

Белорусский государственный университет

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по учебной работе

\_\_\_\_\_ А.Л. Толстик

(подпись)

\_\_\_\_\_

(дата утверждения)

Регистрационный № УД- \_\_\_\_\_ /уч.

## **РАДИОХИМИЯ**

**Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине для специальности:  
1-31 05 03 Химия высоких энергий**

Минск  
2015 г.

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта высшего образования ОСВО 1-31 05 03-2013, утвержденного постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 30.08.2013 № 87, и учебного плана специальности G 31-146/уч. от 30.05.2013

**СОСТАВИТЕЛИ:**

И. М. Кимленко, доцент, кандидат химических наук, доцент

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой радиационной химии и химико-фармацевтических технологий  
Белорусского государственного университета  
(протокол № 18 от 08.06.2015);

Научно-методическим советом БГУ (протокол № 5 от 15.05.2015)

## 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, разработку методов применения радионуклидов, а также специальной техники и оборудования для защиты от вредного воздействия ионизирующего излучения. Современную радиохимию можно условно разделить на три раздела: химию радиоактивных элементов, общую и прикладную радиохимию.

Радиохимия относится к той области химической науки, знание которой совершенно необходимо для подготовки специалистов, способных решать вопросы, связанные с обеспечением безопасной работы АЭС и других предприятий ядерного топливного цикла, включая переработку отработанного ядерного топлива и обезвреживания радиоактивных отходов.

**Курс «Радиохимия»** является базовым для студентов, специализирующихся в области радиохимии и радиационной химии.

**Цель преподавания дисциплины:** формирование систематических знаний в области современной радиохимии у будущих специалистов-химиков.

### **Задачи курса:**

- дать представление о предмете радиохимии, истории её становления и вкладе ученых различных стран мира;
- раскрыть значение и роль радиохимии в развитии человеческого общества, показать её место в различных областях науки и техники;
- 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 радионуклидов и «меченых» соединений, методу радиоактивных индикаторов.
- рассмотреть основные аспекты охраны окружающей среды и роль радиохимии в обеспечении экологической безопасности.

### **В результате изучения дисциплины обучаемый должен знать:**

- общую концепцию и тенденции развития современной радиохимии;
- основные разделы радиохимии: химию радиоактивных элементов, общую и прикладную радиохимию;

- области применения радиохимических методов в других разделах химии, включая аналитическую, органическую и неорганическую химию;
- место радиохимии в технологии производства и переработки ядерных материалов, обеспечении безопасной работы АЭС, включая поддержание водно-химического режима теплоносителя, его контроль и очистку от радиоактивных загрязнений;
- роль радиохимии в решении экологических проблем и охраны окружающей среды.
- основы безопасной работы в радиохимической лаборатории и выполнения требований радиационной безопасности.

**Обучаемый должен уметь:**

- применять свои знания для решения исследовательских и прикладных задач, планирования радиохимического эксперимента;
- оценивать возможности радиохимических методов для выделения и концентрирования радиоактивных элементов, определения состояния радионуклидов в растворах, газовой и твердой фазах, метод радиоактивных индикаторов для целей прикладной радиохимии;
- адекватно анализировать ситуацию для принятия решений, обеспечивающих радиохимическую безопасность окружающей среды.

Дисциплина «Радиохимия» базируется на знаниях и умениях, полученных студентами при изучении следующих дисциплин: «Неорганическая химия», «Аналитическая химия», «Физическая химия», «Введение в ядерную химию», «Ядерная физика», «Химия актиноидов», «Химия естественных радиоактивных элементов».

Общее количество часов, отведенных на изучение дисциплины, составляет 112, в том числе 50 аудиторных часов, включая 30 часов лекций, 14 часов семинарских занятий, 6 часов КСР. Контроль самостоятельной работы студентов может осуществляться в ходе текущего и итогового контроля знаний, в форме устного опроса, письменной контрольной работы (как в традиционном, так и тестовом вариантах). По окончании курса студенты сдают экзамен.

# СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

## Введение

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. Предмет, метод, характерные особенности и этапы развития радиохимии.

## Раздел 1. Общая радиохимия

### Тема 1.1. Поведение изотопных частиц

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.

### Тема 1.2. Процессы изотопного обмена

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 радиоактивных элементов в растворах

Ионнодисперсное, молекулярное и коллоидное состояние. Истинные коллоиды и псевдоколлоиды. Факторы, влияющие на процесс образования радиоколлоидов. Методы обнаружения и изучения радиоколлоидов: методы адсорбции и десорбции, диализа, ультрафильтрации, центрифугирования, диффузии, электрофореза, радиографии, экстракции, ионного обмена.

