

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Институт геохимии и  
аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук  
(ГЕОХИ РАН)

ПРИНЯТО

Ученым советом ГЕОХИ РАН

Протокол № 8 от 22 октября 2014 г.



УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора ГЕОХИ РАН

Д.х.н. Колотов В.П.

22 октября 2014 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«Проблемы современной радиохимии»**

**Направления подготовки:** 04.06.01 - Химические науки

*(указывается код и наименование направления подготовки)*

**Направленности (профили) подготовки:** 02.00.14 «Радиохимия»

*(наименование направленности подготовки)*

**Квалификация:** Исследователь. Преподаватель-исследователь

**Форма обучения:** Очная

**Вид итогового контроля:** Зачет

*(Зачет/Дифференцированный зачет/Экзамен)*

**Москва 2016**

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 04.06.01 Химические науки (уровень кадров высшей квалификации). Приказ Минобрнауки РФ №869 от 30 июля 2014г. (зарегистрирован в Минюсте России 20 августа 2014г., регистрационный № 33718).

## 1. Цели и задачи освоения дисциплины

Цель курса: дать аспирантам, обучающимся по профилю (направленности) «Радиохимия» углубленное представление о ядерно-физических, химических и других свойствах радионуклидов, методов их получения, радиохимических методах переработки радиоактивных веществ, ядерной химии и использовании идей фундаментальной радиохимии в науке, технике и медицине.

Задачи дисциплины связаны с ознакомлением аспирантов со следующими вопросами: химия радиоактивных элементов, изотопов и веществ, законы их физико-химического поведения, химия ядерных превращений и сопутствующие физико-химические процессы, синтез меченых соединений, методы выделения, разделения и очистки радиоактивных элементов и изотопов, методы радиохимического анализа, химия ядерного топлива, научные основы радиохимической технологии и проблемы обращения с радиоактивными отходами, формы существования и миграции радионуклидов в природных средах, метод радиоактивных индикаторов, химические аспекты использования радионуклидов в биологии и медицине

## 2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Проблемы современной радиохимии» входит в вариативную часть ООП и относится к числу обязательных дисциплин для обучения аспирантов, обучающихся по профилю 02.00.14 и направлена на подготовку к сдаче кандидатского экзамена по специальности.

### **Требования к предварительной подготовке обучающегося:**

Знать: основные методы научно-исследовательской деятельности.

Уметь: выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах; критически оценивать любую поступающую информацию, вне зависимости от источника; избегать автоматического применения стандартных формул и приемов при решении задач

Владеть: навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования; навыками выбора методов и средств решения задач исследования.

Для освоения дисциплины «Радиохимия» требуются знания и умения, приобретенные обучающимися в результате освоения ряда дисциплин (разделов дисциплин), таких как: Общая неорганическая химия. Физическая химия. Аналитическая химия.

### 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

| Код компетенции | Содержание компетенции   | Планируемые результаты обучения по дисциплине   |
|-----------------|--|---|
| <b>УК-1</b>     | способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях                      | <p><b>Знать:</b> методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.</p> <p><b>Уметь:</b> анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач.</p> <p><b>Владеть:</b> навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.</p>  |
| <b>УК-5</b>     | способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития.   | <p><b>Знать:</b> содержание процесса целеполагания профессионального и личностного развития, его особенности и способы реализации при решении профессиональных задач, исходя из этапов карьерного роста и требований рынка труда.</p> <p><b>Уметь:</b> осуществлять личностный выбор в различных профессиональных и морально-ценностных ситуациях, оценивать последствия принятого решения и нести за него ответственность перед собой и обществом.</p> <p><b>Владеть:</b> приёмами и технологиями целеполагания, целереализации и оценки результатов деятельности по решению профессиональных задач.</p> |
| <b>ОПК-1</b>    | способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий | <p><b>Знать:</b> современные способы использования информационно-коммуникационных технологий в выбранной сфере деятельности</p> <p><b>Уметь:</b> выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования.</p>   |
| <b>ОПК-2</b>    | готовность организовать работу исследовательского коллектива в области химии и смежных наук  | <p><b>Знать:</b> основные принципы организации работы в коллективе и способы разрешения конфликтных ситуаций/</p> <p><b>Уметь:</b> планировать научную работу, формировать состав рабочей группы и</p>  |

|             |  |   |
|-------------|--|---|
|             |  | оптимизировать распределение обязанностей между членами исследовательского коллектива.  |
| <b>ПК-3</b> | способность и готовность к самостоятельному проведению научно-исследовательской работы и получению научных результатов в области радиохимии. | <b>Знать:</b> способность и готовность к самостоятельному проведению научно-исследовательской работы и получению научных результатов в области радиохимии.<br><b>Владеть:</b> методами планирования, подготовки, проведения научно-исследовательской работы по направленности (02.00.14 Радиохимия) |

#### 4. Структура и содержание дисциплины

Приведенная ниже таблица отражает распределение учебного времени, отводимого на освоение основных разделов курса. Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единиц (216 часов).

| № п/п | Наименование дисциплины | Объем учебной работы (в часах) |              |               |      |       |      | Вид итогового контроля |              |
|-------|-------------------------|--------------------------------|--------------|---------------|------|-------|------|------------------------|--------------|
|       |                         | Всего                          | Всего аудит. | Из аудиторных |      |       |      |                        | Сам. Работа  |
|       |                         |                                |              | Лекц.         | Сем. | Прак. | КСР. |                        |              |
| 1.    | Радиохимия              | 216                            | 92           | 36            | 32   | 24    | -    | 88                     | Экзамен (36) |

