

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Ректор Белорусского
государственного университета

А.Д.Король

23 декабря 2024 г.

Регистрационный №УД- 13536/уч.



ПРИКЛАДНАЯ РАДИОХИМИЯ

Учебная программа учреждения образования по учебной дисциплине для
специальности:

1-31 05 03 Химия высоких энергий

2024 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 05 03-2021 и учебного плана № G31-1-009/уч. от 25.05.2021, № G31-1-236/уч. от 22.03.2022.

СОСТАВИТЕЛЬ:

Кимленко Ирина Михайловна, заведующий кафедрой радиационной химии и химико-фармацевтических технологий химического факультета Белорусского государственного университета, кандидат химических наук, доцент;

Лейнова Светлана Леонидовна, завдующий НИЛ радиохимии, доцент кафедры радиационной химии и химико-фармацевтических технологий Белорусского государственного университета, кандидат химических наук.

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Невар Татьяна Николаевна, зам. директора по научной и инновационной работе ГНУ «Институт физико-органической химии НАН Беларуси», кандидат химических наук.

Усенко Александра Евгеньевна, доцент кафедры физической химии и электрохимии, кандидат химических наук.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой радиационной химии и
химико-фармацевтических технологий БГУ
(протокол № 4 от 21.11.2024)

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

Заведующий кафедрой



И.М.Кимленко

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Прикладная радиохимия представляет собой область радиохимии, которая изучает вопросы получения и применения радиоактивных изотопов и их соединений в различных областях науки и техники. К данной области относятся также проблемы ядерного топливного цикла, хотя они зачастую выделяются в самостоятельную область, но в своей основе полностью опираются на принципы радиохимии и в ряде случаев тесно переплетаются с последней.

Цели и задачи учебной дисциплины

Назначение дисциплины — подготовка высококвалифицированных специалистов с глубокими знаниями прикладных аспектов радиохимии и перспектив использования радиохимических технологий в науке, технике и медицине.

Цель учебной дисциплины — дать развернутую характеристику современному состоянию радиохимической науки и радиохимических технологий, используемых в ядерной индустрии, при производстве изотопов и их применению в различных областях.

Задачи учебной дисциплины:

- систематизация знаний о способах получения, выборе и использовании радиоизотопов в химии, физике, биологии, медицине и других областях, в том числе о производстве радиофармпрепаратов (РФП) для диагностики и терапии;
- ознакомление с принципами организации радиохимического контроля на АЭС и управления радиоэкологическим риском;
- рассмотрение современных радиохимических технологий, включая технологии переработки отработанного ядерного топлива (ОЯТ) и радиоактивных отходов (РАО);
- воспитание чувства ответственности за сохранение окружающей среды при разработке и применении радиохимических технологий;
- выработка гражданской активности при решении возникающих проблем, связанных с производством и обращением радиоактивных изотопов и их соединений.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием.

Учебная дисциплина относится к модулю «Прикладные аспекты химии высоких энергий» компонента учреждения высшего образования.

Связи с другими учебными дисциплинами, включая учебные дисциплины компонента учреждения высшего образования, дисциплины специализации и др.

Данный курс связан со следующими дисциплинами, преподаваемыми на химическом факультете БГУ: «Химические основы радиационной биологии», «Коррозия и электрохимия металлов».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Прикладная радиохимия» должно обеспечить формирование следующих компетенций:

Применять знания 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:

- особенности радиохимических процессов, используемых в ядерной промышленности, в том числе ресурсо- и энергосберегающих и экологически безопасных;
- общую характеристику объектов и методов радиохимического контроля на АЭС;
- способы промышленного производства радиоактивных изотопов, применяемых в науке, технике и медицине;
- принципы активационного анализа, методы меченых атомов;
- методы синтеза РФП для различных применений в области ядерной медицины.

уметь:

- оценивать преимущества и недостатки современных и перспективных радиохимических процессов ядерной промышленности;
- применять знания для предсказания поведения различных радионуклидов в сложных системах, в том числе объектах окружающей среды, и при захоронении высокоактивных отходов топливного цикла, а также для создания схем направленного синтеза меченых соединений для ядерной медицины;
- осуществлять качественный и количественный анализ радионуклидов в природных и техногенных объектах.

