

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе и  
образовательным инновациям

О.Г.Прохоренко

«30» июня 2022 г.

Регистрационный № УД-11122 /уч.

**Инновационные технологии в ядерной и радиохимии**

**Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине для специальности:**

1-100 80 01 Ядерная и радиационная безопасность

Профилизация:

Радиационная защита и культура ядерной безопасности

2022 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-100 80 01-2022 типового учебного плана № Р-100-2-001/пр.-тип. от 09.02.2022 г. и учебного плана Р 100-177/уч. от 22.02.2022 г.

**СОСТАВИТЕЛИ:**

И.М.Кимленко, доцент кафедры радиационной химии и химико-фармацевтических технологий химического факультета, кандидат химических наук, доцент;

С.В.Кобяшева, старший преподаватель кафедры радиационной химии и химико-фармацевтических технологий химического факультета.

**РЕЦЕНЗЕНТ:**

Т.А.Тимофеева, доцент кафедры экологии Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины, кандидат биологических наук, доцент.

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой радиационной химии и химико-фармацевтических технологий химического факультета Белорусского государственного университета (протокол № 12 от 24.06.2022 г.)

Научно-методическим советом Белорусского государственного университета (протокол № 6 от 29.06.2022 г.)

Декан \_\_\_\_\_

Д.В. Свиридов

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

**Цель** дисциплины – формирование компетенций в сфере ядерных и радиохимических технологий, получение студентом знаний о современных тенденциях развития ядерной и радиохимии и конкретных примерах инновационных разработок в данной области.

### **Задачи** дисциплины:

- сформировать полную и ясную картину тенденций и перспектив развития современных ядерной и радиохимии;
- отразить результаты современных научных исследований, проводимых в ведущих научных центрах мира и Республики Беларусь;
- сформировать научное мировоззрение, позволяющее развивать инновационные технологии, безопасные для окружающей среды, населения и персонала предприятий атомной отрасли с учетом норм МАГАТЭ.

Курс структурно разделен на три раздела, которые отражают его внутреннюю логику и включают отдельные темы ядерной физики, радиоаналитической и коллоидной химии, электрохимии.

**Место учебной дисциплины** в системе подготовки специалиста с высшим образованием.

Учебная дисциплина относится к модулю «Прикладная радиохимия» компонента учреждения высшего образования.

Данный курс связан с такими дисциплинами как «Актуальные вопросы современной физики ядра и элементарных частиц», «Радиационная химия воды и водных растворов».

### **Требования к компетенциям**

Освоение учебной дисциплины «Инновационные технологии в ядерной и радиохимии» должно обеспечить формирование следующих компетенций:

#### ***универсальных компетенций:***

УК-2. Развивать инновационную восприимчивость и способность к инновационной деятельности.

УК-4. Быть способным к прогнозированию условий реализации профессиональной деятельности и решению профессиональных задач в условиях неопределенности.

#### ***углубленных профессиональных компетенций:***

УПК-4. Анализировать ядерные, термические и радиохимические процессы, протекающие на атомных электростанциях, осуществлять их моделирование и давать рекомендации по оптимизации этих процессов с целью повышения уровня эффективности и безопасности.

### **специальных компетенций:**

СК-2. Оценивать воздействие высокоэнергетических частиц на свойства материалов и жидких сред и реализовывать с учетом этого инновационные радиохимические технологии при решении исследовательских и прикладных задач ядерной и радиохимии.

В результате освоения дисциплины обучаемый должен:

#### **знать:**

- содержание и соотношение понятий «ядерная химия» и «радиохимия»;
- тенденции развития современных ядерной и радиохимии;
- физико-химические закономерности поведения радионуклидов, методы их выделения и концентрирования;
- способы производства радиоактивных изотопов и области их применения;
- место ядерной и радиохимии в технологии производства и переработки ядерных материалов, обеспечении безопасной работы АЭС.
- конкретные примеры инновационных разработок в области ядерной индустрии.