### Тема 1.4. Распределение микроколичеств радиоактивных изотопов между твердой и жидкой фазами

Значение процессов распределения для радиохимии. Поведение вещества в состоянии крайнего разведения и процессы соосаждения. Закон соосаждения Хана. Соосаждение при отсутствии изоморфизма. Объединенное правило Фаянса-Хана. Процессы изоморфной и изодиморфной сокристаллизации. Определение изоморфизма по Гольдшмидту. Гомогенное распределение микрокомпонента между твердой и жидкой фазами. Закон Бертло-Нернста. Доказательство возможности истинного термодинамического равновесия между кристаллами и раствором. Закон Хлопина. Факторы, влияющие на распределение компонентов между твердой и жидкой фазами.

Гетерогенное (неравновесное) распределение микрокомпонента между твердой и жидкой фазами. Связь характера распределения с постоянной кристаллизации  $\lambda$ . Распределение микрокомпонента между твердой фазой и расплавом. Методы разграничения различных видов сокристаллизации. Примеры использования процессов изоморфной сокристаллизации при радиохимических исследованиях.

#### **Тема 1.5. Адсорбция радиоактивных веществ**

Правила адсорбции и систематика адсорбционных явлений. Первичная и вторичная адсорбция. Классификация адсорбционных процессов по Ратнеру. Механизм адсорбции, влияние различных факторов на процесс адсорбции. Первичная потенциалообразующая адсорбция. Первичная обменная адсорбция. Вторичная обменная адсорбция. Влияние на адсорбционные процессы различных факторов. Внутренняя адсорбция. Особенности процессов распределения вещества в результате внутренней адсорбции. Методы разграничения отдельных видов адсорбции. Использование адсорбционных процессов в радиохимии.

#### **Тема 1.6. Электрохимические методы в радиохимии**

Особенности электрохимии радиоактивных элементов. Электрохимическое выделение изотопов с применением внешней ЭДС. Методы определения критического потенциала осаждения радиоактивных элементов: метод Хевеши-Панета, метод Ф. Жолио-Кюри, метод Зива, Синицыной, объединенный метод. Применимость уравнения Нернста к случаю электрохимического осаждения микроколичеств вещества. Влияние природы электрода на величину критического потенциала осаждения радиоактивных элементов. Применение электрохимических методов для исследования химических и физико-химических свойств радиоактивных изотопов. Электрохимические методы выделения и разделения радиоактивных элементов. Бестоковое осаждение. Электролиз.

#### **Тема 1.7. 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 1.8. Экстракционные методы в радиохимии**

Общие представления и основные закономерности. Факторы, влияющие на процесс экстракции. Нейтральные, кислотные и основные экстрагенты. «Зеленые» экстракционные технологии. Кинетика процессов экстракции.

### **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.

## **Тема 2.2. Химия технеция**

Технеций: ядерные свойства. Простые и сложные соединения: гидриды, оксиды, сульфиды, галогениды, металлоорганические соединения. Кластерные соединения. Химия растворов. Применение технеция. Технеций в окружающей среде. Методы определения и разделения технеция.

## **Тема 2.3. Актиний и актиниды**

Возникновение актиноидной гипотезы (Бор, Сиборг). Общая характеристика гипотезы. Характеристика электронных структур элементов. Химические и физические доказательства актиноидного характера элементов с порядковыми номерами 90-104 (изменение устойчивости валентных состояний, кристаллографические данные об актиноидном сжатии, спектры поглощения растворов, магнитная восприимчивость и др.). Особенности первых членов ряда (торий, уран). “Уранидная ” и “торидная” гипотеза (Гайсинский, Захариазен). Современные данные о состояниях окисления актинидных элементов. Трансактиниды. Их место в периодической таблице элементов. Электронные конфигурации. Экспериментально доказанные и предсказанные химические свойства трансактинидов. О границах периодической системы. Синтез сверхтяжелых элементов.

## **Тема 2.4. Химия урана и трансурановых элементов**

Ядерные свойства. Разделение изотопов, выделение изотопов, образующихся при радиоактивном распаде. Простые и сложные соединения: гидриды, карбиды, силициды, халькогениды, галогениды. Химия растворов. Состояния окисления. Термодинамические параметры. Электродные потенциалы.

Распространенность в природе: минералы, экономически рентабельные месторождения, низкосортные месторождения. Получение и очистка. Предварительное концентрирование. Извлечение из руд. Переработка урановой руды в ядерное топливо.