Содержание разделов дисциплины:

| Содержание раздела (темы)   | Количество часов (лекции+семинары) |
|---|------------------------------------|
| <i>Лекции/Семинары</i>  |                                    |
| <b>1. Физические основы радиохимии</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>Предмет радиохимии. Ранние и современные определения радиохимии. Основные этапы развития радиохимии и их характеристика.</li> <li>Общие свойства атомных ядер. Изотопия (включая систематику и распределение изотопов). Виды радиоактивного распада и его законы.</li> <li>Взаимодействие излучения с веществом. Основы дозиметрии. Методы обнаружения и измерения интенсивности радиоактивных излучений. Основные методы ядерной спектроскопии.</li> <li>Общие закономерности ядерных реакций. Энергетические эффекты, эффективное сечение. Основные типы ядерных реакций. Взаимодействие нейтронов с веществом. Реакция деления. Цепная ядерная реакция. Основные типы атомных реакторов. Понятие о термоядерных реакциях. Реакции</li> </ol> | 6+4                                |

|  |     |
|--|-----|
| <p>получения трансурановых элементов с помощью нейтронов (реактор, водородная бомба) и ускоренных ионов.</p> <p>5. Пост-эффекты ядерных реакций и ядерных превращений. Эффект Мессбауэра. Применение его в химических исследованиях. Аннигиляция позитронов. Позитроний как объект химического исследования.</p>   |     |
| <p><b>2. Свойства и поведение изотопов средних и тяжелых элементов</b></p> <p>1. Явление изотопного обмена и его определение. Идеальный изотопный обмен. Классификация реакций идеального изотопного обмена. Движущая сила реакций идеального изотопного обмена. Динамический характер изотопного состава объектов радиохимии. Ядерно-физические и физико-химические аспекты поведения изотопов. Понятие идентичности физико-химического поведения изотопных атомов.</p> <p>2. Важнейшие термодинамические, термодинамические и кинетические особенности реакций изотопного обмена. Основной закон кинетики реакции идеального изотопного обмена и его особенности. Важнейшие кинетические характеристики реакций идеального изотопного обмена.</p>  | 4+2 |
| <p><b>3. Состояние и распределение радионуклидов в различных фазах. Процессы фазообразования и коллоидообразования</b></p> <p>1. Сорбция, хемосорбция и хроматография в радиохимии. Процессы соосаждения. Их классификация. Соосаждение с изотопными носителями. Принцип действия изотопных носителей. Сокристаллизация и адсорбция микроконцентраций радионуклидов. Изоморфное соосаждение. Образование Гриммовских смешанных кристаллов. Аномальные смешанные кристаллы.</p> <p>2. Количественные характеристики распределения микрокомпонента между осадком и раствором. Работы Хлопина и Гана. Термодинамически равновесное распределение. Закон Хлопина. Константа Хлопина и коэффициент кристаллизации. Работы Ратнера. Истинный коэффициент кристаллизации. Распределение микрокомпонента между твердой фазой и расплавом</p> <p>3. Состояние радиоактивных элементов в крайне разбавленных растворах. Истинные и псевдордиокolloиды, условия их образования. Особенности поведения радионуклидов в радиокolloидах. Методы исследования. Значение и область применения.</p> | 6+6 |
| <p><b>4. Методы выделения, разделения и очистки радиоактивных элементов и изотопов.</b></p> <p>1. Экстракционные, сорбционные, электрохимические, хроматографические процессы разделения в радиохимии.</p>   | 2+2 |
| <p><b>5. Химия радиоактивных элементов</b></p> <p>1. Уран. Распространенность в природе, изотопы урана. Важнейшие соединения урана, их получение и свойства, Химия урана в растворах.</p> <p>2. Химия трансурановых элементов в водных растворах</p>   | 4+4 |
| <p><b>6. Определение радиоактивных элементов и изотопов.</b></p> <p>1. Методы радиохимического анализа. Авторадиография.</p>   | 4+4 |

|   |     |
|---|-----|
| Аналитический контроль радиохимических производств.<br>Радиохимические аспекты радиационной безопасности<br>2. Ядерная спектрометрия  |     |
| <b>7. Научные основы технологии ядерного топлива</b>  | 2+2 |
| <b>8. Проблемы обращения с радиоактивными отходами</b>  | 2+2 |
| <b>9. Меченые соединения</b><br>1. Радиоактивные индикаторы в науке и технологии.<br>Химические аспекты использования радионуклидов в биологии и медицине, радиофармацевтика  | 2+2 |
| <b>10. Формы существования и миграции радионуклидов в природных средах.</b><br>1. Естественные и техногенные радионуклиды в биосфере.<br>Определение радионуклидов в объектах окружающей среды.<br>Радиоактивное загрязнение окружающей среды и возможности современной радиохимии в области мониторинга. Реабилитация территорий, загрязненных радионуклидами. | 4+4 |
| <b>Практические занятия</b>   |     |
| 1 Ознакомление с оборудованием и программным обеспечением для гамма-спектрометрии   | 2   |
| 2 Получение гамма-спектров реальных образцов, их обработка и интерпретация.   | 8   |
| 3 Ознакомление с оборудованием и программным обеспечением для альфа-спектрометрии   | 2   |
| 4 Особенности и способы подготовки мишеней для альфа спектрометрии  | 4   |
| 5 Получение альфа-спектров реальных образцов, их обработка и интерпретация.   | 8   |

### 5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций. Основные виды самостоятельной работы: в читальном зале библиотеки, в домашних условиях с доступом к ресурсам Интернет.

Основной контроль знаний осуществляется в процессе участия в практических занятиях (обсуждения, ответов на вопросы, выполнение расчетных заданий).

### 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

#### Основная литература

1. Бекман И.Н. Радиохимия в 2-х т. Т.1 Фундаментальная радиохимия М.: Юрайт, 2014, 473 с.