#### **уметь:**

- оценивать преимущества и недостатки перспективных ядерных и радиохимических технологий;
- адекватно анализировать ситуацию для принятия решений, обеспечивающих экологическую и радиохимическую безопасность окружающей среды;
- проводить анализ осведомленности АЭС о системе экологического менеджмента;
- использовать принципы «зеленой» химии для разработки новых технологических процессов.

#### **владеть:**

- подходами, применяемыми при производстве радионуклидов, а также методами их разделения и выделения;
- методологией оценки и прогнозирования радиационной обстановки в целях обеспечения безопасности населения и окружающей среды;
- подходами, применяемыми при переработке ОЯТ и РАО.

### **Структура учебной дисциплины**

Дисциплина преподается в первом семестре. Общее количество часов для изучения дисциплины – 90, в том числе аудиторных часов – 36, из них: лекции – 24 часа, семинарские занятия – 6 часов, практические занятия – 6 часов.

Форма получения первой ступени высшего образования – очная.  
Форма текущей аттестации по учебной дисциплине – экзамен.  
Количество зачетных единиц – 3.

# СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

## Раздел 1. Теоретические аспекты ядерной и радиохимии

### Тема 1.1. Предмет ядерной и радиохимии

Основные понятия и терминология. Определения в соответствии с номенклатурой ИЮПАК. Задачи, специфика объектов, сходства и отличия ядерной и радиохимии. Их основные направления развития и место в современной ядерной индустрии. 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.

### Тема 1.2. Ядерные реакции

Атомные ядра. Особенности ядерных сил. Систематика изотопов. Ядерные реакции. Отличие ядерных реакций от химических. Механизм, энергия, типы ядерных реакций. Условия, необходимые для протекания ядерных реакций. Реакция деления и ее использование для получения ядерной энергии.

### Тема 1.3. Процессы изотопного обмена

Общехимические свойства изотопных частиц. Термодинамическое и кинетическое поведение изотопных частиц.

Процессы изотопного обмена: классификация, особенности и причины протекания. 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 1.4. Распределение радионуклидов между твердой и жидкой фазами

Поведение вещества в состоянии крайнего разведения и процессы соосаждения. Изотопные, специфические и неспецифические носители. Закон соосаждения Хана. Гомогенное распределение микрокомпонента между твердой и жидкой фазами. Закон Бертло-Нернста. Закон Хлопина. Гетерогенное (неравновесное) распределение микрокомпонента между твердой и жидкой фазами.

Ионнодисперсное, молекулярное и коллоидное состояние радионуклидов в растворах. Факторы, влияющие на процесс образования радиоколлоидов. Методы обнаружения и изучения радиоколлоидов.

## **Тема 1.5. Методы выделения и разделения радионуклидов**

Адсорбция радиоактивных веществ. Первичная и вторичная адсорбция. Влияние на адсорбционные процессы различных факторов. Использование адсорбционных процессов для выделения и разделения радионуклидов.

Ионообменные методы в радиохимии. Требования к ионообменным смолам и их основные свойства. Общие закономерности ионообменной хроматографии. Практические вопросы разделения и выделения радионуклидов с помощью ионного обмена.

Экстракционные методы в радиохимии. Общие представления и основные закономерности. Факторы, влияющие на процесс экстракции. Нейтральные, кислотные и основные экстрагенты.

Электрохимические методы в радиохимии. Особенности электрохимии радиоактивных элементов. Влияние природы электрода на величину критического потенциала осаждения радиоактивных элементов. Электрохимические методы выделения и разделения радиоактивных элементов. Бестоковое осаждение. Электролиз.

## **Раздел 2. Прикладные аспекты ядерной и радиохимии**

### **Тема 2.1. Производство и применение радиоактивных изотопов**

Техногенные радионуклиды. Основные радионуклиды, получаемые на ядерных реакторах и ускорителях. Традиционные и альтернативные технологии получения радионуклидов. Современные ускорительные комплексы. Получение короткоживущих радионуклидов на изотопных генераторах. Методы выделения радионуклидов из облученных мишеней. Модифицированный электрохимический метод выделения радионуклидов.