владеть:

- техникой подготовки и проведения радиохимического эксперимента;
- навыками работы с ультрамикрореконцентрациями вещества;
- методами регистрации ионизирующих излучений;
- навыками исследования состояния и миграции радионуклидов в природных и техногенных объектах.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 8 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Прикладная радиохимия» отведено:

Для специальности 1-31 05 03 Химия высоких энергий:

– для очной формы получения высшего образования – 108 часов, в том числе 64 аудиторных часа, из них: лекции – 24 часа, лабораторные работы – 30 часов, семинарские занятия – 6 часов, управляемая самостоятельная работа (УСР) – 4 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетных единицы.

Форма промежуточной аттестации – экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1. Радиохимия в современной ядерной индустрии

Тема 1.1. Основные направления современной прикладной радиохимии

Задачи и функции радиохимических предприятий. Мировые производители радиоактивных изотопов и препаратов, используемых в промышленности, сельском хозяйстве, медицине, научных исследованиях. Сотрудничество стран в области производства, использования и продвижения изотопной продукции. Нормы МАГАТЭ по безопасности радиохимических производств и предприятий ЯТЦ. Экологический менеджмент в ядерной отрасли: задачи, контролируемые показатели.

Раздел 2. Производство и применение радиоактивных изотопов

Тема 2.1. Производство радиоактивных изотопов

Изотопная экономика. Выбор условий получения радионуклидов. Требования, предъявляемые к мишеням и мишенным устройствам. Основные радионуклиды, получаемые на ядерных реакторах и ускорителях. Современные ускорительные комплексы. Получение короткоживущих радионуклидов с помощью изотопных генераторов. Методы разделения радиоизотопов (дистилляция, экстракция, хроматография, соосаждение и др.). Потребители изотопов (предприятия энергетики и металлургии, научно-исследовательские и медицинские центры).

Тема 2.2. Радиоактивные изотопы в химии, геологии и материаловедении

Радиоактивные минералы. Абсолютный геологический возраст. Изохроны Паттерсона. Изотопная геохронология: гелиевый, свинцовый, аргоновый, стронциевый методы, их достоинства и недостатки. Радиоуглеродное датирование. Нормальный и аномальный сдвиги равновесия между дочерним и материнским нуклидами, положительные и отрицательные последствия сдвига (ошибки в оценке накопления радионуклидов в объектах окружающей среды, новые варианты «геологических часов» и др.).

Радиоактивные изотопы в аналитической химии (радиометрический анализ, метод изотопного разбавления). Активационный анализ: способы активации, отбор и приготовление проб для анализа, источники ошибок, особенности анализа биологических объектов, веществ высокой чистоты, воды и др., инструментальный и радиохимический метод идентификации образующихся радионуклидов.

Метод радиоактивных индикаторов в физической химии (определение скоростей и механизмов реакций, давлений насыщенных паров, процессов коррозии, адсорбции газов и паров, реакций термического анализа и др.).

Метод радиоактивных индикаторов в материаловедении. Контроль за пространственной структурой материала, степенью и характером его дефектности, изменением параметров под действием различных факторов.

Тема 2.3. Меченые соединения: синтез и свойства

Номенклатура меченых соединений. Радиоактивные препараты, полученные без использования носителей (NCA). Соединения, меченые нерадиоактивными изотопами (SIL). Методы направленного и ненаправленного синтеза меченых соединений. Требования, предъявляемые к изотопно-обогащенным прекурсорам, используемым в синтезе меченых соединений. Процессы изотопного обмена (получение меченых соединений, исследование структурной неравноценности атомов в молекулах, определение скорости реакции вблизи равновесия, определение поверхности осадков). Способы химического синтеза меченых соединений. Радиационный синтез, методы синтеза в потоке ускоренных ионов, электрическом разряде. Горячий синтез. Методы идентификации меченых соединений. Аналитически контроль меченых соединений (определение химической и радиохимической чистоты, удельной активности, местоположения метки внутри молекулы).

Раздел 3. Радиохимические аспекты ядерной медицины

Тема 3.1. Радионуклиды медицинского назначения

Выбор радионуклидов для диагностики и терапии. Факторы, определяющие спрос на радионуклид в ядерной медицине. Основные методы производства медицинских радионуклидов (реакторные, циклотронные и генераторные радионуклиды) и их применение.