2. Бекман И.Н. Радиохимия в 2-х т. Т.2 Прикладная радиохимия и радиационная безопасность М.: Юрайт, 2014, 386 с.
3. Сапожников Ю.А., Алиев Р.А., Калмыков С.Н. Радиоактивность окружающей среды. Бином, 2006, 268 с.
4. Ан.Н.Несмеянов. Радиохимия. М.: Химия. 1985.
5. Р.А. Алиев, С.Н. Калмыков Радиоактивность. М.: Лань. 2013, 304 с.
6. И. Хала, Дж. Навратил. Радиоактивность, ионизирующее излучение и ядерная энергетика. Пер. с англ./под ред. Б.Ф. Мясоедова, С.Н. Калмыкова. М.: ЛКИ, 2013. 432 с.

#### Дополнительная литература

1. Ядерная энциклопедия Автор: Ярошинская А.А. Издательство: Благотворительный фонд Ярошинской Год: 1996 Страниц: 656
2. Химическая энциклопедия, Изд. БРЭ, т.т. 1-5, 1988-1998
3. Modelling in Aquatic Chemistry. OECD Publications, 1997, 724 pp.
4. The Chemistry of the Actinide and Transactinide Elements (Set Vol.1-6), Ed.: L.R. Morss, N. Edelstein, J. Fuger, J.J. Katz. Springer Netherlands, 2011.

#### Периодическая литература

Журналы «Радиохимия», "Radiochemical and nuclear chemistry", "Radiochimica Acta"

#### Интернет-ресурсы

1. <http://profbeckman.narod.ru/>
2. <http://beckuniver.ucoz.ru/>
3. <http://radiochemistry-msu.ru>
4. <https://thereda.com/en/>
5. <http://www.oecd-nea.org/dbtdb/>

### **7. Образовательные технологии**

Кроме очных лекций проводятся практические занятия на базе аналитических лабораторий ГЕОХИ, используется самостоятельная работа и выполнение расчетных заданий. При осуществлении образовательного процесса по дисциплине используются следующие информационно-телекоммуникационные технологии:

- Персональный компьютер (или ноутбук) с необходимым программным обеспечением для работы устройства, а также для демонстрации презентаций MS PowerPoint.

### **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

8.1. Радиохимическая лаборатория ГЕОХИ РАН имеет лицензию на право работ с радиоактивными веществами по второму классу. Лаборатория оснащена необходимыми приборами и оборудованием:

- приборы: гамма-спектрометр (Canberra) и полупроводниковый (HPGe) детектор, альфа-спектрометр (Canberra)
- лабораторное оборудование: центрифуги разного типа, микроволновые системы разложения проб, дистилляторы, весы технические, весы аналитические, лабораторная посуда, химические реактивы, растворы радионуклидов.

8.2. Лекционная аудитория, оборудованная проекционным оборудованием и доступом в сеть «Интернет».

## **9. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины**

9.1. Форма контроля знаний:

9.1.1. Текущий контроль знаний в течение всего курса осуществляется с помощью контрольных вопросов, заданий для расчетно-графических работ.

9.1.2. Зачет по дисциплине в конце курса обучения, который проходит в виде собеседования по реферату, подготовленному аспирантом по предложенной преподавателем теме заранее.

9.2. Планируемые результаты обучения, характеризующие этапы формирования компетенции, критерии, показатели и средства их оценивания.

9.2.1. Этапы формирования универсальной компетенции - УК-1:

9.2.1. Этапы формирования универсальной компетенции - УК-1:

|   |   |                     |  |
|---|---|---------------------|--|
| Планируемые результаты обучения                       |   |                     | <b>Знать:</b> методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях ( <b>УК-1</b> ). |
| Критерии и показатели оценивания результатов обучения | 1 | неудовлетворительно | Отсутствие знаний  |
|   | 2 | неудовлетворительно | Фрагментарные представления о методах критического анализа и оценках современных научных достижений, а также о методах генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач                                       |
|   | 3 | удовлетворительно   | Неполные представления о методах критического анализа и оценках современных научных достижений, а также о методах генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач  |
|   | 4 | хорошо              | Сформированные, но содержащие отдельные пробелы представлений о методах критического анализа и оценках современных научных достижений, а также о методах генерирования новых идей при решении исследовательских и                        |

|  |   |         |   |
|--|---|---------|---|
|  |   |         | практических задач  |
|  | 5 | отлично | Сформированные систематические представления о методах критического анализа и оценках современных научных достижений, а также о методах генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач |

|   |   |                     |   |
|---|---|---------------------|---|
| Планируемые результаты обучения                       |   |                     | <b>Уметь:</b> анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач ( <b>УК-1</b> ).                 |
| Критерии и показатели оценивания результатов обучения | 1 | неудовлетворительно | Отсутствие умений   |
|   | 2 | неудовлетворительно | Частично освоенное умение анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач                      |
|   | 3 | удовлетворительно   | В целом успешно, но не систематически осуществляемые анализ альтернативных вариантов решения исследовательских и практических задач |
|   | 4 | хорошо              | В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы анализа альтернативных вариантов решения исследовательских и практических задач    |
|   | 5 | отлично             | Сформированное умение анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач                          |

|   |   |                     |  |
|---|---|---------------------|--|
| Планируемые результаты обучения                       |   |                     | <b>Владеть:</b> навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях ( <b>УК-1</b> ). |
| Критерии и показатели оценивания результатов обучения | 1 | неудовлетворительно | Отсутствие навыков   |
|   | 2 | неудовлетворительно | Фрагментарное применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач  |
|   | 3 | удовлетворительно   | В целом успешное, но не систематическое применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач                          |
|   | 4 | хорошо              | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применения навыков анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач                |
|   | 5 | отлично             | Успешное и систематическое применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач                                       |