Радионуклиды для диагностики и терапии. Основные методы производства медицинских радионуклидов (реакторные, циклотронные и генераторные радионуклиды).

Методы направленного и ненаправленного синтеза меченых соединений (изотопный обмен, радиационный синтез, синтез в потоке ускоренных ионов и др.). Требования, предъявляемые к изотопно-обогащенным прекурсорам, используемым в синтезе меченых соединений. Синтез радиофармпрепаратов и их применение в радиоиммунном анализе, позитронно-эмиссионной томографии и др.

Изотопная геохронология. Радиоуглеродное датирование.

Примеры использования радиоактивных индикаторов в различных областях химии и материаловедения (метод изотопного разбавления, радиометрическое титрование, определение скорости и механизма реакции, контроль за пространственной структурой материала, степенью и характером его дефектности и др.).

## **Тема 2.2. Химия ядерного топливного цикла**

Актиниды: общая характеристика, современные данные о состояниях окисления. Химия урана. Распространенность в природе: минералы, экономически рентабельные месторождения, низкосортные месторождения. Получение и очистка. Предварительное концентрирование. Извлечение из руд. Переработка урановой руды в ядерное топливо. Торий в ядерной энергетике. Основные этапы ядерного топливного цикла. Преимущества и недостатки различных ЯТЦ. Химия продуктов деления. Отработавшее ядерное топливо. Радиохимическая переработка облученного ядерного топлива. Технология обезвреживания радиоактивных отходов: сбор, транспортировка, очистка, переработка, хранение.

Правовое регулирование вопросов обращения с РАО и ОЯТ. Законодательные и нормативные акты РБ и РФ. Рекомендации и публикации МАГАТЭ в области обращения с ОЯТ и РАО.

## **Тема 2.3. 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. Непрерывный контроль за содержанием продуктов деления в теплоносителе первого контура. Контроль выбросов инертных радиоактивных газов. Определение газообразных форм радиоактивного йода. Анализ образцов окружающей среды на содержание, распределение и формы нахождения природных и техногенных радионуклидов в зоне влияния АЭС. Проблемы коррозии на АЭС. Виды коррозионных повреждений в атомной энергетике. Коррозивные агенты. Общие методические подходы к исследованию внутриконтурных коррозионных процессов. 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.

## **Раздел 3. Инновационные подходы к решению прикладных задач ядерной и радиохимии**

### **Тема 3.1. Система экологического менеджмента на АЭС**

Система экологического менеджмента (EMS): понятие, ключевые элементы, цикл Деминга, базовый стандарт ISO 14001. Движущие силы, необходимые для создания EMS на уровне государства, компании,



потребителя. Основные документы, регламентирующие природоохранную деятельность АЭС. Показатели воздействия АЭС на окружающую среду. Реализация экологической политики. Производственный экологический контроль и мониторинг окружающей среды.

### **Тема 3.2. «Зеленые» технологии в атомной энергетике**

Отличительные особенности экологических инноваций. Концепция «зеленой» промышленности. Направления развития «зеленой» химии. Внедрение принципов «зеленой» химии в атомной отрасли. Виды «зеленых» растворителей, их достоинства и недостатки. Флюидная экстракция. Примеры процессов, реализованных с использованием сверхкритического CO<sub>2</sub>: дезактивация одежды, СЗО, инструментов, экстракция урана. Ионные жидкости: строение, свойства, типичные представители. Преимущества ионных жидкостей перед классическими органическими растворителями. Экстракция урана и трансурановых элементов из азотнокислых сред в присутствии ионных жидкостей. Экстракция в системах с двумя несмешивающимися фазами, мицелярная экстракция.

### **Тема 3.3. Нанотехнологии в ядерной индустрии**

Мембраны из нанокерамики для дезактивации растворов различного уровня активности радиохимических производств. Катализаторы на основе наночастиц металлов платиновой группы в реакциях разложения органических и азотсодержащих неорганических соединений РАО. Сорбенты с наночастицами серебра для очистки газовой фазы от радиоактивного йода. Твердофазные экстрагенты на основе нанокремниевых материалов для извлечения актинидов из сильноокислых сред.