## **Раздел 3. Прикладная радиохимия**

### **Тема 3.1. Основы химии ядерного топливного цикла**

Место радиохимии в технологии производства и переработки ядерных материалов. Химия ядерного горючего. Основы 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.

Роль радиохимии в поддержании водно-химического режима теплоносителя на АЭС. Контроль и очистка от радиоактивных загрязнений теплоносителя на АЭС. Радиоактивные продукты коррозии и проблемы дезактивации.

Белорусская АЭС. Особенности проекта.

### **Тема 3.2. Применение радиоактивных индикаторов в аналитической химии**

Основные направления использования радионуклидов для анализа вещества. 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.

### **Тема 3.3. Применение радиоактивных индикаторов в неорганической и физической химии**

Определение растворимости малорастворимых веществ. Определение давлений насыщенных паров. Определение коэффициентов диффузии в твердых телах (метод снятия слоев) и в жидкостях (капиллярный метод). Определение состава и констант образования комплексных ионов. Использование радиоактивных индикаторов в химической кинетике (определение констант скоростей обратимых реакций при равновесии, кинетический изотопный метод М.Б.Неймана). Использование радионуклидов в электрохимии (изучение адсорбции на электроде, определение чисел переноса).

### **Тема 3.4. Применение радиоактивных индикаторов в органической химии**

Синтез меченых органических соединений (прямой химический синтез, специфические радиохимические методы, биосинтез). Особенности номенклатуры меченых органических соединений. 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 3.5. Применение методов радиохимии в области охраны окружающей среды**

Примеры использования идей и методов радиохимии в области охраны окружающей среды. Радиоэкологические последствия эксплуатации радиационно-опасных объектов. Радиоэкологические проблемы, обусловленные естественными радионуклидами в неядерных областях. Исследование форм нахождения, миграционного поведения техногенных радионуклидов в окружающей среде. Радиационный мониторинг. Особенности объектов исследования. Отбор и первичная обработка проб. Учет потерь летучих веществ. Растворение анализируемых проб. Выделение и радиохимическая очистка исследуемых элементов.

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Номер раздела, темы, занятия	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Материальное обеспечение занятия (наглядные, методические пособия и др.)	Формы контроля знаний
		лекции	практические занятия	семинарские занятия	лабораторные занятия	иное			
1	2	3	4	5	5	6	7	8	9
1	<b>Введение</b>	<b>2</b>						Мультимед. презентация	
2	<b>Раздел 1. Общая радиохимия</b>	<b>16</b>		<b>6</b>					
	Поведение изотопных частиц	2						Мультимед. презентация	
	Процессы изотопного обмена	2		2				Мультимед. презентация	
	Состояние радиоактивных элементов в растворах	2						Мультимед. презентация	КР
	Распределение микроколичеств радиоактивных изотопов между твердой и жидкой фазами	2						Мультимед. презентация	
	Адсорбция радиоактивных веществ	2		2				Электронный конспект лекции	
	Электрохимические методы в радиохимии	2		2				Мультимед. презентация	
	Ионообменные методы в радиохимии	2						Мультимед. презентация	КР
	Экстракционные методы в радиохимии	2						Мультимед. презентация	КР
3	<b>Раздел 2. Химия радиоактивных элементов</b>	<b>4</b>		<b>6</b>					
	Радиоактивные элементы в природе			2					

	Химия технеция	2					Мультимед. презентация	
	Актиний и актиниды	2		2			Мультимед. презентация	
	Химия урана и трансурановых элементов			2				
4	<b>Раздел 3. Прикладная радиохимия</b>	<b>8</b>		<b>2</b>				
	Основы химии ядерного топливного цикла	2		2			Образовательный модуль в технологии подкастинга, включающий лекции в виде аудио- и видеофайлов и тестовые задания к ним	
	Применение радиоактивных индикаторов в аналитической, физической, неорганической и органической химии	3					Мультимед. презентация	
	Применение методов радиохимии в области охраны окружающей среды	3					Электронный конспект лекции	

## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### РЕКОМЕНДУЕМАЯ УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА

#### Основная:

1. Бекман И.Н. Уран: учебное пособие, Москва, 2009.
2. Бессонов В.А. Основы радиохимии: учебное пособие по курсу «Радиохимия» ОГТУАЭ, Обнинск, 2004.
3. Вдовенко В.Н. Современная радиохимия. - М.: Атомиздат, 1969.- 544 с.
4. Давыдов Ю.П. Основы радиохимии. Мн., 2014. – 317 с.
5. Лукьянов В.Б., Бердоносков С.С. и др. Радиоактивные индикаторы в химии. Основы метода. - М.: Высшая школа, 1985.- 327 с.
6. Макаров Л.Л. Прикладная радиохимия. - Л.: Изд. ЛГУ, 1966.
7. Миклухин Г.П. Изотопы в органической химии. - Киев: Изд. АН УССР, 1961.- 732 с.
8. Мурин А.Н. Физические основы радиохимии. - М.: Высшая школа, 1971.- 288 с.
9. Мясоедов Б.Ф., Гусева Л.И., Лебедев И.А. и др. Аналитическая химия трансплутониевых элементов. М.: Наука, 1972.
10. Несмеянов А.Н. Радиохимия. - М.: Химия, 1978.- 592 с.
11. Несмеянов А.Н. Прошлое и настоящее радиохимии. Л.: Химия, 1985.
12. Нефедов В.Д., Текстер Е.Н., Торопова М.А. Радиохимия: учебное пособие.- М.: Высшая школа, 1987.
13. В.Н. Николаев, Е.А. Карелин, Р.А. Кузнецов, Ю.Г. Торопов. Технология трансплутониевых элементов. Дмитровград, 1999.
14. Радиохимия и химия ядерных процессов./ Под ред. А.Н. Мурина, В.Д. Нефедова, В. П. Шведова.- Л.: Госхимиздат.- 1960.
15. Современные методы разделения и определения радиоактивных элементов. – М.: Наука, 1989. – 312 с.
16. Старик И.Е. Основы радиохимии. - Л.: Наука, 1969.
17. Химия актиноидов: В 3-х т. Т.1. Пер. с англ./ Под ред. Дж.Каца, Г.Сиборга, Л.Морсса. – М.: Мир 1991. – 525 с.
18. Химия актиноидов: В 3-х т. Т.2. Пер. с англ./ Под ред. Дж.Каца, Г.Сиборга, Л.Морсса. – М.: Мир 1997. – 664 с.
19. Химия актиноидов: В 3-х т. Т.3. Пер. с англ./ Под ред. Дж.Каца, Г.Сиборга, Л.Морсса. – М.: Мир 1999. – 670 с.

#### Дополнительная

1. Журнал РАН «Радиохимия».
2. Сахаров В. Радиоэкология, 2005. - 320 с.
3. Radioanalytical Chemistry / ed. V. Kahn. - USA : Springer, 2007. - 473с.
4. Шведов В.П., Седов В.Н. Рыбальченко И.Л., Власов И.Н. Ядерная технология.- М.: Атомиздат, 1979.- 336 с.
5. Фридендер Г., Кеннеди Дж., Миллер Дж. Ядерная химия и радиохимия.- М.: Мир, 1967.- 567 с.

## Примерная тематика семинарских занятий

1. Механизмы реакций изотопного обмена.
2. Методы обнаружения и изучения радиоколлоидов.
3. Поведение вещества в состоянии крайнего разведения и процессы соосаждения.
4. Использование адсорбционных процессов в радиохимии.
5. Электрохимические методы выделения и разделения радиоактивных элементов.
6. Получение и выделение радиоактивных изотопов методом экстракции.
7. Химические свойства актинидов и трансактинидов.
8. Химические свойства урана.
9. Преимущества использования радионуклидов в химическом анализе.
10. Использование радиоактивных индикаторов в химической кинетике.
11. Основные типы задач, решаемых с помощью радиоактивных индикаторов в органической химии.
12. Примеры использования идей и методов радиохимии в области охраны окружающей среды.
13. Исследование форм нахождения, миграционного поведения техногенных радионуклидов в окружающей среде.

## Характеристика инновационных подходов к преподаванию учебной дисциплины

1. В ходе изучения дисциплины студент должен подготовить аналитический обзор журнала «Радиохимия» последних лет издания (на выбор) в виде мультимедийной презентации. Задание предполагает обзор журнала с целью более глубокого понимания теоретических и прикладных аспектов современной радиохимии, проблем охраны окружающей среды, связанных с радиохимической промышленностью и атомной энергетикой и путей их решения, вопросов синтеза меченых соединений, использования радиоактивных элементов в химических исследованиях, а также исторических и философских аспектов радиохимии.
2. 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». Лекции доступны по ссылке: <http://www.chemistry.bsu.by/index.php/innov-technology/27-innovatsionnye-tekhnologii/135-opyt-sozdaniya-lektsij-v-podkastinge> и предназначены для самостоятельного прослушивания при подготовке к семинарам и экзамену.