### 9.2.2. Этапы формирования универсальной компетенции - УК-5

|   |   |  |   |
|---|---|--|---|
| Планируемые результаты обучения                       |   | <b>Знать:</b> содержание процесса целеполагания профессионального и личностного развития, его особенности и способы реализации при решении профессиональных задач, исходя из этапов карьерного роста и требований рынка труда. (УК-5). |   |
| Критерии и показатели оценивания результатов обучения | 1 | неудовлетворительно  | Отсутствие знаний   |
|   | 2 | неудовлетворительно  | Допускает существенные ошибки при раскрытии содержания процесса целеполагания, его особенностей и способов реализации.  |
|   | 3 | удовлетворительно  | Демонстрирует частичные знания содержания процесса целеполагания, некоторых особенностей профессионального развития и самореализации личности; указывает способы реализации, но не может обосновать их использования в конкретных ситуациях.                    |
|   | 4 | хорошо   | Демонстрирует знания сущности процесса целеполагания, отдельных особенностей процесса и способов его реализации, характеристик профессионального развития личности, но не выделяет критерии выбора способов целереализации при решении профессиональных задач.. |
|   | 5 | отлично  | Раскрывает полное содержание процесса целеполагания, всех его особенностей, аргументировано обосновывает критерии выбора способов профессиональной и личностной целереализации при решении профессиональных задач..   |

|   |   |  |  |
|---|---|--|--|
| Планируемые результаты обучения                       |   | <b>Уметь:</b> осуществлять личностный выбор в различных профессиональных и морально-ценностных ситуациях, оценивать последствия принятого решения и нести за него ответственность перед собой и обществом. (УК-5). |  |
| Критерии и показатели оценивания результатов обучения | 1 | неудовлетворительно  | Не готов и не умеет осуществлять личностный выбор в различных профессиональных и морально-ценностных ситуациях, оценивать последствия принятого решения и нести за него ответственность перед собой и обществом. |
|   | 2 | неудовлетворительно  | Готов осуществлять личностный выбор в конкретных профессиональных и морально-ценностных ситуациях, но не умеет оценивать последствия принятого решения и нести за него ответственность перед собой и обществом.  |
|   | 3 | удовлетворительно  | Осуществляет личностный выбор в конкретных профессиональных и морально-ценностных ситуациях, оценивает некоторые последствия   |

|  |   |         |  |
|--|---|---------|--|
|  |   |         | принятого решения, но не готов нести за него ответственность перед собой и обществом.  |
|  | 4 | хорошо  | Осуществляет личный выбор в стандартных профессиональных и морально-ценностных ситуациях, оценивает некоторые последствия принятого решения и готов нести за него ответственность перед собой и обществом.   |
|  | 5 | отлично | Умеет осуществлять личный выбор в различных нестандартных профессиональных и морально-ценностных ситуациях, оценивать последствия принятого решения и нести за него ответственность перед собой и обществом. |

|   |   |                     |  |
|---|---|---------------------|--|
| Планируемые результаты обучения                       |   |                     | <b>Владеть:</b> приёмами и технологиями целеполагания, целереализации и оценки результатов деятельности по решению профессиональных задач. ( <b>УК-5</b> ).  |
| Критерии и показатели оценивания результатов обучения | 1 | неудовлетворительно | Отсутствие навыков   |
|   | 2 | неудовлетворительно | Владеет отдельными приёмами и технологиями целеполагания, целереализации и оценки результатов деятельности по решению стандартных профессиональных задач, допуская ошибки при выборе приёмов и технологий их реализации.                   |
|   | 3 | удовлетворительно   | Владеет отдельными приёмами и технологиями целеполагания, целереализации и оценки результатов деятельности по решению стандартных профессиональных задач, давая не полностью аргументированное обоснование предлагаемого варианта решения. |
|   | 4 | хорошо              | Владеет приёмами и технологиями целеполагания, целереализации и оценки результатов деятельности по решению стандартных профессиональных задач, полностью аргументируя предлагаемые варианты решения.                                       |
|   | 5 | отлично             | Демонстрирует владение системой приёмов и технологий целеполагания, целереализации и оценки результатов деятельности по решению нестандартных профессиональных задач, полностью аргументируя выбор предлагаемого варианта решения.         |

### 9.2.3. Этапы формирования общепрофессиональной компетенции - ОПК-1:

|                                  |   |                     |  |
|----------------------------------|---|---------------------|--|
| Планируемые результаты обучения  |   |                     | <b>Знать:</b> современные способы использования информационно-коммуникационных технологий в выбранной сфере деятельности ( <b>ОПК-1</b> ). |
| Критерии и показатели оценивания | 1 | неудовлетворительно | Отсутствие знаний  |
|                                  | 2 | неудовлетворительно | Фрагментарные представления о современных способах использования информационно-  |

|                      |   |                   |  |
|----------------------|---|-------------------|--|
| результатов обучения |   |                   | коммуникационных технологий в выбранной сфере деятельности.  |
|                      | 3 | удовлетворительно | В целом успешные, но не систематические представления о современных способах использования информационно-коммуникационных технологий в выбранной сфере деятельности.   |
|                      | 4 | хорошо            | В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы представления о современных способах использования информационно-коммуникационных технологий в выбранной сфере деятельности.                                     |
|                      | 5 | отлично           | Сформированные представления о современных способах использования информационно-коммуникационных технологий в выбранной сфере деятельности используемые в практике научных исследований химической направленности. |

|   |   |                     |  |
|---|---|---------------------|--|
| Планируемые результаты обучения                       |   |                     | <b>Уметь:</b> выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования. <b>(ОПК-1)</b> .                        |
| Критерии и показатели оценивания результатов обучения | 1 | неудовлетворительно | Отсутствие умений  |
|   | 2 | неудовлетворительно | Фрагментарное использование умения выбирать и использовать экспериментальные и расчетно-теоретические методы для решения научной задачи                                    |
|   | 3 | удовлетворительно   | В целом успешное, но не систематическое использование умения выбирать и использовать экспериментальные и расчетно-теоретические методы для решения научной задачи.         |
|   | 4 | хорошо              | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы использования умения выбирать и применять экспериментальные и расчетно-теоретические методы для решения научной задачи.. |
|   | 5 | отлично             | Сформированное умение выбирать и использовать экспериментальные и расчетно-теоретические методы для решения научной задачи   |