Тема 3.2. Радиофармпрепараты (РФП)

РФП метаболического и перфузионного типов распределения. Идеальный РФП и его характеристики. Способы синтеза радиофармпрепаратов (РФП) для радионуклидной диагностики. Поставщики лигандов при производстве РФП (комплексообразующие кислоты и их физиологически приемлемые соли). Контроль качества РФП (определение радионуклидной чистоты, активности, радиохимической и химической чистоты, стерильности и апирогенности). Применение РФП в радиоиммунном анализе, позитронно-эмиссионной томографии и др. Синтез соединений, содержащих радиоактивный тритий, для изучения биологических процессов и их применение в диагностике заболеваний.

Раздел 4. Радиохимические проблемы атомной энергетики

Тема 4.1. Радиохимический контроль на АЭС и управление радиоэкологическим риском

Цели и задачи радиохимического контроля на АЭС. Общая характеристика объектов и методов контроля. Формирование радионуклидного состава примесей в объектах радиохимического контроля. Методические

подходы к проведению радиохимического анализа водных и газообразных сред. Метод экспрессного хроматографического радиохимического анализа (сущность метода, выбор условий выделения радионуклидов, сорбенты для ЭХРА, анализ водного теплоносителя первого контура, определение химических форм радионуклидов в теплоносителе). Групповое выделение радионуклидов из низкоактивных водных сбросов АЭС. Определение радиоактивных примесей в воде водоемов-охладителей. Непрерывный контроль за содержанием продуктов деления в теплоносителе первого контура. Гамма-спектрометрический анализ на байпасных линиях. Определение в потоке за фильтрами для группового отделения мешающих примесей. Селективное концентрирование в потоке контролируемой среды. Контроль выбросов инертных радиоактивных газов. Определение газообразных форм радиоактивного йода. Реперный контроль радионуклидного состава примесей в аэрозольных выбросах.

Анализ образцов окружающей среды на содержание, распределение и формы нахождения природных и техногенных радионуклидов в зоне влияния АЭС. Подготовка образцов к радиометрическим измерениям и радиохимическому анализу. Методы выделения, разделения и очистки радионуклидов. Гамма- и альфа-спектрометрическая идентификация радионуклидов. Оценка содержания бета-излучающих радионуклидов методом бета-радиометрии. Радиографический метод обнаружения радионуклидов.

Тема 4.2. Процессы коррозии на объектах атомной энергетики

Виды коррозионных повреждений в атомной энергетике. Коррозионное воздействие водного теплоносителя на конструкционные материалы. Показатели коррозионности среды. Коррозионные агенты. Общие методические подходы к исследованию внутриконтурных коррозионных процессов. Преимущества радиохимических методик исследования коррозии сталей. Реперные радионуклиды, генерируемые в образцах сталей для исследования процессов коррозии при облучении образцов потоком тепловых нейтронов. Радиохимический контроль технологических сред. Фазовый анализ продуктов коррозии методом мессбауэровской спектроскопии. Технологии очистки парогенераторов АЭС с ВВЭР от продуктов коррозии.

Тема 4.3. Современные подходы к переработке ОЯТ и РАО

Ресурсо- и энергосберегающие, экологически безопасные радиохимические процессы переработки ОЯТ и РАО. Классификация ЖРО и их химический и радионуклидный состав. Требования, предъявляемые к современным технологиям переработки ЖРО, и основные методы их переработки. Органические компоненты ЖРО и методы их удаления. AOP's (Advanced Oxidation Processes) технологии, гидротермальное окисление. Методы кондиционирования РАО.

Перспективы использования жидко-экстракционных процессов COEX, DIAMEX, SANEX и др. для переработки ОЯТ. Сорбционные технологии при переработке ОЯТ и утилизации РАО. Технология валоксидации. Прогнозирование состояния и поведения матриц для консервации актинидов,

