

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Ректор Белорусского
государственного университета

А.Д.Король

23 декабря 2024 г.
Регистрационный № 1934/н.



РАДИОХИМИЯ

Учебная программа учреждения образования по учебной дисциплине для
специальности:

7-07-0531-02 Химия высоких энергий

2024 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 7-07-0531-02 и учебного плана № 7-5.5-69/01 от 15.05.2023.

СОСТАВИТЕЛЬ:

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

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

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

Юркова Ирина Леонидовна, профессор кафедры аналитической химии Белорусского государственного университета, доктор химических наук, доцент.

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

Радиохимия изучает химические свойства и физико-химические закономерности поведения радиоактивных элементов и отдельных радионуклидов, методы их выделения и концентрирования. Включает также промышленную отрасль, связанную с получением высокорadioактивных материалов и регенерацией ядерного горючего, разработкой методов применения радионуклидов. В связи с этим, радиохимия относится к той области знания, которая совершенно необходима для подготовки специалистов, способных решать вопросы, связанные с обеспечением безопасной работы АЭС и других предприятий ядерного топливного цикла, а также развивать ядерные технологии для неэнергетических целей, включая ядерную медицину, сельское хозяйство и др.

Цели и задачи учебной дисциплины

Назначение дисциплины – формирование у студентов целостной системы знаний по общим и прикладным аспектам радиохимии, включая химические свойства радиоактивных элементов, закономерности их физико-химического поведения, методы определения, выделения и разделения радионуклидов.

Цель учебной дисциплины – дать характеристику радиохимической науки в ее современном состоянии, ознакомить студентов с тенденциями и перспективами развития радиохимии, раскрыть ее значение в развитии общества и место среди других наук.

Задачи учебной дисциплины:

– ознакомить студентов с химическими свойствами и физико-химическими закономерностями поведения радиоактивных элементов, состоянием радиоактивных элементов в растворах, методами их выделения и концентрирования, закономерностями распределения радионуклидов между фазами в процессах осаждения, адсорбции, электрохимических процессах, экстракции и др.;

– дать общие сведения по прикладным вопросам радиохимии: химии ядерного горючего, роли радиохимии при работе АЭС, методам получения радиоактивных изотопов и их применению, методу радиоактивных индикаторов;

– рассмотреть роль радиохимии в обеспечении экологической и радиационной безопасности.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием.

Учебная дисциплина относится к модулю «Радиохимия и радиометрия» компонента учреждения образования.

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

Данная дисциплина связана со следующими дисциплинами, преподаваемыми на химическом факультете БГУ: «Радиометрия», «Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений», «Источники ионизирующих излучений».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Радиохимия» должно обеспечить формирование следующих компетенций:

Специализированные компетенции:

Разрабатывать алгоритмы проведения радиохимического эксперимента с учетом возможностей радиохимических методов для разделения, выделения и концентрирования радионуклидов, определения состояния радионуклидов в растворах, газовой и твердой фазах, экологической и радиохимической безопасности.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

знать:

- тенденции развития современной радиохимии;
- механизм процессов изотопного обмена и их применение;
- физико-химическое состояние радионуклидов в различных средах и методы их определения;
- основные методы получения радиоактивных изотопов и области их применения;
- место радиохимии в технологии производства и переработки ядерных материалов, обеспечении безопасной работы АЭС;
- формы нахождения радионуклидов в объектах окружающей среды и роль радиохимии в решении экологических проблем.

уметь:

- применять свои знания для решения исследовательских и прикладных задач, планирования радиохимического эксперимента;
- оценивать возможности радиохимических методов для разделения, выделения и концентрирования радионуклидов, определения состояния радионуклидов в растворах, газовой и твердой фазах;
- проводить расчет содержания радионуклидов в объектах окружающей среды;
- адекватно анализировать ситуацию для принятия решений, обеспечивающих экологическую и радиационную безопасность окружающей среды.