### **Тема 3.4. Современные технологии переработки ОЯТ и РАО**

Ресурсо- и энергосберегающие, экологически безопасные радиохимические процессы переработки ОЯТ и РАО. Перспективы использования жидко-экстракционных процессов COEX, DIAMEX, SANEX и др. для переработки ОЯТ. Прогнозирование состояния и поведения матриц для консервации актинидов, содержащихся в ОЯТ. Методы кондиционирования РАО. Имобилизирующие матрицы. Сорбционные технологии при переработке ОЯТ и утилизации РАО. 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. Альтернативные методы переработки РАО (деструкция методом ядерных превращений и др.). Методы ионселективной очистки трапных вод от радионуклидов.

# УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ

## Дневная форма получения образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	иные		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>1</b>	<b>Теоретические аспекты ядерной и радиохимии</b>							
1.1	Предмет ядерной и радиохимии	2						Экспресс-опрос
1.2	Ядерные реакции	2						Экспресс-опрос
1.3	Процессы изотопного обмена	2						Контрольная работа
1.4	Распределение микроколичеств радиоактивных изотопов между твердой и жидкой фазами	2	2					Диалог вопрос-ответ, решение задач
1.5	Методы выделения и разделения радионуклидов	2	2					Диалог вопрос-ответ, решение задач
<b>2</b>	<b>Прикладные аспекты ядерной и радиохимии</b>							
2.1	Производство и применение радиоактивных изотопов	2						Контрольная работа
2.2	Химия ядерного топливного цикла	2	2					Эвристический диалог, решение задач

2.3	Радиохимический контроль на АЭС и управление радиоэкологическим риском	2						Контрольная работа
3	<b>Инновационные подходы к решению прикладных задач ядерной и радиохимии</b>							
3.1	Система экологического менеджмента на АЭС	2			2			Тематическая презентация
3.2	«Зеленые» технологии в атомной энергетике	2						Реферат
3.3	Нанотехнологии в ядерной индустрии	2			2			Аналитический обзор
3.4	Современные технологии переработки ОЯТ и РАО	2			2			Конференция
	Итого	24	6	6	6			

## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Перечень основной литературы:

1. Гергалов В. И. Радиохимия: в 2 ч. Ч. 2 : Использование радиоизотопов для решения практических задач / В. И. Гергалов ; БГУ. - Минск : БГУ, 2017. - 119 с.
2. Герменчук М. Г. Радиационный мониторинг окружающей среды : учеб. пособие / М. Г. Герменчук. - Мн : Вышэйшая школа, 2021. - 278 с.
3. Бекман И.Н. Неорганическая химия. Радиоактивные элементы : учебник для бакалавриата и магистратуры / И. Н. Бекман. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва : Юрайт, 2020. - 399 с.
4. Егоров, Ю. В. Методы концентрирования и разделения радионуклидов : учеб. 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, 2018. - 129 с.
5. Пучкова Е.В. Ядерная химия. Избранные главы : учебник / Е. В. Пучкова. - Изд. 2-е, стер. - СПб; Москва; Краснодар : Лань, 2021. - 188 с.
6. Технологии производства радионуклидов в ядерной медицине : учебное пособие / Е.И. Денисов ; М-во науки и высшего образования РФ.— Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2021.— 107 с.