содержащихся в ОЯТ. Иммуобилизирующие матрицы. Развитие концепции изоляции РАО путем капсулирования матричных материалов в оболочках из низкотемпературной керамики. Синтез матриц полимерного типа для иммобилизации Cs-Sr-фракций продуктов деления ядерного горючего. Нанокавитация для дезактивации объектов атомной энергетики.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Очная (дневная) форма получения высшего образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов				Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Радиохимия в современной ядерной индустрии						
1.1	Основные направления современной прикладной радиохимии	4					Экспресс-опрос
2	Производство и применение радиоактивных изотопов						
2.1	Производство радиоактивных изотопов	2		2			Диалог вопрос-ответ
2.2	Радиоактивные изотопы в химии, геологии и материаловедении	2					Экспресс-опрос
2.3	Меченые соединения: синтез и свойства	2					Экспресс-опрос
3	Радиохимические аспекты ядерной медицины						
3.1	Радионуклиды медицинского назначения	2		2			Тематическая презентация

3.2	Радиофармпрепараты (РФП)	4				2	Аналитический обзор
4	Радиохимические проблемы атомной энергетики						
4.1	Радиохимический контроль на АЭС и управление радиоэкологическим риском	2			30		Отчеты по лабораторным работам
4.2	Процессы коррозии на объектах атомной энергетики	2		2			Диалог вопрос- ответ
4.3	Современные подходы к переработке ОЯТ и РАО	4				2	Аналитический обзор
ИТОГО		24		6	30	4	

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основная литература

1. Бекман, И. Н. Радиохимия : учебник и практикум для вузов : [в 2 т.] / И. Н. Бекман. – Москва : Юрайт, 2020. – Т. 2 : Прикладная радиохимия и радиационная безопасность. – 2020. – 386 с.
2. Егоров, Ю. В. Методы концентрирования и разделения радионуклидов : учебное пособие / Ю. В. Егоров, Н. Д. Бетенеков, В. Д. Пузако; под общ. ред. Ю. В. Егорова. – 2-е изд. – Москва : Юрайт ; Екатеринбург : Изд-во Уральского ун-та, 2022. – 129 с.
3. Общая и медицинская радиология : радиационные технологии : учебное пособие для вузов / под ред. А.Н.Усенко. – 2-е изд. – Москва : Юрайт, 2023. – 217 с.
4. Савастенко, В.А. Радиационная безопасность. Практикум : учебное пособие / В. А. Савастенко. – Минск: РИВШ, 2024. – 176 с.

Перечень Интернет-ресурсов

1. Электронная версия научного журнала «Радиохимия». – Режим доступа: <https://sciencejournals.ru/list-issues/radkhim/>
2. Электронная версия журнала «Радиационная биология. Радиоэкология». – Режим доступа: <https://sciencejournals.ru/list-issues/radbio/>
3. Электронный портал ядерных знаний Республики Беларусь BelNet. – Режим доступа: <https://belnet.bsu.by>.
4. Образовательный портал химического факультета БГУ: Прикладная радиохимия. – Режим доступа: <https://educhem.bsu.by/course/view.php?id=332>

Дополнительная литература

1. Баранов, В. Ю. Изотопы: свойства, получение, применение / В. Ю. Баранов. Т. 1, 2. – М.: 2005.
2. Бойко, В.И. Ядерные технологии в различных сферах человеческой деятельности. / В.И., Бойко Ф.П. Кошелев. – 2-е. изд. - Томск: Из-во ТПУ, 2008. – 341 с.
3. Вахрушин, А.Ю. Химико-технологические аспекты осуществления трансмутационных циклов / А.Ю. Вахрушин, А.А. Жеребцов, А.Ю. Шадрин : М-во науки и образования РФ, Национальный исследовательский ядерный ун-т «МИФИ». – Москва : НИЯУ МИФИ. – 2021. – 144 с.
4. Милютин, В.В. Современные методы переработки жидких радиоактивных отходов : учебное пособие / В.В. Милютин, П.В. Козлов, Н.А. Некрасова. – 2-е. изд. доп. - Москва: НИЯУ МИФИ, 2021. – 172 с.
5. Основы радиохимии и радиоэкологии. Практикум : учебное пособие

/ под ред. М.И. Афанасова. – Москва : Принт-ателье, 2016. – 113 с.

6. Химические проблемы атомной энергетики. Т.2. Радиохимический анализ и радиохимические технологии / Л.Н. Москвин [и др.], под ред. Л.Н. Москвина. – СПб.: Изд-во «ВВМ», 2013. – 283 с.

7. Химические проблемы атомной энергетики. Т.3. Химические технологии продления ресурса и повышения радиационной безопасности ЯЭУ. Коррозионные процессы в контурах ЯЭУ / Л.Н. Москвин [и др.], под ред. Л.Н. Москвина. – СПб.: Изд-во «ВВМ», 2016. – 240 с.