иметь навык:

- организации и планирования радиохимического эксперимента;
- выбора и применения различных методов разделения, выделения и концентрирования радионуклидов;
- оценки и прогнозирования радиационной обстановки в целях обеспечения безопасности населения и окружающей среды.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 4 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Радиохимия» отведено:

– для очной формы получения высшего образования – 102 часа, в том числе 50 аудиторных часов, из них: лекции – 30 часов, семинарские занятия – 16 часов, управляемая самостоятельная работа (УСР) – 4 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетных единицы.

Форма промежуточной аттестации – экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1. Общая радиохимия

Тема 1.1. Предмет радиохимии

История научных открытий конца XIX и начала XX века, приведших к возникновению радиохимии и становлению её как самостоятельного раздела химии. Роль ученых различных стран в создании и развитии радиохимии. Характерные особенности и этапы развития радиохимии. Основные направления развития современной радиохимии.

Тема 1.2. Поведение изотопных частиц. Процессы изотопного обмена

Общехимические свойства изотопных частиц. Причины идентичности общехимических свойств изотопов. Термодинамическое поведение изотопных частиц. Критерии идентичности термодинамического поведения изотопов. Кинетическое поведение изотопных частиц. Критерии идентичности кинетического поведения изотопов.

Классификация реакций изотопного обмена. Особенности и причины протекания реакций изотопного обмена. Кинетика гомогенного изотопного обмена. Степень обмена. Механизмы реакций изотопного обмена. Использование реакций гомогенного изотопного обмена для выяснения химической природы соединения. Гетерогенный изотопный обмен. Использование изотопного обмена для синтеза меченых соединений. Экспериментальные методы исследования процессов изотопного обмена.

Тема 1.3. Состояние радионуклидов в различных фазах

Растворы: ионно-дисперсное, молекулярное и коллоидное состояние. Истинные коллоиды и псевдоколлоиды. Факторы, влияющие на процесс образования радиоколлоидов. Методы изучения: адсорбция, десорбция, диализ, ультрафильтрация, центрифугирование и др.

Газовая фаза: молекулярно-дисперсное состояние, радиоактивные аэрозоли. Способы очистки воздуха от радиоактивных газов и аэрозолей.

Состояние радионуклидов в твердой фазе (минералы, горные породы, почвы). Методы изучения (выщелачивание, радиография, мессбауэровская спектроскопия).

Тема 1.4. Распределение радионуклидов между твердой и жидкой фазами

Значение процессов распределения для радиохимии. Поведение вещества в состоянии крайнего разведения и процессы соосаждения. Правило Хана. Объединенное правило Фаянса-Хана. Процессы изоморфной и изодиморфной сокристаллизации. Гомогенное распределение микрокомпонента между твердой и жидкой фазами. Закон Бертло-Нернста. Закон Хлопина. Факторы, влияющие на распределение компонентов между твердой и жидкой фазами. Гетерогенное (неравновесное) распределение микрокомпонента между твердой и жидкой фазами. Распределение микрокомпонента между твердой фазой и расплавом. Методы разграничения различных видов сокристаллизации.

Примеры использования процессов изоморфной сокристаллизации при радиохимических исследованиях.

Адсорбция радиоактивных веществ. Классификация адсорбционных процессов по Ратнеру. Первичная потенциалообразующая адсорбция. Первичная обменная адсорбция. Вторичная обменная адсорбция. Влияние на адсорбционные процессы различных факторов. Особенности процессов распределения вещества в результате внутренней адсорбции. Методы разграничения отдельных видов адсорбции. Использование адсорбционных процессов в радиохимии.

Тема 1.5. Электрохимические методы в радиохимии

Особенности электрохимии радиоактивных элементов. Критический потенциал осаждения радиоактивных элементов и методы его определения. Применимость уравнения Нернста к случаю электрохимического осаждения микроколичеств вещества. Влияние природы электрода на величину критического потенциала осаждения радиоактивных элементов. Электрохимические методы выделения и разделения радиоактивных элементов. Бестоковое осаждение. Электрохимическое выделение изотопов с применением внешней ЭДС. Электромиграция.

