номер раздела, темы	Название раздела и темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАДИАЦИОННОЙ БИОЛОГИИ	28	–	18	–	–	4	
1	Введение в молекулярную радиационную биологию							
1.1	Радиационная биология как наука	2						Устный опрос
1.2	Основы радиационной химии водных растворов моно- и бифункциональных органических соединений	4		2				Устный опрос
1.3	Радиационно-химические превращения биологически значимых соединений	4		4				Устный опрос
2	Радиобиология клетки. Теоретические представления о механизме биологического действия ионизирующих излучений							
2.1	Основы функционирования клетки как биосистемы. Влияние излучения на клеточный цикл	6		4			2	Комплексная контрольная работа по темам 1.1–2.1
2.2	Типы клеточной гибели и кривые выживаемости. Фундаментальные	4		4 (ДОТ)				Устный опрос

	радиобиологические теоретические представления							
3	Радиобиология организма. Радиочувствительность, радиосенсибилизаторы и радиопротекторы							
3.1	Радиочувствительность и клинические последствия облучения человеческого организма	4		2				Устный опрос
3.2	Защита организма от ионизирующих излучений. Радиотерапия	4		2			2 (ДОТ)	Комплексная контрольная работа по темам 2.2–3.2

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основная литература

1. Батян, А. Н. Молекулярная и клеточная радиационная биология: учебное пособие / А. Н. Батян и др. – Минск: Вышэйшая школа, 2021. – 238 с.
2. Григорьева, Д. В. Действие ионизирующих излучений на биообъекты: учебное пособие / Д. В. Григорьева, И. В. Горудко, Г. Г. Мартинович. – Минск: Вышэйшая школа, 2023. – 264 с.
3. Актуальная радиобиология: курс лекций / Л. А. Ильин [и др.]. – 2-е изд., стер. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2022. – 237 с.

Дополнительная литература

1. Зеленская, Л. А. Радиобиология: учебное пособие / Л. А. Зеленская. – Краснодар: КубГАУ, 2020. – 97 с.
2. Гудков, С. В. Частные вопросы радиационной биофизики: учебное пособие / С. В. Гудков. – Нижний Новгород: ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2022. – 235 с.
3. Филимонов М. М. Радиобиология: пособие / М. М. Филимонов, Д. А. Новиков. – Минск: БГУ, 2015. – 132 с.
4. Baatout S. (ed.). Radiobiology textbook. – Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2023. – 667 p.
5. Chadwick K. H. Understanding radiation biology: from DNA damage to cancer and radiation risk. – CRC Press, 2019. – 236 p.
6. Bohm E. L. et al. Radiation biology: a handbook for teachers and students // Vienna: International Atomic Energy Agency, 2010. – 151 p.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки

Текущая аттестация обучающихся по учебной дисциплине может осуществляться с использованием следующих средств диагностики:

1. Устный опрос по отдельным темам;
2. Комплексные контрольные работы.

Комплексные контрольные работы включают задания как открытого, так и закрытого типа и позволяют проконтролировать уровень подготовки каждого обучающегося и обратить внимание на отдельные вопросы, которые вызывают затруднение или были неудовлетворительно усвоены, что обеспечивает эффективное освоение учебного материала при подготовке к промежуточной аттестации.

Формой промежуточной аттестации по дисциплине «Химические основы радиационной биологии» учебным планом предусмотрен зачет.

К промежуточной аттестации допускаются обучающиеся с удовлетворительными отметками текущей аттестации (4 и более балла). Зачет по

учебной дисциплине проводится в форме итоговой комплексной контрольной работы.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы

Раздел 1. Введение в молекулярную радиационную биологию (Темы 1.1, 1.2, 1.3). Раздел 2. Радиобиология клетки. Теоретические представления о механизме биологического действия ионизирующих излучений (Тема 2.1).

Проанализировать и систематизировать основные закономерности действия ионизирующего излучения на биомолекулы с учетом их функциональной значимости в клетке (2 ч.).

(Форма контроля – Комплексная контрольная работа по темам 1.1–2.1).

Раздел 2. Радиобиология клетки. Теоретические представления о механизме биологического действия ионизирующих излучений (Тема 2.2).

Раздел 3. Радиобиология организма. Радиочувствительность, радиосенсибилизаторы и радиопротекторы (Темы 3.1, 3.2)

Сформировать таблицу эффектов местного и целостного поражения человеческого организма в зависимости от дозы облучения, побочных последствий радиотерапии с применением радиосенсибилизаторов, и возможных способов радиозащиты (2 ч.).

(Форма контроля – Комплексная контрольная работа по темам 2.2–3.2).

Примерный перечень семинарских занятий

1. Радиационно-химические превращения в водных растворах биополимеров. Отличительные особенности радиационной стойкости РНК и ДНК. Влияние структуры липидов на их подверженность процессам пероксидного окисления липидов и свободнорадикальной фрагментации, роль кислорода в этих процессах. (устный опрос) – 6 часов.

2. Нарушение нормального функционирования клетки при радиационном повреждении клеточных компонентов. Теории влияния ионизирующего излучения на биообъекты (устный опрос) – 4 часа.

3. Типы клеточной гибели и механизмы выживаемости при облучении. Воздействие малых доз радиации и гормезис (устный опрос) – 4 часов.