### Перечень дополнительной литературы:

1. Давыдов Ю.П. Основы радиохимии. – Мн., 2014. – 318 с.
2. Макаревич, Т. А. Радиоэкология : пособие для студ. учреждений высш. образования / Т. А. Макаревич ; БГУ. - Минск : БГУ, 2013. - 136 с.
3. Обращение с отходами : учеб. пособие / [авт.: А. А. Челноков и др.]. - Минск : Вышэйшая школа, 2018. - 460 с.
4. Алексеев С. В. Торий в ядерной энергетике / С. В. Алексеев, В. А. Зайцев. - Москва, 2014. - 284 с.
5. Андрющенко, Н.Д. Сорбционные характеристики материалов фильтрационного барьера в верхних водоносных горизонтах, загрязненных радионуклидами / Н.Д. Андрющенко, А.В. Сафонов, Т.Л. Бабич и др. // Радиохимия. — 2017. — Т. 59, № 4. — С. 361–370.
6. Бекман И.Н. Ядерные технологии : учебник для бакалавриата и магистратуры / И. Н. Бекман. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва : Юрайт, 2017. - 404 с.
7. Болдырев П.П. Электрохимический способ получения радионуклида Lu-177 высокой удельной активности/ П.П. Болдырев, А.В. Курочкин, Р.Ф. Нуртдинов и др.//Вестник Моск. ун-та сер. 2. Химия. – 2016, Т.57, № 3. – С. 184-190.
8. Инновационные энергосберегающие технологии переработки радиоактивных отходов / Г. А. Петров [и др.] ; под ред. А. Г. Мержанова.- Москва, 2012. - 303 с.
9. Милютин В.В. Современные методы переработки жидких радиоактивных отходов: учебное пособие / В.В. Милютин, Б.Е. Рябчиков, П.В. Козлов. - Озёрск: ОТИ НИЯУ МИФИ, 2015.- 113 с.

10. Крышев И.И. Экологическая безопасность ядерно-энергетического комплекса России / И. И. Крышев, Е. П. Рязанцев. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : ИздАТ, 2010. - 495 с.
11. Лебедев В.А. Инновационная технология иммобилизации радиоактивных отходов на основе магнезиальных матриц / В. А. Лебедев, В. М. Пискунов. - Москва : РИОР : Инфра-М, 2016. - 86 с.
12. Милютин, В.В. Сорбционные технологии в современной прикладной радиохимии / В.В. Милютин, Н.А. Некрасова, О.В. Харитонов, Л.А. Фирсова, Е.А. Козлитин // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2016. – Т. 16, № 3. – С. 313–322.
13. Семиколенных А.А. Оценка воздействия на окружающую среду объектов атомной энергетики : метод. пособие / А. А. Семиколенных, Ю. Г. Жаркова. - Москва : Инфра-Инженерия, 2013. - 366 с.
14. Тананаев И.Г. Методы и подходы к технологическому выделению ценных радионуклидов из отработавшего ядерного топлива / И.Г. Тананаев, Б.Ф. Мясоедов // Радиохимия. – 2016. – Т.58, № 3. – С. 222-228.
15. Торшин С. П. Биогеохимия радионуклидов : учебник / С. П. Торшин, Г. А. Смолина. - Москва : ИНФРА-М, 2016. - 320 с.
16. Химические проблемы атомной энергетики: [в 3 т.] / [авт. Л.Н. Москвин и др.]. Т.2: Радиохимический анализ и радиохимические технологии. – СПб, 2013. – 282 с. Т.3. Химические технологии продления ресурса и повышения радиационной безопасности ЯЭУ. Коррозионные процессы в контурах ЯЭУ. – СПб., 2016. – 240 с.
17. Щепина, Н.Е. Ядерно-химический синтез меченных тритием фторзамещенных изохинолиниевых производных / Н.Е. Щепина, В.В. Аврорин, Г.А. Бадун и др. // Радиохимия. — 2017. — Т.59, № 3. — С. 260–263.
18. Adloff Jean-Pierre. Fundamentals of Radiochemistry. – Boca Raton; London; New York: CRC Press, 2018. – 414 p.
19. Materials and Water Chemistry for Supercritical Water-cooled Reactors / David Guzonas [et al.]. - Cambridge : Elsevier : Woodhead Publishing, 2018. - 264 с.
20. Nuclear Engineering Handbook / ed. by K. D. Kok. - 2th ed. - Boca Raton ; London ; New York : CRC Press : Taylor & Francis Group, 2017. - 978 с.
21. Radioanalytical Chemistry / ed. B. Kahn. - USA : Springer. – 2007. – 481 с.
22. Radiochemistry and Nuclear Chemistry / by G. Chopin etc. – 4<sup>th</sup> ed. – Elsevier, 2013. – 858 p.
23. Recent Trends in Radiation Chemistry / ed. James F. Wishart, B. S. M. Rao. - New Jersey [etc.] : World Scientific, 2010. - 607 с.
24. Savitskaya T. Green Technology : Process Technology and Sustainable Development / T. Savitskaya [et al.] – Springer, Zhejiang University Press, 2021. – 149 p.

## Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки

1. Экспресс-опрос по темам «Предмет ядерной и радиохимии», «Ядерные реакции».
2. Диалог вопрос–ответ по темам «Распределение микроколичеств радиоактивных изотопов между твердой и жидкой фазами», «Методы выделения и разделения радионуклидов».
3. Эвристический диалог по теме «Химия ядерного топливного цикла».
4. Контрольные работы по темам «Процессы изотопного обмена», «Производство и применение радиоактивных изотопов», «Радиохимический контроль на АЭС и управление радиоэкологическим риском».
5. Составление аналитического обзора по теме «Нанотехнологии в ядерной индустрии».
6. Написание реферата по теме «Зеленые» технологии в атомной энергетике».
7. Подготовка тематической презентации по теме «Система экологического менеджмента на АЭС».
8. Конференция «Современные технологии переработки ОЯТ и РАО».

При оценке в формате экспресс-опроса и диалога вопрос-ответ учитывается вовлеченность студента в беседу, наличие грамотной аргументации, привлечение знаний, полученных в ходе предыдущих лекционных занятий.

При проведении эвристического диалога будет соблюдаться формат "студент-преподаватель", в котором вопрошающая доминанта принадлежит обучающемуся, а не педагогу. Будут созданы условия для горизонтальных коммуникаций студентов. Студентам будет предоставлена возможность самим оценить уровень своих компетенций и наметить самостоятельную образовательную траекторию.

При оценивании аналитического обзора, тематической презентации и реферата обращается внимание на самобытность (оригинальность) созданного образовательного продукта, содержание и полноту раскрытия темы, структуру и последовательность изложения, источники и их интерпретацию.

При оценивании контрольной работы учитывается полнота и логичность ответа, грамотность и стиль изложения, корректность оформления.

При проведении конференции учитывается уровень владения студентом материала, знание нормативно-правовых актов МАГАТЭ, РФ и РБ, умение вести научный диалог, наличие грамотной аргументации.

Форма текущей аттестации - экзамен. Итоговая отметка формируется на основе:

1. Правил проведения аттестации студентов (Постановление Министерства образования Республики Беларусь № 53 от 29 мая 2012 г.);
2. Положения о рейтинговой системе оценки знаний обучающихся по учебной дисциплине в БГУ (Приказ ректора БГУ от 31.03.2020 № 189 – ОД)
3. Критериев оценки знаний студентов (письмо Министерства образования от 22.12.2013).

При формировании итоговой отметки используется рейтинговая система оценки знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая система предусматривает использование весовых коэффициентов для текущего контроля знаний и текущей аттестации студентов по дисциплине.

Формирование отметки за текущую успеваемость:

- ответы на семинарских и практических занятиях, в том числе участие в эвристическом диалоге и конференции – 40 %;
- участие в экспресс-опросах – 10 %.
- выполнение заданий (аналитический обзор, тематическая презентация, реферат, контрольные работы) – 50 %;

Итоговая отметка по дисциплине рассчитывается на основе отметки текущей успеваемости (рейтинговой системы оценки знаний) и экзаменационной отметки с учетом их весовых коэффициентов. Вес отметки по текущей успеваемости составляет 50 %, экзаменационной отметки – 50 %.

#### **Примерная тематика семинарских занятий**

1. Внедрение и реализация системы экологического менеджмента на АЭС.
2. Внедрение принципов «зеленой» химии в атомной отрасли.
3. Нанотехнологии в ядерной индустрии.

#### **Примерная тематика практических занятий**

1. Процессы соосаждения со специфическими и неспецифическими носителями.
2. Хроматографические и экстракционные методы выделения и разделения радионуклидов.
3. Химия урана. Переработка урановой руды в ядерное топливо. Технологии переработки ОЯТ и РАО.

## Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используются:

**методы и приемы развития критического мышления**, которые представляют собой систему, формирующую навыки работы с информацией в процессе чтения и письма; понимания информации как отправного, а не конечного пункта критического мышления.

**метод учебной дискуссии**, который предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной проблеме.

**практико-ориентированный подход**, который предполагает освоение дисциплины через решение практических задач.

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

Для организации самостоятельной работы студентов по учебной дисциплине рекомендуется:

1. Разработка и составления банка групповых или индивидуальных заданий; пояснение основных требований к их выполнению;

2. Использование современных информационных технологий: размещение в сетевом доступе комплекса учебных и учебно-методических материалов (программа учебной дисциплины, задания в тестовой форме, темы кратких рефератов, список рекомендуемой литературы и информационных ресурсов и др.).

## Примерный перечень вопросов к экзамену

- Основные направления развития, место ядерной и радиохимии в современной ядерной промышленности.
- Процессы изотопного обмена: классификация, особенности, причины протекания, методы исследования, использование для синтеза меченых соединений.
- Состояние радионуклидов в растворах и методы его изучения.
- Процессы соосаждения с изотопными, специфическими и неспецифическими носителями. Закономерности соосаждения.



Адсорбция радиоактивных веществ.

- Электрохимические методы выделения и разделения радиоактивных элементов, их преимущества и недостатки, основные характеристики.
- Ионнообменные методы в радиохимии. Используемые иониты. Практические вопросы разделения и выделения радионуклидов с помощью ионного обмена.
- Основные характеристики процесса экстракции и ее применение для выделения и разделения радионуклидов. Нейтральные, кислотные и основные экстрагенты.
- Концепция «зеленой» промышленности. Внедрение принципов «зеленой» химии в атомной отрасли. «Зеленые» экстракционные технологии.
- Традиционные и альтернативные технологии получения радионуклидов. Методы выделения радионуклидов из облученных мишеней. Примеры использования радиоактивных индикаторов в различных областях химии и материаловедении.
- Радионуклиды для диагностики и терапии. Основные методы производства медицинских радионуклидов. Синтез радиофармпрепаратов и их применение в радиоиммунном анализе, позитронно-эмиссионной томографии и др.
- Техногенные радионуклиды в окружающей среде. Источники загрязнения окружающей среды техногенными радионуклидами. Выбросы искусственных радионуклидов при нормальной работе ядерных реакторов.
- Основные этапы ядерного топливного цикла. Преимущества и недостатки различных ЯТЦ. Химия продуктов деления.
- Показатели воздействия АЭС на окружающую среду. Реализация экологической политики. Радиохимический контроль на АЭС. Методические подходы к проведению радиохимического анализа водных и газообразных сред.
- Проблемы коррозии на АЭС. Виды коррозионных повреждений в атомной энергетике. Коррозивные агенты. Общие методические подходы к исследованию внутриконтурных коррозионных процессов.
- Источники радиоактивных отходов (РАО). Классификация радиоактивных отходов. Этапы жизненного цикла РАО. Международные критерии обращения с РАО. Методы кондиционирования РАО.
- Сорбционные технологии при переработке ОЯТ и утилизации РАО. Перспективы использования жидко-экстракционных процессов для переработки ОЯТ. Примеры использования наноматериалов для дезактивации и переработки РАО.

## ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Радиационная химия воды и водных растворов	Кафедра радиационной химии и химико-фармацевтических технологий	нет	Протокол № 12 от 24.06.2022 г.

## ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УВО

на \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры радиационной химии и химико-фармацевтических технологий химического факультета Белорусского государственного университета  
(протокол № \_\_ от \_\_\_\_ г. )

Заведующий кафедрой  
доктор химических наук,  
профессор \_\_\_\_\_

(ученая степень, ученое звание) (подпись)

\_\_\_\_\_  
(И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета  
доктор химических наук,  
член-корр. НАН Беларуси \_\_\_\_\_

(ученая степень, ученое звание) (подпись)

Д.В. Свиридов  
(И.О.Фамилия)