Тема 1.6. Ионообменные методы в радиохимии

Физико-химические основы метода. Требования к ионообменным смолам и их основные свойства. Общие закономерности ионообменной хроматографии. Изучение состояния радиоактивных изотопов методом ионного обмена. Практические вопросы разделения и выделения изотопов с помощью ионного обмена.

Тема 1.7. Экстракционные методы в радиохимии

Общие представления и основные закономерности. Факторы, влияющие на процесс экстракции. Нейтральные, кислотные и основные экстрагенты. Кинетика процессов экстракции. Применение экстракционных процессов в радиохимии (ПУРЭКС, КАРБЭКС, UNEX и др.). «Зеленые» экстракционные технологии.

Раздел 2. Химия радиоактивных элементов

Тема 2.1. Радиоактивные элементы в природе

Свойства и характеристики представителей естественных радиоактивных семейств: актиний, франций, радий, астат, радон, висмут, полоний. Особенности первых членов радиоактивных семейств (торий, уран). Распространенность в природе: минералы, экономически рентабельные месторождения, низкосортные месторождения. Получение и очистка. Предварительное концентрирование. Извлечение из руд. Переработка урановой руды в ядерное топливо.

Тема 2.2. Химия технеция

Технеций: значение и применение. Ядерно-физические свойства. Простые и сложные соединения: гидриды, оксиды, сульфиды, галогениды,

металлорганические соединения. Кластерные соединения. Химия растворов. Технеций в окружающей среде. Методы определения и разделения технеция.

Тема 2.3. Актиниды и трансактиниды

Терминология: ураниды, кюриды, трансурановые элементы, минорные актиниды, трансактиниды. Границы периодической системы элементов.

Возникновение актиноидной гипотезы (Бор, Сиборг). Общая характеристика гипотезы. Характеристика электронных структур элементов. Современные данные о состояниях окисления актинидов.

Нептуний, плутоний, америций: значение, применение, поведение в окружающей среде. Ядерно-физические свойства. Простые и сложные соединения: гидриды, карбиды, силициды, халькогениды, галогениды. Химия растворов. Состояния окисления. Методы определения и разделения.

Трансактиниды: электронные конфигурации, экспериментально доказанные и предсказанные химические свойства. Синтез сверхтяжелых элементов.

Раздел 3. Прикладная радиохимия

Тема 3.1. Производство и применение радиоактивных изотопов

Основные способы получения радиоизотопов и их применение в ядерной медицине, промышленности и других областях.

Применение радиоактивных изотопов в химических исследованиях. Преимущества использования радионуклидов в химическом анализе. Определение малого содержания вещества по известной удельной активности, метод изотопного разбавления, анализ, основанный на использовании избытка осадителя, радиометрическое титрование. Активационный анализ. Использование радиоактивных индикаторов для определения растворимости малорастворимых веществ, давлений насыщенных паров, коэффициентов диффузии, констант скоростей реакций, изучение адсорбции на электроде и др. Основные типы задач, решаемых с помощью радиоактивных индикаторов в органической химии. Изучение с использованием радионуклидов механизмов органических реакций; идентификация места разрыва или образования химических связей.

Тема 3.2. Основы химии ядерного топливного цикла и радиозэкологической безопасности

Место радиохимии в технологии производства и переработки ядерных материалов. Химия ядерного горючего. Основные этапы ядерного топливного цикла. Преимущества и недостатки различных ЯТЦ. Химия продуктов деления. Отработанное ядерное топливо. Радиохимическая переработка облученного ядерного топлива. Технология обезвреживания радиоактивных отходов: сбор, транспортировка, очистка, переработка, хранение. Нанотехнологии в ядерной энергетике.