8. Choppin, G. Radiochemistry and Nuclear Chemistry / G. Choppin, J.O. Liljenzin, J. Rydberg, Ch. Edberg. – Elsevier, 2013. – 866 p.

9. Lovas, R.G. Handbook of Nuclear Chemistry: Radiochemistry and Radiopharmaceutical Chemistry in Life Sciences. – Vol. 4. – Springer, 2003. – 398 p.

10. Ojovan, M.I. An introduction to nuclear waste immobilization / M.I. Ojovan, W.E. Lee, S.N. Kalmykov. – Elsevier Science BV, 2019. – 497 p.

11. Jadvar, H., Parker, J.A. Clinical PET and PET/CT. – Springer, 2005. – 279 p.

Перечень используемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки

Текущий контроль качества усвоения знаний по данной учебной дисциплине может осуществляться с использованием следующих форм диагностики компетенций:

1. Экспресс-опрос;
2. Диалог вопрос–ответ;
3. Подготовка аналитических обзоров и тематической презентации;
4. Защита лабораторных работ.

Форма промежуточной аттестации по дисциплине «Прикладная радиохимия» учебным планом предусмотрен экзамен.

Для формирования итоговой отметки по учебной дисциплине используется модульно-рейтинговая система оценки знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая система предусматривает использование весовых коэффициентов для текущей и промежуточной аттестации студентов по учебной дисциплине.

Формирование итоговой отметки в ходе проведения контрольных мероприятий текущей аттестации (примерные весовые коэффициенты, определяющие вклад текущей аттестации в отметку при прохождении промежуточной аттестации):

- ответы на семинарских занятиях, участие в экспресс-опросах – 20 %;
- аналитические обзоры, тематическая презентация – 30 %;
- выполнение и защита лабораторных работ – 50 %.

Итоговая отметка по дисциплине рассчитывается на основе итоговой отметки текущей аттестации (рейтинговой системы оценки знаний) - 50 %, и отметки на экзамене – 50 %.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов

Тема № 3.2. Радиофармпрепараты (РФП) (2 ч.)

Задание. Рассмотреть основные способы синтеза РФП, их применение для диагностики и терапии, методы контроля качества РФП на основе обзора оригинальных научных статей журналов «Радиохимия», «Радиационная биология. Радиоэкология» и др.

Форма контроля – аналитический обзор.

Тема № 4.3. Современные подходы к переработке ОЯТ и РАО (2 ч.)

Задание. Рассмотреть традиционные технологии переработки ОЯТ и РАО, применяемые на радиохимических заводах, а также альтернативные ресурсо- и энергосберегающие технологии на основе обзора оригинальных научных статей журналов «Радиохимия», «Радиационная биология. Радиоэкология» и др.

Форма контроля – аналитический обзор.

Примерная тематика семинарских занятий

Семинар № 1. Изотопная экономика. Производство изотопов и их применение.

Семинар № 2. Радионуклиды в ядерной медицине

Семинар № 3. Коррозионный мониторинг на АЭС.

Примерная тематика лабораторных занятий

1. Гомогенизация образцов и проверка степени их гомогенности. Отбор представительных проб для радиохимического анализа.

2. Определение содержания Sr-90 в образцах почвы методом радиохимического анализа с выделением и регистрацией дочернего Y-90.

3. Разделение и очистка плутония и америция с помощью ионообменных смол. Выделение радионуклидов из растворов и формирование измерительных мишеней. Альфа-спектрометрическая идентификация радионуклидов. Определение химического выхода плутония и америция.

4. Выделение урана из раствора и его очистка с помощью ионообменных смол. Совместное осаждение урана с фторидом церия (IV) и формирование измерительной мишени. Альфа-спектрометрическая

идентификация радионуклидов урана. Определение химического выхода урана и расчет содержания радионуклидов урана в изученных образцах.

5. Определение коэффициента распределения ^{137}Cs между твердой фазой почвы и модельными растворами, имитирующими почвенную влагу. Оценка миграционной способности и биологической доступности ^{137}Cs в почве.