#### 9.2.4. Этапы формирования общепрофессиональной компетенции - ОПК-2:

|                                 |   |                     |  |
|---------------------------------|---|---------------------|--|
| Планируемые результаты обучения |   |                     | <b>Уметь:</b> планировать научную работу, формировать состав рабочей группы и оптимизировать распределение обязанностей между членами исследовательского коллектива <b>(ОПК-2)</b> . |
| Критерии и показатели           | 1 | неудовлетворительно | Отсутствие умений  |
|                                 | 2 | неудовлетворительно | Фрагментарное использование разделения   |

|                                 |   |                   |  |
|---------------------------------|---|-------------------|--|
| оценивания результатов обучения |   |                   | научной работы на составные части, отсутствие умения оптимизировать распределение обязанностей между членами команды   |
|                                 | 3 | удовлетворительно | В целом успешное, но не систематическое использование умения планировать научную работу и формировать команду с адекватным распределением обязанностей между членами коллектива  |
|                                 | 4 | хорошо            | Сформированное умение составления плана научной работы, схем взаимодействия при решении исследовательских и практических задач с оценкой их сильных и слабых сторон, но наличие определенных затруднений с формированием команды |
|                                 | 5 | отлично           | Сформированное умение составления плана научной работы с выделением параллельно и последовательно выполняемых стадий с оптимальным распределением обязанностей между членами коллектива.   |

### 9.2.5. Этапы формирования профессиональной компетенции - ПК-3:

|   |   |                     |  |
|---|---|---------------------|--|
| Планируемые результаты обучения                       |   |                     | <b>Знать:</b> способность и готовность к самостоятельному проведению научно-исследовательской работы и получению научных результатов в области радиохимии. (ПК-3). |
| Критерии и показатели оценивания результатов обучения | 1 | неудовлетворительно | Отсутствие знаний  |
|   | 2 | неудовлетворительно | Фрагментарные представления о современном состоянии науки в области радиохимии   |
|   | 3 | удовлетворительно   | Неполные представления о современном состоянии науки в области радиохимии  |
|   | 4 | хорошо              | Сформированные представления, но содержащие отдельные пробелы представления о современном состоянии науки в области радиохимии                                     |
|   | 5 | отлично             | Сформированные систематические представления о современном состоянии науки в области радиохимии  |

|   |   |                     |   |
|---|---|---------------------|---|
| Планируемые результаты обучения                       |   |                     | <b>Владеть:</b> методами планирования, подготовки, проведения научно-исследовательской работы по направленности (02.00.14 Радиохимия) (ПК-3). |
| Критерии и показатели оценивания результатов обучения | 1 | неудовлетворительно | Отсутствие навыков  |
|   | 2 | неудовлетворительно | Фрагментарное применение методов планирования, подготовки и проведения научно-исследовательской работы  |
|   | 3 | удовлетворительно   | В целом успешное, но не систематическое применение методов планирования, подготовки и проведения научно-исследовательской работы              |
|   | 4 | хорошо              | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применения методов планирования,  |

|  |   |         |   |
|--|---|---------|---|
|  |   |         | подготовки и проведения научно-исследовательской работы   |
|  | 5 | отлично | Успешное и систематическое применение методов планирования, подготовки и проведения научно-исследовательской работы |

9.2.5. Оценочные средства (в виде устных вопросов, тем расчетно-графических работ, тем реферата).

9.2.5.1. Перечень примерных вопросов для текущего контроля знаний

Физические основы радиохимии. Элементы общей радиохимии. Химия радиоактивных элементов.

- 1 История научных открытий, приведших к созданию радиохимии. Роль русских ученых.
- 2 Радиоактивность ( $\alpha$ ,  $\beta$ , E-захват, изомерный переход). Закон радиоактивного распада.
- 3 Взаимодействие излучения с веществом. Регистрация излучений.
- 4 Типы ядерных реакций. Общие закономерности ядерных реакций. Получение быстрых заряженных частиц.
- 5 Эффект Мессбауэра. Применение его в химических исследованиях.
- 6 Изотопный обмен. Значение процессов изотопного обмена для теоретической и прикладной радиохимии и смежных с ней областей знаний.
- 7 Особенности поведения радиоактивных веществ (коллоидообразование, адсорбция, соосаждение).
- 8 Разделение, выделение и концентрирование радионуклидов: экстракционные методы.
- 9 Разделение, выделение и концентрирование радионуклидов: сорбционные методы.

Химия радиоактивных элементов. Химические процессы, инициированные ядерными превращениями.

- 1 Естественные и искусственные радиоактивные элементы. Степени окисления элементов и их устойчивость, важнейшие химические формы, практическое использование.
- 2 Актиниды и периодическая система Д.И. Менделеева.
- 3 Изотопы урана. Разделение изотопов урана. Важнейшие соединения урана, их получения и свойства.
- 4 Изотопы плутония. Валентные состояния плутония.
- 5 Химические изменения при изомерном переходе.
- 6 Химические изменения при процессах  $\beta$ -распада.
- 7 Реакция ( $\eta$ ,  $\gamma$ ). Ее особенности. Эффект Сцилларда-Чалмерса. Реакции «горячих» атомов.
- 8 Процессы  $\beta$ -распада атомов в составе молекулярных систем как основа метода синтеза новых химических форм радиоактивных элементов и меченых соединений.
- 9 Химические изменения при рациональном захвате нейтрона как основа метода обогащения искусственных радионуклидов и синтеза меченых соединений.