Мировые лидеры по темпам роста мощностей ядерной энергетики (КНР, Российская Федерация и др.). Атомная энергетика в свете глобальных

экологических проблем и достижения целей декарбонизации. Анализ перспектив и преимуществ развития атомной энергетики на примере Белорусской АЭС и АЭС Даявань (Шэньчжэнь, провинция Гуандун, КНР).

Радиоэкологические последствия эксплуатации радиационно-опасных объектов. Исследование форм нахождения, миграционного поведения техногенных радионуклидов в окружающей среде. Радиационный мониторинг. Особенности объектов исследования. Отбор и первичная обработка проб. Растворение анализируемых проб. Выделение и радиохимическая очистка исследуемых элементов.

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	Общая радиохимия						
1.1	Предмет радиохимии	2				2	Аналитический обзор
1.2	Поведение изотопных частиц. Процессы изотопного обмена	2		2			Диалог вопрос-ответ, решение задач
1.3	Состояние радионуклидов в различных фазах	2		2			Диалог вопрос-ответ, решение задач
1.4	Распределение радионуклидов между твердой и жидкой фазами	4		2			Диалог вопрос-ответ, решение задач
1.5	Электрохимические методы в радиохимии	2		1			Диалог вопрос-ответ, решение задач
1.6	Ионообменные методы в радиохимии	2		1			Диалог вопрос-ответ, решение задач
1.7	Экстракционные методы в радиохимии	2		2			Диалог вопрос-ответ, решение задач

2	Химия радиоактивных элементов						
2.1	Радиоактивные элементы в природе	2		2			Тематическая презентация
2.2	Химия технеция	2					Диалог вопрос-ответ, решение задач
2.3	Актиниды и трансактиниды	4		2			Тематическая презентация
3	Прикладная радиохимия						
3.1	Производство и применение радиоактивных изотопов	2				2	Аналитический обзор
3.2	Основы химии ядерного топливного цикла и радиоэкологической безопасности	4		2			Эвристический диалог
ИТОГО		30		16		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. 1 : Фундаментальная радиохимия. - 2020. - 473 с.
2. 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.
3. Пучкова, Е. В. Ядерная химия. Избранные главы: учебник [для вузов] / Е. В. Пучкова. - Изд. 2-е, стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2021. - 188 с.

Перечень Интернет-ресурсов

1. Сайт Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь (раздел «Радиационный мониторинг»). – Режим доступа: <https://www.nsmos.by/environmental-monitoring/radiacionnyy-monitoring>
2. Электронная версия научного журнала «Радиохимия». – Режим доступа: <https://sciencejournals.ru/list-issues/radkhim/>
3. Электронная версия журнала «Радиационная биология. Радиоэкология». – Режим доступа: <https://sciencejournals.ru/list-issues/radbio/>
4. Электронный портал ядерных знаний Республики Беларусь BelNet. – Режим доступа: <https://belnet.bsu.by>.
5. Образовательный портал химического факультета БГУ: Радиохимия (ХФЭ). Режим доступа: <https://educhem.bsu.by/course/view.php?id=77>.

Дополнительная литература

1. Вдовенко, В. М. Современная радиохимия / В. М. Вдовенко. - Москва : Атомиздат, 1969. - 544 с.
2. Гергалов, В. И. Радиохимия : учеб.-метод. пособие : в 2 ч. / В. И. Гергалов ; БГУ. - Минск : БГУ, 2015. - Ч. 1 : Радиоактивность и защита от ионизирующих излучений. – 2015. – 119 с.
3. Гергалов, В. И. Радиохимия : учеб.-метод. пособие: в 2 ч. / В. И. Гергалов; БГУ. - Минск : БГУ, 2017. - Ч. 2 : Использование радиоизотопов для решения практических задач - 2017. - 119 с.
4. Давыдов, Ю. П. Основы радиохимии : учеб. пособие. / Ю. П. Давыдов. - Минск : Вышэйшая школа, 2014. - 318 с.
5. 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.

