

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»  
Химический факультет

УТВЕРЖДАЮ  
Декан химического факультета, Акад. РАН,  
профессор



*С.Н.Калмыков/*

«30» августа 2022 г.

## ***РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ***

***направленной на подготовку к сдаче кандидатского экзамена по специальности***

***Радиохимия***

***Radiochemistry***

**Уровень высшего образования:**

Программа подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре  
(104-01-00-1413-хн)

Москва 2022

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с Требованиями к основным программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, самостоятельно устанавливаемыми Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова (приказ №1216 от 24 ноября 2021 г.) и паспортом научной специальности **1.4.13. «Радиохимия»**.

1. Краткая аннотация:

***Название дисциплины – Радиохимия***

**Цель курса:** подготовить аспирантов к сдаче кандидатского экзамена по специальности «Радиохимия», дать аспирантам, обучающимся по специальности «Радиохимия» углубленное представление о ядерно-физических, химических и токсических свойствах радионуклидов, методов их получения, радиохимических методах переработки радиоактивных веществ, ядерной химии и использовании идей фундаментальной радиохимии в науке, технике и медицине.

2. Уровень высшего образования – подготовка кадров высшей квалификации
3. Научная специальность: **1.4.13** Радиохимия, область науки: 1. Естественные науки
4. Место дисциплины (модуля) в структуре Программы аспирантуры: Дисциплины (модули), направленные на подготовку к кандидатским экзаменам - курс по специальности (для сдачи канд. минимума), может быть прослушана аспирантами в качестве факультативного курса
5. Объем дисциплины (модуля) составляет 3 зачетных единицы, всего 108 часов, из которых 60 часов составляет контактная работа аспиранта с преподавателем (18 часов занятия лекционного типа, 18 часов занятия семинарского типа (семинары, научно-практические занятия, лабораторные работы и т.п.), 6 часов групповые консультации, 6 часов индивидуальные консультации, 6 часов мероприятия текущего контроля успеваемости, 6 - мероприятия промежуточной аттестации ), 48 часов составляет самостоятельная работа аспиранта.
6. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия. На предыдущих уровнях высшего образования должны быть освоены общие курсы:
  1. «Математический анализ»,
  2. «Линейная алгебра»,
  3. «Теория вероятностей»,
  4. «Основы радиохимии и радиоэкологии»,
  5. «Ядерно-физические основы радиохимии»,
  6. «Биологическое действие ионизирующего излучения и радиационная безопасность»,
  7. «Методы разделения, концентрирования и определения радионуклидов»,
  8. «Применение радиоактивных индикаторов»

## 7. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п..	Всего
Радиоактивные элементы (п.1,2,5,7 Паспорта специальности)	14	4	4		2		10	4		4
Ядерная химия (п.1,8, 9 Паспорта специальности)	16	4	4	2		2	12	4		4
Термодинамика водных растворов радиоактивных элементов (п. 2,3,4 Паспорта специальности)	18	4	4	2	2	2	14	4		4
Методы расчета химических равновесий с участием радиоактивных элементов(п.2,3,4 Паспорта специальности)	24	4	4	2		2	12	4	8	12
Меченые соединения(п.5,6,7 Паспорта специальности)	16	2	2		2		6	2	8	10
<b>Промежуточная аттестация (зачет)</b>	<b>20</b>	6						14		
<b>Итого</b>	<b>108</b>	18	18	6	6	12	<b>60</b>	30	16	<b>48</b>

\*Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций

\*\* Промежуточная аттестация может проходить как в традиционных форма (зачет, экзамен), так и в иных формах (балльно-рейтинговая система, портфолио и др.)

## 8. Образовательные технологии.

Проводятся традиционные лекции с использованием (там, где это нужно) мультимедийных презентаций.

9. Учебно-методические материалы для самостоятельной работы по дисциплине (модулю): Аспирантам предоставляется программа курса, план занятий и перечень заданий для самостоятельной работы. По теме каждой лекции указывается материал в источниках из списков основной и вспомогательной литературы, а также из интернет-ресурсов.