6. Радиографический метод обнаружения радионуклидов и их распределения в почвенных образцах.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используются *практико-ориентированный подход, метод группового обучения и метод учебной дискуссии*.

Практико-ориентированный подход предполагает освоение содержание образования посредством выполнения лабораторных работ; ориентацию на генерирование идей, реализацию групповых студенческих проектов.

Метод группового обучения представляет собой форму организации учебно-познавательной деятельности обучающихся, предполагающую функционирование разных типов малых групп, работающих как над общими, так и специфическими учебными заданиями.

Метод учебной дискуссии предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной проблеме. Использование метода обеспечивает появление нового уровня понимания изучаемой темы, применение знаний (теорий, концепций) при решении проблем, определение способов их решения.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

При изучении учебной дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

- поиск и обзор литературы и электронных источников по заданной теме;
- изучение материалов, размещенных на образовательном портале химического факультета БГУ (дисциплина «Прикладная радиохимия»);
- изучение материалов, размещенных на электронном портале ядерных знаний Республики Беларусь.

Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Основные направления развития прикладной радиохимии. Место радиохимии в современной ядерной индустрии.

2. Производство и области применения радионуклидной продукции. Изотопная экономика.
 3. Основные производимые радионуклиды. Способы получения изотопов.
 4. Методы разделения радиоизотопов. Рассмотреть конкретные примеры.
 5. Факторы, определяющие спрос на радионуклид в ядерной медицине.
 6. Требования, предъявляемые к радионуклидам, используемым в ядерной медицине.
 7. Выбор условий получения радионуклидов.
 8. Требования, предъявляемые к мишеням и мишенным устройствам.
 9. Номенклатура меченых соединений. NCA и SIL-соединения.
- Тренды в производстве меченых соединений
10. Методы синтеза меченых соединений.
 11. Факторы, влияющие на выход МС. Методы идентификации меченых соединений.
 12. Получение меченых соединений методом изотопного обмена.
 13. Идеальный РФП и его характеристики. Привести конкретный пример использования РФП.
 14. Способы синтеза и контроль качества РФП. Определение радионуклидной и радиохимической чистоты.
 15. Цели и задачи радиохимического контроля на АЭС. Общая характеристика объектов и методов контроля.
 16. Основные этапы радиохимического анализа объектов окружающей среды на содержание радионуклидов америция.
 17. Основные этапы радиохимического анализа объектов окружающей среды на содержание радионуклидов плутония.
 18. Основные этапы радиохимического анализа объектов окружающей среды на содержание радионуклидов стронция.
 19. Коррозионный мониторинг ЯЭУ.
 20. Виды коррозионных разрушений материалов ЯЭУ.
 21. Коррозия ЯЭУ: основные понятия в соответствии с Международным стандартом ИСО-8044. Коррозионные агенты.
 22. Экологический менеджмент в ядерной отрасли: задачи, контролируемые показатели.
 23. Классификация ЖРО и их химический и радионуклидный состав. Формы существования радионуклидов в растворах.
 24. Требования, предъявляемые к современным технологиям переработки ЖРО, и основные методы их переработки.
 25. Органические компоненты ЖРО и методы их удаления.
 26. AOP's (Advanced Oxidation Processes) технологии, гидротермальное окисление.
 27. Матрицы для иммобилизации РАО.

28. Классификация методов переработки ОЯТ. Сорбционные технологии. Технология валоксидации.

29. Перспективы использования COEX, DIAMEX, SANEX и других экстракционных процессов для переработки ОЯТ.

30. Нанокавитация для дезактивации объектов атомной энергетики.

**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.)
(название кафедры)

Заведующий кафедрой

(ученая степень, ученое звание)

(И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета

(ученая степень, ученое звание)

(И.О.Фамилия)

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)
Химические основы радиационной биологии	Кафедра радиационной химии и химико-фармацевтических технологий	Изменений не требуется	протокол № 4 от 21.11.2024 г.
Коррозия электрохимия металлов	и Кафедра физической химии и электрохимии	Изменений не требуется	протокол № 5 от 03.12.2024 г.

Заведующий кафедрой радиационной химии и химико-фармацевтических технологий,
к.х.н., доцент



И.М.Кимленко

03. декабря 2024 г.

Заведующий кафедрой физической химии и электрохимии, д.х.н., профессор



Е.А.Стрельцов

03. декабря 2024 г.