### Научные основы технологии ядерного горючего

- 1 Переработка урановых руд и их комплексное использование. Физические и химические методы обогащения, вскрытие урановых руд.
- 2 Основные химические реакции, используемые при разделении урана, нептуния, плутония и продуктов деления.
- 3 Типы ядерных реакций. Цепные реакции. Принцип действия ядерного реактора. Ядерное топливо, замедлители, теплоносители.
- 4 Реакторы. Материалы, применяемые в качестве замедлителей, теплоносителей, отражателей и деталей конструкций.
- 5 Осадительные процессы переработки топлива в целях получения плутония: лантансульфатный, фторидный, висмутфосфатный.
- 6 Экстракционно-хроматографические методы - основа технологических процессов безотходных производств.
- 7 Переработка облученного ядерного топлива сухими методами. Процессы разделения, основанные на различной летучести фторидов, экстракция из расплавов жидкими металлами и солями.
- 8 Новые виды ядерных топлив. Реакторы на быстрых нейтронах.
- 9 Радиохимические аспекты ядерной трансмутации.

### Прикладная радиохимия. Проблемы обращения с радиоактивными отходами.

- 1 Формы существования и миграции радионуклидов в природных средах. Естественные и техногенные радионуклиды в биосфере.
- 2 Методы диагностики материалов. Нейтронные методы исследования материалов. Методы, основанные на использовании ионных пучков.
- 3 Основы метода радиоактивных индикаторов. Применение радиоактивных изотопов в аналитической, органической и физической химии.
- 4 Меченые соединения. Получение и идентификация меченых соединений. Процессы авторадиолиза.
- 5 Принципы радиэкологического мониторинга территорий, загрязнённых радионуклидами.
- 6 Радионуклиды, применяемые в ядерной медицине.
- 7 Понятие радиофармацевтического препарата (РФП). Классификация и контроль качества РФП.
- 8 Позитронно-эмиссионная томография.
- 9 Циклотронные и реакторные нуклиды. Радиохимические аспекты производства радионуклидов для ядерной медицины.

#### 9.2.5.2. Список домашних заданий:

1. Самостоятельно предложить задачи и провести расчёт кинетики радиоактивного распада смесей радионуклидов и генетически связанных радионуклидов.
2. Самостоятельно предложить задачи и провести расчёт изотопных эффектов
3. Самостоятельно предложить задачи и провести расчет химических равновесий с использованием специализированного программного обеспечения.

#### 9.2.5.3. Список примерных тем для рефератов

1. Технеций: синтез и свойства
2. Основные вопросы радиофармацевтики
3. Спектрометрические методы идентификации и определения радионуклидов
4. Современные методы переработки отработанного ядерного топлива
5. Методы инкорпорирования радиоактивных отходов в минералоподобные матрицы

## 10. ПРОГРАММА-МИНИМУМ кандидатского экзамена по специальности 02.00.14 «Радиохимия» по химическим и техническим наукам

### Введение

В основу настоящей программы положены следующие разделы науки: радиохимия, ядерная физика, радиохимическая технология.

Программа разработана экспертным советом по химии (по неорганической химии) Высшей аттестационной комиссии Минобразования России при участии Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, С.-Петербургского государственного университета, Института физической химии РАН, Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, РНЦ "Курчатовский институт" и НПО "Радиевый институт" им. В.Г. Хлопина.

### I. Физические основы радиохимии

История научных открытий конца XIX и начала XX века, приведших к созданию радиохимии и ядерной физики как самостоятельных разделов химии и физики. Роль русских ученых в создании и развитии радиохимии.

Предмет радиохимии. Ранние и современные определения радиохимии. Основные этапы развития радиохимии и их характеристика.

Общие свойства атомных ядер. Изотопия (включая систематику и распределение изотопов). Радиоактивность (альфа, бета, К - захват, изомерный переход). Законы распада. Взаимодействие излучения с веществом. Основы дозиметрии. Методы обнаружения и измерения интенсивности радиоактивных излучений. Основные методы ядерной спектроскопии.

Получение быстрых заряженных частиц. Источники нейтронов. Общие закономерности ядерных реакций. Энергетические эффекты, эффективное сечение. Основные типы ядерных реакций. Взаимодействие нейтронов с веществом. Реакция деления. Цепная ядерная реакция. Основные типы атомных реакторов. Понятие о термоядерных реакциях. Реакции получения трансурановых элементов с помощью нейтронов (реактор, водородная бомба) и ускоренных ионов.

Пост-эффекты ядерных реакций и ядерных превращений. Эффект Мессбауэра. Применение его в химических исследованиях. Аннигиляция позитронов. Позитроний как объект химического исследования.

### II. Общая радиохимия

#### 1. Свойства и поведение изотопов средних и тяжелых элементов

Динамический характер изотопного состава объектов радиохимии. Ядерно-физические и физико-химические аспекты поведения изотопов. Понятие идентичности физико-химического поведения изотопных атомов.

#### 2. Процессы изотопного обмена

Явление изотопного обмена и его определение. Идеальный изотопный обмен. Классификация реакций идеального изотопного обмена. Движущая сила реакций идеального изотопного обмена.

Важнейшие термохимические, термодинамические и кинетические особенности этих реакций. Основной закон кинетики реакции идеального изотопного обмена и его особенности. Важнейшие кинетические характеристики реакций идеального изотопного обмена.

Основные моменты экспериментального изучения реакций изотопного обмена.

Значение процессов изотопного обмена для теоретической и прикладной радиохимии и смежных с ней областей знаний.

### 3. Процессы распределения радионуклидов между различными фазами

#### 3.1. Распределение между жидкой и твердой фазами.

Сорбция, хемосорбция и хроматография в радиохимии.

Процессы соосаждения. Их классификация. Соосаждение с изотопными носителями. Принцип действия изотопных носителей. Сокристаллизация и адсорбция микроконцентраций радионуклидов. Изоморфное соосаждение. Образование Гриммовских смешанных кристаллов. Аномальные смешанные кристаллы.

Количественные характеристики распределения микрокомпонента между осадком и раствором. Работы Хлопина и Гана. Термодинамически равновесное распределение. Закон Хлопина. Константа Хлопина и коэффициент кристаллизации. Работы Ратнера. Истинный коэффициент кристаллизации. Распределение микрокомпонента между твердой фазой и расплавом.

#### 3.2. Адсорбция радионуклидов.

Правила адсорбции Панета-Фаянса и Гана. Классификация процессов адсорбции на ионных кристаллах. Первичная потенциал-образующая и первичная обменная адсорбция, вторичная адсорбция, их закономерности. Зависимость первичной и вторичной адсорбции от свойств ионов, pH раствора. Внутренняя адсорбция. Ионно-обменная адсорбция.

#### 3.3. Электрохимия радиоактивных элементов.

Приложимость уравнения Нернста к сильно разбавленным растворам. Критический потенциал выделения и методы его определения. Электролиз микроконцентраций элементов. Факторы, влияющие на процесс электролиза веществ, находящихся в микроконцентрациях. Кинетика процесса электроосаждения. Электрохимические методы изучения свойств радиоактивных элементов в растворах.

#### 3.4. Состояние радионуклидов в разбавленных жидких, твердых и газообразных средах.

Состояние радиоактивных изотопов в растворах. Ионное, молекулярное и коллоидное состояние. Доказательства существования радионуклидов в различных состояниях. Методы исследования состояния радионуклидов.

### 4. Экстракция в радиохимии

Проведение экстракции и реэкстракции. Кинетика экстракции. Коэффициент распределения и константа экстракции. Механизм экстракционного процесса и влияние различных факторов на экстракционное равновесие. Извлекаемая и экстрагируемая доли. Экстракционное разделение смесей радионуклидов. Коэффициенты разделения элементов и выбор оптимальных условий разделения. Лабораторные и промышленные экстракторы. Многостадийность экстракционных процессов. Применение экстракции для выделения и концентрирования радионуклидов. Получение радионуклидов без носителей. Переработка ядерного горючего. Выделение плутония и регенерация урана. Разделение продуктов деления (осколочные радионуклиды).

### 5. Процессы радиоколлоидообразования

Состояние радиоактивных элементов в крайне разбавленных растворах. Истинные и псевдордиоколлоиды, условия их образования. Особенности поведения радионуклидов в радиоколлоидах. Методы исследования. Значение и область применения.

### III. Химия радиоактивных элементов

Возможность изучения химии радиоактивного элемента по поведению любого из его изотопов, как следствие идентичности физико-химических свойств изотопов. Сохранение индивидуальных свойств элементов при предельно малых концентрациях. Особенности поведения радиоактивных элементов, связанные с малыми концентрациями (невозможность образования самостоятельных твердых фаз и протекания реакций с участием нескольких частиц, содержащих радиоактивный элемент, сдвиги потенциалов выделения и т.д.).

Электронная структура тяжелых элементов и возможность дальнейшего расширения периодической системы. Естественные и искусственные радиоактивные элементы: технеций, прометий, полоний, астат, радон, франций, радий, актиний, торий, протактиний, уран, нептуний, плутоний и трансплутониевые элементы. История открытия, положение в периодической системе, электронная структура, основные изотопы, методы выделения из природных объектов или получения с помощью ядерных реакций, методы идентификации, физические и химические свойства. Работы Объединенного института ядерных исследований (г. Дубна) в области синтеза и идентификации сверхтяжелых элементов.

Степени окисления элементов и их устойчивость, важнейшие химические формы, их получение и анализ, практическое использование.

1. Уран. Распространенность в природе, изотопы урана. Важнейшие соединения урана, их получение и свойства

Гидриды: методы получения, физические и химические свойства.

Галогениды: методы получения, состав и кристаллическая структура, термодинамические свойства, химические реакции.

Оксиды: методы получения, области существования индивидуальных фаз. Химические реакции.

Соли урана и уранила: сульфаты, оксалаты, ацетаты, фосфаты, нитраты, галогенацетаты и др.

#### 2. Химия урана в растворах

Состояния окисления, устойчивые в водных растворах, окислительно-восстановительные реакции, влияние температуры и кислотности на скорости окислительно-восстановительных реакций. Комплексообразование урана и гидролиз его солей в водных растворах. Химия урана в неводных растворах. Комплексообразование с органическими лигандами.

#### 3. Химия трансурановых элементов в водных растворах

Окислительно-восстановительные реакции, комплексообразование, гидролиз.

### IV. Химические процессы, инициированные ядерными превращениями.

#### 1. Химические следствия радиоактивного распада

Химические изменения при изомерном переходе. Явление ядерной изомерии. История открытия. Причины явления. Различные виды превращений изомерных ядер. Методы идентификации изомерных состояний. Внутренняя конверсия, последующие процессы, развивающиеся в электронных оболочках, при изомерных переходах. Механизм химических изменений при изомерных переходах атомов в составе молекулярных систем. Разделение ядерных изомеров.