## 10. Ресурсное обеспечение:

Перечень основной и вспомогательной учебной литературы ко всему курсу

### 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. Р.А. Алиев, С.Н. Калмыков Радиоактивность. М.: Лань. 2013, 304 с.
5. 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.
5. Ан.Н.Несмеянов. Радиохимия. М.: Химия. 1985.

### Периодическая литература

Журналы «Радиохимия», "Radiochemical and radioanalytical letters", "Radiochemical and nuclear methods of analysis", "Radiochemical and nuclear chemistry", "Radiochimica Acta"

### Интернет-ресурсы

1. <http://profbeckman.narod.ru/>
2. <http://beckuniver.ucoz.ru/>
3. [radiochemistry-msu.ru](http://radiochemistry-msu.ru)
4. <https://thereda.com/en/>
5. <http://www.oecd-nea.org/dbtdb/>
11. Язык преподавания – русский

### 12. Преподаватели:

докт. хим. наук, профессор Афанасов Михаил Иванович, [miafanasov@yahoo.com](mailto:miafanasov@yahoo.com)

канд. хим. наук, доцент Бадун Геннадий Александрович [badunga@yandex.ru](mailto:badunga@yandex.ru)

канд. хим. наук, ст.науч.сотр. Гопин Александр Викторович [alexgopin@gmail.com](mailto:alexgopin@gmail.com)

канд. хим. наук, доцент Матвеев Петр Игоревич [petr.i.matveev@gmail.com](mailto:petr.i.matveev@gmail.com)

канд. хим. наук, доцент Петров Владимир Геннадиевич [Vladimir.g.petrov@gmail.com](mailto:Vladimir.g.petrov@gmail.com)

докт. хим. наук, доцент Чернышева Мария Григорьевна [chernysheva@radio.chem.msu.ru](mailto:chernysheva@radio.chem.msu.ru)

### Фонды оценочных средств, необходимые для оценки результатов обучения

Образцы оценочных средств, в том числе в виде:

- контрольных вопросов;

1. Расскажите, чем радиохимия отличается от других разделов химии.

2. Расскажите об основных методах радиохимии.
3. Расскажите о особенности химии горячих атомов и применении ядерной химии для синтеза меченых соединений.
4. Опишите основные химические свойства актинидов.
5. Расскажите об основных термодинамических моделях, описывающих поведение радиоактивных элементов в водных растворах.
  - 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.
  - тем для рефератов;
    1. Технеций: синтез и свойства
    2. Радиофармпрепараты
    3. Методы и современные программные пакеты расчета термодинамических равновесий в сложных системах с участием радиоактивных элементов
  - полного перечня вопросов к зачёту:
    1. Элементарные частицы и строение ядра. Статистика радиоактивного распада. Типы распада. Радиоактивные ряды. Дать примеры.
    2. Ядерные реакции, используемые для синтеза радионуклидов.
    3. Взаимодействие излучения с веществом. Химические последствия.
    4. Методы получения и разделения, методы анализа изотопного состава, изотопные эффекты.
    5. Механизмы изотопного обмена. Термодинамика и кинетика реакций гомогенного и гетерогенного изотопного обмена. Методы исследования процессов изотопного обмена.
    6. Распределение микроконцентраций радионуклидов между двумя фазами. Соосаждение, адсорбция, сокристаллизация, экстракция, ионнообменная хроматография, мембранные технологии, мембранная жидкостная экстракция, экстракция расплавами, электрохимическое разделение, газохимические методы разделения
    7. Состояние радионуклидов в ультрамалых концентрациях. Особенности ультраразбавленного состояния радионуклидов. Радиоколлоиды. Состояние радиоактивных изотопов в растворе, газовой фазе и твердом теле. Размерные спектры и зарядовые состояния коллоидных частиц
    8. Диффузия, миграция и массоперенос радиоактивных элементов и меченых радионуклидами веществ в газах, жидкостях и твёрдых телах. Математическое описание процессов диффузии радиоактивных веществ в гетерогенных активных средах.
    9. Ядерная химия и химия ядерных превращений. Радиационная химия в радиохимии. Эффект отдачи. Физические и химические эффекты ядерного распада и ядерных реакций. Химия горячих атомов в синтезе меченых соединений.
    10. Радиоактивные элементы: ядерно-физические, химические и токсические свойства. Природные и техногенные радионуклиды: технеций, актиниды и трансактинидные элементы.
    11. Термодинамические модели, описывающие поведение радиоактивных элементов в водных растворах. Области их применимости.
    12. Термодинамические модели, описывающие сорбционные процессы с участием радиоактивных элементов. Принципы, лежащие в их основе. Области применимости.
    13. Синтез и идентификация соединений, меченых соединений. Ядерно- физические и физико-химические методы анализа меченых соединений.