6. Несмеянов, А. Н. Радиохимия : учебник / А. Н. Несмеянов. - Изд. 2-е, перераб. - Москва : Химия, 1978. - 559 с.
7. Нефедов, В. Д. Радиохимия : учеб. пособие / В. Д. Нефедов, Е. Н. Текстер, М. А. Торопова. - Москва : Высшая школа, 1987. - 271.
8. Химия актиноидов: В 3-х т. Т.1. Пер. с англ./ Под ред. Дж.Каца, Г.Сиборга, Л.Морсса. – М.: Мир 1991. – 525 с.
9. Химия актиноидов: в 3-х т. Т.2. / Пер. с англ. Под ред. Дж.Каца, Г.Сиборга, Л.Морсса. – М.: Мир 1997. – 664 с.
10. Химия актиноидов : в 3 т. Т. 3 / [авт.: Фриц Вайгель и др.] ; пер. с англ. И. А. Лебедева [и др.] под ред. Б. Ф. Мясоедова, С. А. Перевалова. - Москва : Мир, 1999. - 648 с.
11. Adloff Jean-Pierre. Fundamentals of Radiochemistry. – Boca Raton; London; New York: CRC Press, 2018. – 414 p.
12. Radiochemistry and Nuclear Chemistry / by G. Chopin etc. – 4th ed. – Elsevier, 2013. – 858 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. Диалог вопрос–ответ;
2. Эвристический диалог;
3. Подготовка тематических презентаций;
4. Подготовка аналитических обзоров.

Форма промежуточной аттестации по дисциплине «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 – 40 %;
- участие в эвристическом диалоге – 10 %.
- выполнение заданий (подготовка аналитических обзоров, тематических презентаций) – 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 1.1: «Предмет радиохимии», 2 часа

Задание 1. Рассмотреть основные направления развития современной радиохимии на основе обзора оригинальных научных статей по различным аспектам радиохимической науки, опубликованных в журнале «Радиохимия» последних лет издания.

Форма контроля – аналитический обзор.

Тема 3.1: «Производство и применение радиоактивных изотопов», 2 часа

Задание 1. Рассмотреть основные методы получения изотопов и области их применения.

Задание 2. Привести примеры применения радиоактивных изотопов в химических исследованиях.

Форма контроля – аналитический обзор.

Примерная тематика семинарских занятий

Семинар № 1. Механизмы реакций изотопного обмена.

Семинар № 2. Состояние радионуклидов в растворах.

Семинар № 3. Закономерности распределения радионуклидов между твердой и жидкой фазами.

Семинар № 4. Электрохимические и ионообменные методы выделения и разделения радиоактивных элементов.

Семинар № 5. Разделение и выделение радионуклидов методом экстракции. «Зеленые» экстракционные технологии.

Семинар № 6. Химия урана и тория.

Семинар № 7. Ядерно-физические и химические свойства трансурановых элементов. Методы определения и разделения.

Семинар № 8. Атомная энергетика в свете глобальных экологических проблем. Радиационный мониторинг.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

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

Практико-ориентированный подход предполагает:

- освоение содержание образования через решения практических задач;
- приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности;
- ориентацию на генерирование идей, реализацию групповых студенческих проектов, развитие предпринимательской культуры;
- использованию процедур, способов оценивания, фиксирующих сформированность профессиональных компетенций.

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.

При преподавании дисциплины используется образовательный модуль, созданный в *технологии подкастинга* и включающий лекции в виде аудио- и видеофайлов и тестовые задания к ним по теме «Основы химии ядерного топливного цикла».

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 «Радиохимия»);
- изучение материалов, размещенных на электронном портале ядерных знаний Республики Беларусь;
- анализ информации по радиационному мониторингу, представленной на сайте Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь.

Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Предмет, задачи, характерные особенности и этапы развития радиохимии.
2. Общехимические свойства изотопных частиц. Термодинамическое и кинетическое поведение изотопных частиц.
3. Классификация реакций изотопного обмена. Особенности и

причины протекания реакций изотопного обмена.

4. Механизмы реакций изотопного обмена. Области использования реакций изотопного обмена.

5. Кинетика гомогенного изотопного обмена. Степень обмена.

6. Первичная и вторичная обменная адсорбция. Внутренняя адсорбция.

7. Первичная потенциалообразующая адсорбция.

8. Состояние радиоактивных элементов в различных средах и методы его изучения.

9. Факторы, влияющие на распределение компонентов между твердой и жидкой фазами.

10. Закономерности соосаждения: правило Гана, закон Хлопина, уравнение Гендерсона-Кречека.

11. Процессы соосаждения с изотопными, специфическими и неспецифическими носителями.

12. Кинетика процессов соосаждения. Уравнение Дернера-Госкинса.

13. Электрохимические методы выделения и разделения радиоактивных элементов.

14. Применимость уравнения Нернста к случаю электрохимического осаждения микроколичеств вещества.

15. Критический потенциал осаждения радиоактивных элементов: понятие, методы определения, влияние природы электрода на величину потенциала.

16. Преимущества и недостатки электрохимических методов. Основные характеристики.

17. Ионообменные методы в радиохимии: физико-химические основы.

18. Виды колоночной хроматографии. Комплексообразовательная хроматография в радиохимии.

19. Иониты, применяемые в радиохимии, и их основные свойства.

20. Мессбауэровская спектроскопия и ее применение в радиохимии.

21. Основные характеристики процесса экстракции и ее применение в радиохимии. Нейтральные, кислотные и основные экстрагенты.

22. «Зеленые» экстракционные технологии.

23. Технеций: ядерные свойства. Простые и сложные соединения: гидриды, оксиды, сульфиды, галогениды, металлоорганические соединения. Кластерные соединения. Химия растворов.

24. Применение технеция. Технеций в окружающей среде. Методы определения и разделения технеция.

25. Актиниды. Общая характеристика гипотезы Сиборга. Свойства, характерные степени окисления, поведение в растворах.

26. Нептуний: ядерные свойства. Простые и сложные соединения. Химия растворов.

27. Методы определения и разделения нептуния.

28. Плутоний: ядерные свойства. Простые и сложные соединения.

Химия растворов.

- 29. Методы определения и разделения плутония.
- 30. Реакция деления: характеристики. Химия продуктов деления.
- 31. Переработка урановой руды в ядерное топливо. Аффинаж урана.
- 32. Радиохимическая переработка ОЯТ.
- 33. Радиоактивные индикаторы в химических исследованиях.
- 34. Нанотехнологии в ядерной энергетике.

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)
Радиометрия	Кафедра радиационной химии и химико-фармацевтических технологий	Изменений не требуется	Протокол № 4 от 21.11.2024
Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений	Кафедра радиационной химии и химико-фармацевтических технологий	Изменений не требуется	Протокол № 4 от 21.11.2024
Источники ионизирующих излучений	Кафедра радиационной химии и химико-фармацевтических технологий	Изменений не требуется	Протокол № 4 от 21.11.2024

Заведующий кафедрой, к.х.н., доцент

И.М.Кимленко

____. _____ 20 __ г.

**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)
Радиометрия	Кафедра радиационной химии и химико-фармацевтических технологий	Изменений не требуется	Протокол № 4 от 21.11.2024
Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений	Кафедра радиационной химии и химико-фармацевтических технологий	Изменений не требуется	Протокол № 4 от 21.11.2024
Источники ионизирующих излучений	Кафедра радиационной химии и химико-фармацевтических технологий	Изменений не требуется	Протокол № 4 от 21.11.2024

Заведующий кафедрой, к.х.н., доцент



И.М.Кимленко

21. ноября 2024 г.