Химические изменения при процессах бета-распада. Процессы, происходящие при бета-превращениях атомов (изменение зарядового состояния, радиоактивная отдача, ионизация и возбуждение электронных оболочек вследствие внезапного изменения заряда ядра).

Процессы бета- распада атомов в составе молекулярных систем как основа метода синтеза новых химических форм радиоактивных элементов и меченых соединений. Особенности последствий процессов бета- распада трития в составе молекулярных систем и их использование для получения промежуточных реакционноспособных частиц (карбениевые ионы, их кремниевые и германиевые аналоги, ионы-карбеноиды, карбены, нитрены и т.д.). Значение новых методов получения и исследования реакции этих частиц для развития кинетики химических реакций в органической и неорганической химии.

## 2. Химические изменения при искусственно вызываемых ядерных превращениях

Реакция  $(n, \alpha)$ . Ее особенности. Энергия связи нейтрона с ядром и  $\alpha$ - кванты захвата. Энергия отдачи при эмиссии  $\alpha$ - квантов захвата. Эффект Сцилларда-Чалмерса. Возникновение «горячих» атомов. Удержание, его причины и виды. Реакции «горячих» атомов. Основные идеи теории упругих и неупругих соударений и теории «горячей» зоны. Химические изменения при рациональном захвате нейтрона как основа метода обогащения искусственных радионуклидов и синтеза меченых соединений.

## V. Научные основы технологии ядерного горючего

Переработка урановых руд и их комплексное использование. Физические и химические методы обогащения, вскрытие урановых руд. Сорбционно-экстракционные методы извлечения урана из растворов и пульп. Промышленное получение металлического урана, его сплавов, оксидов, тетрафторида и гексафторида.

Основные химические реакции, используемые при разделении урана, нептуния, плутония и продуктов деления. Главнейшие окислители и восстановители, применяемые в технологии урана, нептуния и плутония.

Основы ядерно-энергетического цикла. Типы ядерных реакций. Нейтронные реакции. Замедление нейтронов. Особенности реакций с медленными и быстрыми нейтронами. Деление ядер тяжелых элементов. Распределение продуктов деления по массам и зарядам. Цепные реакции. Принцип действия ядерного реактора. Ядерное горючее, замедлители, теплоносители.

Реакторы. Конструкционные особенности реакторов на быстрых и тепловых нейтронах. Вещества и материалы, применяемые в качестве замедлителей, теплоносителей, отражателей и деталей конструкций.

Тепловыделяющие элементы на основе металлов: урана, тория. Керамические твэлы, оболочки твэлов из алюминия, магния, циркония и их сплавов. Конструкция твэлов.

Переработка облученного ядерного горючего. Подготовительные процессы при переработке ядерного горючего, «охлаждение», механическая обработка, растворение оболочек твэлов из различных материалов и сплавов.

Общие принципы построения технологических схем при переработке ядерного горючего.

Осадительные процессы переработки горючего с целью получения плутония: лантансульфатный, фторидный, висмутфосфатный. Поведение осколков деления на отдельных стадиях процесса осаждения.

Общие принципы построения технологических схем при переработке ядерного горючего. Экстракционно-хроматографические методы – основа технологических процессов безотходных производств. Химия процессов экстракции урана и трансураниевых элементов кислородсодержащими органическими растворителями, фосфорорганическими соединениями и аминами. Экстракция хелатов. Разделение урана и трансураниевых элементов ионообменными методами.

Переработка облученного ядерного горючего сухими методами.

Процессы разделения, основанные на различной летучести фторидов, экстракция из расплавов жидкими металлами и солями. Окислительное шлакование. Электрорафинирование.

## VI. Проблемы обращения с радиоактивными отходами

Формы существования и миграции радионуклидов в природных средах. Естественные и техногенные радионуклиды в биосфере. Продукты деления, методы их выделения, переработка и использование. Источники образования жидких, твердых и газообразных отходов. Хранение и переработка высокоактивных жидких отходов. Очистка жидких отходов низкого и среднего уровня активности. Определение радионуклидов в объектах окружающей среды. Радиоактивное загрязнение окружающей среды и возможности современной радиохимии в области мониторинга. Реабилитация территорий, загрязненных радионуклидами.

Радиохимические аспекты ядерной трансмутации.

## VII. Прикладная радиохимия

### 1. Меченые соединения

Получение и идентификация меченых соединений. Химические, физико-химические, ядерно-химические и биохимические методы синтеза. Процессы автордиолиза. Химия ультра-короткоживущих биогенных радионуклидов. Радиохимические аспекты позитронно-эмиссионной томографии.

### 2. Радиоактивные индикаторы в науке и технологии

Основы метода радиоактивных индикаторов. Применение радиоактивных изотопов в аналитической, органической и физической химии. Исследование структуры и структурных изменений химических соединений. Определение давления пара труднолетучих веществ. Исследование равновесий. Изучение кинетики и катализа. Исследование процессов миграции (диффузии, электролитической проводимости, термической диффузии и т.п.). Корреляционный и изотопный эффекты. Химические аспекты использования радионуклидов в биологии и медицине.

### ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

| № листа изменений или наименование элемента приложения | № протокола Ученого Совета (секции Уч. Совета)  | Дата заседания Ученого Совета (секции Уч. Совета) | Всего листов в документе | Подпись зам. директора по научной работе |
|--|---|---|--------------------------|--|
|  | Рабочая программа обсуждена и принята на заседании Ученого совета ГЕОХИ РАН, протокол № 8 | 22 октября 2014 года                              | 21                       |  |
| --   | Обновленный текст программы принят на заседании Ученого совета РАН, Протокол №11(8)       | 28 декабря 2016 года                              | 21                       |  |
|  |   |   |                          |  |
|  |   |   |                          |  |