14. Особенности синтеза соединений, меченых ультракороткими радионуклидами. Способы установления положения радионуклида в меченной молекуле.
15. Меченые соединения в аналитической, физической химии, химии твёрдого тела, органической химии и в химическом материаловедении
16. Ядерно-физические и радиохимические методы диагностики конструкционных и функциональных материалов.
17. Активационный анализ.
18. Радиохимия в технике, биологии, молекулярной биологии, и биохимии.
19. Радиохронология
20. Биологическое действие радиации.
21. Экологическая безопасность и экологический риск. Радон в среде обитания. Радоновая терапия. Радиоактивное загрязнение биосферы: атмосфера, почва, грунтовые воды, морская вода. Состояние и миграция радионуклидов в различных типах природных сред. Накопление радионуклидов в животном и растительном мире. «Горячие частицы» в атмосфере.
22. Механизмы и динамика миграции радионуклидов в различных компонентах окружающей среды и по пищевым цепям.
23. Фундаментальная радиохимия в ядерном топливном цикле. Ядерные топливные циклы: открытый цикл, замкнутый цикл. Приготовление компонентов ядерного топлива
24. Радиохимическая переработка ядерного горючего. Ядерно-физические методы регенерации компонентов ядерного топлива. Проблема оружейного плутония.
25. Радиохимические аспекты ядерной трансмутации.
26. Очистка и утилизация ядерных отходов. Хранение отработавшего ядерного топлива. Захоронение радиоактивных отходов.
27. Информационные технологии в радиохимии. Методы обработки и интерпретации радиохимических экспериментов.

**Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения**

Зачет \*(или экзамен)\* проходит по билетам, каждый из которых включает три теоретических вопроса. Уровень знаний аспиранта \*оценивается\* по каждому вопросу на «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

В случае, если на все вопросы был дан ответ, оцененный не ниже, чем «удовлетворительно», аспирант получает общую оценку «зачтено» \*(или средний балл в случае экзамена)\* и допускается к итоговой аттестации.

<b>ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)</b>				
Оценка Результат	Незачёт (2)	Зачёт (3)	Зачёт (4)	Зачёт (5)
Знания	Отсутствие базовых знаний о современных концепциях и направлениях развития радиохимии	Общие, но неглубокие знания о современных концепциях и направлениях развития радиохимии	Общие, но не структурированные знания о современных концепциях и направлениях развития радиохимии	Сформированные систематические знания о современных концепциях и направлениях развития радиохимии

Умения	Отсутствие умения применять знания о современном состоянии радиохимии для решения научных задач	В целом успешное, но не систематическое умение применять знания о современном состоянии радиохимии для решения научных задач	В целом успешное, но не содержащее отдельные пробелы умение применять знания о современном состоянии радиохимии для решения научных задач (допускает неточности принципиального характера)	Успешное и систематическое умение применять знания о современном состоянии радиохимии для решения научных задач
Навыки (владения)	Отсутствие навыков решения задач современной радиохимии	Наличие навыков решения задач современной радиохимии	В целом, сформированные навыки решения задач современной радиохимии, но не в активной форме	Сформированные навыки решения задач современной радиохимии, применяемые при решении практических задач