4. Клинические эффекты воздействия радиации на человеческий организм. Радиопротекторы и радиосенсибилизаторы: структура, свойства, механизм действия (устный опрос) – 4 часов.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используется *практико-ориентированный подход*, который предполагает:

- освоение содержания образования через решения практических задач;

- приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности;
- использованию процедур, способов оценивания, фиксирующих сформированность профессиональных компетенций;
- приобретение студентом знаний и умений для решения практических задач, используя профессиональные знания, собственный опыт, дополнительную литературу и иные источники.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

При изучении учебной дисциплины до сведения обучающихся вначале семестра доводится информация, которая включает методы и формы проведения текущей и промежуточной аттестации и правила формирования отметки.

Для организации самостоятельной работы обучающихся по учебной дисциплине следует использовать современные информационные ресурсы: разместить на образовательном портале вопросы для подготовки к зачету, вопросы для самоконтроля, список рекомендуемой литературы, информационных ресурсов и др.

Эффективность самостоятельной работы обучающихся проверяется в ходе текущей аттестации (устный опрос, комплексная контрольная работа). Для общей оценки качества усвоения обучающимися учебного материала рекомендуется использование рейтинговой системы.

Проведение занятий с использованием ДОТ осуществляется согласно «Положение об использовании дистанционных образовательных технологий в БГУ». Внеаудиторные учебные занятия с применением ДОТ проводятся с использованием электронной образовательной среды образовательного портала <https://educhem.bsu.by/>.

Электронный образовательный контент по учебной дисциплине размещается на образовательном портале <https://educhem.bsu.by/>. Доступ к ресурсам ДОТ учебной дисциплины обучающихся осуществляется с использованием авторизации посредством учетных записей.

Примерный перечень вопросов к зачету

1. Радиобиология как наука. Основные дозиметрические величины и понятия радиационной химии. Линейная передача энергии и относительная биологическая эффективность. Взвешивающие коэффициенты излучения и ткани.
2. Основные закономерности радиолиза воды. Молекулярные продукты радиолиза воды. Радиолиз водных растворов аминспиртов, α -диолов и их производных.
3. Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом. Принципы попаданий и мишени в радиобиологии.
4. Основные принципы радиобиологии. Прямой и косвенный радиолиз.

Радиобиологический парадокс и его возможные причины. Стохастическая гипотеза.

5. Радикальные продукты радиолиза воды. Эффект разведения Дейла. Радиолиз водных растворов глюкозы и дезоксирибозы. Действие излучения на растворы полисахаридов.

6. Вероятностная модель радиационного поражения клетки. Репродуктивная и интерфазная гибель клеток. Гибель клеток при действии плотной ионизирующей излучения.

7. Взаимодействие корпускулярного излучения с веществом. Радиолиз водных растворов аминокислот. Радиационно-инициированное дезаминирование аминокислот в водных растворах. Действие излучения на пептиды и белки.

8. Количественные закономерности гибели клеток при облучении. Действие редкоионизирующего излучения на клетки. Клеточная гиперчувствительность.

9. Радиационно-химический выход как показатель радиационного повреждения. Гипотеза липидных радиотоксинов и цепных реакций. Структурно-метаболическая теория.

10. Окислительные продукты радиолиза воды. Радиолиз водных растворов нуклеотидов.

11. Сравнительная радиочувствительность биообъектов. Радиопротекторы, их классификация и свойства. Антиоксиданты в радиобиологии. Цитогенетический эффект ионизирующего излучения.

12. Отличительные особенности радиолиза нуклеиновых кислот. Основные повреждения ДНК при облучении и механизмы репарации.

13. Действие излучения на водные растворы глицерофосфолипидов и высших карбоновых кислот. Пероксидное окисление липидов.

14. Активные формы кислорода при радиолизе водных растворов. Радиационно-индуцированное окисление и фрагментация липидов. Радиационно-индуцированные процессы в биомембранах.

15. Механизмы усиления радиационных повреждений биообъектов. Радиочувствительность и радиорезистентность биообъектов.

16. Лучевая болезнь. Клинические проявления облучения организма человека. Механизмы радиационно-индуцированной онкопатологии. Радиотерапия и биоредуктивные препараты.

17. Гидратированный электрон, механизм образования и его свойства. Радиолиз водных растворов монофункциональных органических соединений. Радиолиз альдегидов в водных растворах.

18. Радиолиз водных растворов монофункциональных органических соединений. Образование и свойства промежуточных продуктов радиолиза воды. Ингибиторы радикальных реакций в радиобиологии.

19. Радиобиология повреждения нормальной ткани. Температурный, кислородный эффект и реоксигенация. Относительная чувствительность нормальных тканей и опухолей.

20. Молекулярные модели и цитотоксический эффект ультрафиолетового

излучения. Радиосенсибилизаторы.

21. Правило Бергонье-Трибондо. Кривая выживаемости клеток как способ количественной регистрации зависимости эффекта от дозы. Эффект «свидетеля». Радиационный гормезис.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Биохимия	Кафедра высокомолекулярных соединений	изменений не требуется	Протокол №6 от 19.12.2024

Заведующий кафедрой радиационной химии
и химико-фармацевтических технологий
кандидат химических наук, доцент
19 декабря 2024 г.



И.М.Кимленко

Заведующий кафедрой
высокомолекулярных соединений
кандидат химических наук
19 декабря 2024 г.



А.С.Боковец

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО
ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

на ____/____ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
_____ (протокол № ____ от _____ 202_ г.)

Заведующий кафедрой

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета
