



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ФИЗИЧЕСКОЙ ХИМИИ И ЭЛЕКТРОХИМИИ
ИМ. А.Н. ФРУМКИНА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИФХЭ РАН)**

**Рабочая программа дисциплины
«Радиационные и термические процессы при экстракционной
переработке ОЯТ»**

по направлению подготовки 04.06.01 Химические науки (уровень подготовки кадров
высшей квалификации)

Специальности: 02.00.14- «Радиохимия»
02.00.09- «Химия высоких энергий»

Москва – 2014 г.

1. Цели и задачи дисциплины:

Цель преподавания дисциплины – формирование у аспирантов системы практико-теоретических знаний для научно-исследовательской деятельности в области, связанной с радиохимической переработкой отработанного ядерного топлива (ОЯТ).

Задачи изучения дисциплины:

- создание углубленного представления о радиохимии и химии высоких энергий, их практическом применении и месте среди других физических и химических наук;
- освоение теоретических основ радио- и радиационной химии, а также методов оценки радиационной стойкости различных материалов, способов дозиметрии;
- ознакомление аспирантов с принципами организации и работы в радиохимической лаборатории;
- ознакомление аспирантов с мероприятиями по охране труда и технике безопасности в радиохимической лаборатории, с осуществлением контроля за соблюдением и обеспечением экологической безопасности при работе с реактивами, радиоактивными изотопами;
- формирование у аспирантов представлений о химических и физико-химических аспектах как важнейших компонентов знаний, необходимых для осуществления работы и при организации работ с соединениями урана;
- изучение аспирантами свойств соединений урана; свойств уран-содержащих растворов, различных видов равновесий химических реакций и процессов протекающих с участием соединений урана; механизмов превращения соединений урана и диапазонов их термической и радиационной устойчивости;
- изучение аспирантами закономерностей протекания физико-химических процессов с участием соединений урана как на радиохимических производствах, в том числе на различных границах разделов фаз; особенностей физ. химии соединений урана технеция в дисперсных системах;
- формирование у аспирантов навыков изучения научной химической литературы;
- формирование у аспирантов умений для решения проблемных и ситуационных задач;
- формирование у аспирантов практических умений постановки и выполнения экспериментальной работы.

2. Место дисциплины в структуре ООП:

Настоящая дисциплина «Радиационные и термические процессы при экстракционной переработке ОЯТ» является модулем основной профессиональной образовательной программы высшего образования –

программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению подготовки 04.06.01 – Химические науки по специальностям 02.00.14- Радиохимия; 02.00.09 – Химия высоких энергий.

Программа посвящена формированию знаний и умений в области радио- и радиационной химии и включает в себя основы представлений о превращениях вещества при радиационном воздействии, а также о поведении радионуклидов в процессе переработки ОЯТ.

Основные знания, необходимые для изучения дисциплины формируются:

- на базе знаний, полученных при изучении курса химии высших учебных заведений;
- на базе знаний, полученных при изучении курса физики в высших учебных заведений;
- на базе знаний, полученных при изучении курса математики в высших учебных заведений;

Обучение аспирантов осуществляется на основе преемственности знаний и умений, полученных в курсе химии высших учебных заведений.

Изучение аспирантами курса «Радиационные и термические процессы при экстракционной переработке ОЯТ» является осуществляемой по выбору аспиранта заключительной стадией для освоения дисциплин «Радиохимия» и «Химия высоких энергий».

3. Требования к результатам освоения дисциплины:

Выпускник, освоивший программу, должен обладать следующими компетенциями:

Универсальные компетенции:

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
- способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки (УК-2);
- готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач (УК-3);
- готовность использовать современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках (УК-4);

- способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития (УК-5).

Общепрофессиональные компетенции:

- способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в области радиохимии с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1);
- готовность организовать работу исследовательского коллектива в области химии и смежных наук (ОПК-2);
- готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования в области радиохимии (ОПК-3).

Профессиональные компетенции:

- способность и готовностью применять основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки научной и профессиональной информации в области радиационной химии экстракционных систем; получать информацию из различных источников, в том числе с использованием современных компьютерных средств, сетевых технологий, баз данных и знаний (ПК-1);
- способность использовать в работе основные радиохимические методы и подходы, используемые в фундаментальных исследованиях в области химии высоких энергий и радиохимии (ПК-2);
- способность применять комплекс исследований, в том числе междисциплинарных, при изучении радиационной и термической стойкости экстракционных систем при переработке отработанного ядерного топлива (ПК-3);
- глубокое понимание общих закономерностей поведения компонентов экстракционных систем в условиях облучения (ПК-4);
- способность к самостоятельному освоению новых методов радиохимии, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности; способность самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения; способность к проведению самостоятельной научно-исследовательской работы (ПК-5).

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц - 180 часов.
Обучение происходит на 1-м, 2-м и 3-м году аспирантуры.

4.1 Структура дисциплины

№ п/ п	Наименование дисциплины	Объем учебной работы (в часах)						Вид итогового контроля	
		Всего	Всего аудит.	Из аудиторных					Сам. работа
				Лекц.	Лаб.	Прак.	КСР.		
1	«Радиационные и термические процессы при экстракционной переработке ОЯТ»	180	108	36		72		72	экзамен

4.2. Содержание дисциплины:

4.2.1 Разделы дисциплины и виды занятий

№	Наименование раздела учебной дисциплины	Содержание раздела в дидактических единицах (темы разделов)	Вид занятий
1.	Основные понятия химии высоких энергий	Предмет изучения радиационной химии, история ее развития. Виды ионизирующего излучения. Единицы измерения: плотность потока частиц или квантов, интенсивность излучения, поглощенная доза, мощность поглощенной дозы, радиационно-химический выход. Линейная передача энергии. Локальные области возбуждения и ионизации.	лекции – 2 часа практические занятия – 4 часа
2.	Основные методы технологии ядерного горючего	Общие характеристики методов разделения и извлечения радионуклидов. Ионообменная хроматография, сорбция, ультрафильтрация, обратный осмос. Физические методы разделения изотопов.	лекции – 4 часов
3.	Электронное строение актинидов	<i>d</i> - и <i>f</i> -электронные оболочки, энергетические уровни, состояния окисления	лекции – 2 часа практические занятия – 2 часа
4.	Условия воздействия излучения на компоненты экстракционной системы	Общая схема экстракционной переработки облученного топлива. Радиационные характеристики	лекции – 2 часа практические занятия – 6 часов

		ОЯТ.	
5.	Методы исследования поведения компонентов экстракционных систем в условиях облучения	Установки и условия моделирования внутреннего излучения продуктов деления урана внешними источниками излучения. Методы анализа компонентов экстракционных систем и продуктов их радиолiza. Основные параметры оценки состояния оборотного экстрагента и методы их контроля.	лекции – 2 часа практические занятия – 6 часов
6.	Измерение экстракционных характеристик под действием излучения	Влияние излучения на экстракцию плутония и продуктов деления урана растворами солей индивидуальных аминов и их солей. Влияние излучения на экстракционные свойства некоторых фосфорорганических соединений.	лекции – 2 часа практические занятия – 2 часа
7.	Радиационно-химическое поведение экстрагентов.	Амины. Нейтральные фосфорорганические экстрагенты. Строение экстрагентов и их радиационная стойкость.	лекции – 2 часа практические занятия – 4 часов
8.	Основные закономерности радиолiza углеводородных разбавителей.	Начальные стабильные продукты радиолiza алифатических углеводородов. Радиолiz ароматических углеводородов в однофазных и двухфазных системах. Образование продуктов окисления и нитрования разбавителей в двухфазных системах, содержащих экстрагенты. Вторичные стабильные продукты радиолiza разбавителей в двухфазных системах, содержащих азотную кислоту.	лекции – 2 часа практические занятия – 2 часа
9.	Общие принципы защиты органических систем от воздействия ионизирующего излучения.	Механизм действия защитных добавок. Химическая защита экстракционных систем в условиях переработки ОЯТ.	лекции – 2 часа практические занятия – 2 часа
10.	Основы уранового ядерного топливного цикла, переработка облученного ядерного топлива	Вскрытие урановых руд, извлечение, обогащение, получение фторидов, оксидов урана, металлического урана. ТВЭЛы. Основные схемы переработки облученного ядерного топлива. Перспективы.	лекции – 2 часа практические занятия – 4 часов
11.	Поведение экстрагентов, разбавителей и сорбентов в поле ионизирующего	Радиолитические и радиационно-термические превращения в трибутилфосфате и других	лекции – 2 часа практические занятия – 6 часов

	излучения	экстрагентах на его основе. Методы оценки и изменения радиационной стойкости органических экстрагентов и разбавителей. Влияние воздействия различных видов излучения на сорбционные свойства органических и неорганических сорбентов. Основные особенности радиолiza веществ в сорбированном состоянии.	
12.	Основы радиационной химии жидких систем	Виды и источники ионизирующего излучения. Первичные процессы воздействия ионизирующего излучения на вещество. Ионные и радикальные продукты радиолiza. Основные закономерности радиолiza воды и водных растворов. Радиационно-индуцируемые превращения органических веществ.	лекции – 2 часа практические занятия – 4 часов
13.	Основные аспекты проблемы пожаровзрывобезопасности	Воспламеняемость горючих газовых смесей. Воспламеняемость паровоздушных смесей	лекции – 2 часа практические занятия – 8 часов
14.	Термическая стабильность экстракционных смесей	Термическая стабильность экстракционных смесей при атмосферном давлении. Равновесная органическая фаза. Двухфазные системы. Термическая стабильность экстракционных смесей при давлении выше атмосферного.	лекции – 4 часов практические занятия – 10 часов
15.	Термическая стабильность сорбционных смесей	Термическая стабильность сорбционных смесей при атмосферном давлении. Сорбенты в нитратной форме. Смеси сорбентов с азотной кислотой. Термическая стабильность сорбционных смесей при давлении выше атмосферного.	лекции – 2 часа практические занятия – 6 часов
16.	Термическая стабильность азотнокислых растворов, содержащих восстановители	Растворы с гидразином и его производными. Азотнокислые растворы с органическими кислотами. Растворы с аминами. Растворы с амидами.	лекции – 2 часа практические занятия – 6 часов

5. Образовательные технологии

Основные виды образовательных технологий: компьютерные технологии (обработка экспериментальных данных с использованием программ Exell, Origin.9), подготовка публикаций в формате Word и презентации в формате PowerPoint, средства мультимедиа, активные

образовательные технологии (лекции, семинары, лабораторные работы на современном оборудовании с использованием приборов газовой хроматографии, ИК-спектрометра.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

Виды самостоятельной работы: с компьютером в лабораториях и в домашних условиях с доступом к ресурсам Интернет, с учебной и научной литературой по специальности (библиотека Института, базы данных и другие материалы в лабораториях, Интернет), с лабораторным оборудованием под контролем сотрудников Института

Систематические обсуждения с научными руководителями по результатам освоения теоретических разделов, результатов проведенной экспериментальной работы с целью контроля успехов освоения научной дисциплины, подготовки к сдаче зачета по специальности. Экспертная оценка руководителя, экзаменаторов.

Систематические обсуждения с научными руководителями по результатам.

Форма контроля знаний – экзамен в конце курса, включающий теоретические вопросы.

Вопросы к экзамену.

1. Основные понятия химии высоких энергий. Предмет изучения радиационной химии, история ее развития. Виды ионизирующего излучения. Единицы измерения: плотность потока частиц или квантов, интенсивность излучения, поглощенная доза, мощность поглощенной дозы, радиационно-химический выход. Линейная передача энергии. Локальные области возбуждения и ионизации.

2. Основные методы технологии ядерного горючего. Общие характеристики методов разделения и извлечения радионуклидов. Ионообменная хроматография, сорбция, ультрафильтрация, обратный осмос. Физические методы разделения изотопов.

3. Электронное строение актинидов d- и f-электронные оболочки, энергетические уровни, состояния окисления

4. Условия воздействия излучения на компоненты экстракционной системы. Общая схема экстракционной переработки облученного топлива. Радиационные характеристики ОЯТ.

5. Методы исследования поведения компонентов экстракционных систем в условиях облучения. Установки и условия моделирования внутреннего излучения продуктов деления урана внешними источниками излучения. Методы анализа компонентов экстракционных систем и

продуктов их радиолиза. Основные параметры оценки состояния оборотного экстрагента и методы их контроля.

6. Измерение экстракционных характеристик под действием излучения. Влияние излучения на экстракцию плутония и продуктов деления урана растворами солей индивидуальных аминов и их солей. Влияние излучения на экстракционные свойства некоторых фосфорорганических соединений.

7. Радиационно-химическое поведение экстрагентов. Амины. Нейтральные фосфорорганические экстрагенты. Строение экстрагентов и их радиационная стойкость.

8. Основные закономерности радиолиза углеводородных разбавителей. Начальные стабильные продукты радиолиза алифатических углеводородов. Радиолиз ароматических углеводородов в однофазных и двухфазных системах. Образование продуктов окисления и нитрования разбавителей в двухфазных системах, содержащих экстрагенты. Вторичные стабильные продукты радиолиза разбавителей в двухфазных системах, содержащих азотную кислоту.

9. Общие принципы защиты органических систем от воздействия ионизирующего излучения. Механизм действия защитных добавок. Химическая защита экстракционных систем в условиях переработки ОЯТ.

10. Основы уранового ядерного топливного цикла, переработка облученного ядерного топлива. Вскрытие урановых руд, извлечение, обогащение, получение фторидов, оксидов урана, металлического урана. ТВЭЛы. Основные схемы переработки облученного ядерного топлива. Перспективы.

11. Поведение экстрагентов, разбавителей и сорбентов в поле ионизирующего излучения. Радиолитические и радиационно-термические превращения в трибутилфосфате и других экстрагентах на его основе. Методы оценки и изменения радиационной стойкости органических экстрагентов и разбавителей. Влияние воздействия различных видов излучения на сорбционные свойства органических и неорганических сорбентов. Основные особенности радиолиза веществ в сорбированном состоянии.

12. Основы радиационной химии жидких систем. Виды и источники ионизирующего излучения. Первичные процессы воздействия ионизирующего излучения на вещество. Ионные и радикальные продукты радиолиза. Основные закономерности радиолиза воды и водных растворов. Радиационно-индуцируемые превращения органических веществ.

13. Основные аспекты проблемы пожаровзрывобезопасности. Воспламеняемость горючих газовых смесей. Воспламеняемость паровоздушных смесей.

14. Термическая стабильность экстракционных смесей. Термическая стабильность экстракционных смесей при атмосферном давлении.

Равновесная органическая фаза. Двухфазные системы. Термическая стабильность экстракционных смесей при давлении выше атмосферного.

15. Термическая стабильность сорбционных смесей Термическая стабильность сорбционных смесей при атмосферном давлении. Сорбенты в нитратной форме. Смесии сорбентов с азотной кислотой. Термическая стабильность сорбционных смесей при давлении выше атмосферного.

16. Термическая стабильность азотнокислых растворов, содержащих восстановители Растворы с гидразином и его производными. Азотнокислые растворы с органическими кислотами. Растворы с аминами. Растворы с амидами.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины:

Основная литература:

1. Макаров И.Е., Шапкарин И.П. Изучение быстрых процессов *in situ*. Учебное пособие. Saarbrücken, Deutschland: Palamarium Academic Publishing, 2013. 200 с.
2. Экспериментальные методы химии высоких энергий. Учебное пособие. / Под ред. М.Я.Мельникова. М.: Изд-во МГУ, 2009. 824 с.
3. Абрамов А.А., Бадун Г.А. Методическое руководство к курсу «Основы радиохимии и радиоэкологии». Баку: Филиал Химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, 2011. 138 с.
4. Назин Е.Р., Зачиняев Г.М. Пожаровзрывобезопасность технологических процессов радиохимических производств.-М.: НТЦ ЯРБ, 2009, 195 с.
5. Хала Иржи, Навратил Джеймс Д. Радиоактивность, ионизирующее излучение и ядерная энергетика. Пер. с англ. Под ред. Б.Ф. Мясоедова, С.Н. Калмыкова. М.: Издательство ЛКИ, 2013. 432с.

Дополнительная литература:

1. Егоров Г.Ф. и др. Кинетика термохимического взаимодействия растворов ТБФ в ГХБД с азотной кислотой. Влияние ионизирующего излучения // Вопросы радиационной безопасности, 2008, №3, с.3-21.
2. Владимирова М.В., Куликов И.А. Гидролиз и радиолиз трибутилфосфата: Обзор. М.: ЦНИИАтоминформ, 1984. 69 с.
3. Кабакчи С.А., Пикаев А.К. Методы расчета газовыделения и оценки взрывоопасности радиационно-химических аппаратов с водяным теплоносителем или биологической защитой. М.: Энергоатомиздат, 1981. 51 с.
4. Пикаев А. К. Современная радиационная химия: Основные положения. Экспериментальная техника и методы. М.: Наука, 1985. 375 с.

5. Козлов Ю. Д., Путилов А. В. Технология использования ускорителей заряженных частиц в промышленности, медицине и сельском хозяйстве. М.: Энергоатомиздат, 1997. 378 с.
6. Бугаенко Л. Т., Кузьмин М. Г., Полак Л. С. Химия высоких энергий. М.: Химия, 1988. 368 с.
7. Пикаев А. К. Современная радиационная химия: Радиоллиз газов и жидкостей. М.: Наука, 1986. 360 с.
8. Несмеянов Ан. Н. Радиохимия. 2-е изд. М.: Химия, 1978.
9. Нефедов В.Д., Текстер Е.Н., Торопова М.А. Радиохимия. М.: Высш. шк., 1987.
10. Вдовенко В.М. Современная радиохимия. М.: Атомиздат, 1969.
11. Старик И.Е. Основы радиохимии. Л.: Наука, 1969.
12. Келлер К. Радиохимия. М.: Атомиздат, 1969.
13. Ган О. Прикладная радиохимия. М.: Атомиздат, 1969.
14. Технология трансплутониевых элементов / В.М. Николаев, Е.А. Карелин, Р.А. Кузнецов, Ю.Г. Топоров. Димитровград: ГНЦ РФ НИИАР, 2000.
15. Химия актиноидов. В 3-х томах. Ред. Дж. Кац, Г. Сиборг, Л. Морсс. М.: Мир. 1999.
16. Келлер К. «Химия трансурановых элементов». М Атомиздат. 1976. 440 с.
17. Практикум «Основы радиохимии и радиоэкологии». М.: Изд. МГУ, 2008, 90 с.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

1. Единое окно доступа к образовательным ресурсам Федерального портала Российское образование <http://www.window.edu.ru>
2. Документы и материалы деятельности федерального агентства по образованию: www.ed.gov.ru
3. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов: <http://schoolcollection.edu.ru>
4. Словари и другая справочная информация: <http://www.iiorao.ru>
<http://www.gpntb.ru/win/book/> – новый систематизированный Толковый словарь государственной публичной научно-технической библиотеки России.
5. Национальный WWW-сервер по химии www.chem.msu.ru

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Материально-техническое обеспечение лабораторий ИФХЭ РАН:

Лаборатория радиоэкологических и радиационных проблем, электронно-лучевой конверсии энергоносителей, лаборатория радиационных технологий, лаборатория радиационно-химических превращений материалов располагают материально-технической базой, обеспечивающей проведение всех видов

теоретической и практической подготовки, предусмотренных учебным планом, а также эффективное выполнение диссертационной работы. Аудитория для проведения лекций, оснащенная компьютером и проектором для показа слайдов компьютерных презентаций. Компьютеры, объединенные в локальную сеть с выходом в Интернет и подключенные к международным и российским научным базам данных и электронной библиотеке с основными международными научными журналами.

Инструментальная база лабораторий включает:

ЯМР-спектрометр фирмы «Брукер»: AVANCE II DRX-600, масс-спектрометр MALDI-TOF Bruker ultraflex III, масс-спектрометр ICP-MS - Bruker Daltonics аурога M90, спектрофотометр УФ и видимой области Specord M400, ИК-спектрометр Perkin-Elmer-2000, спектрофотометр Agilent 8453, сканирующий зондовый микроскоп Solver P47 PRO, атомно-силовой микроскоп – спектрометр Force Master 402 MD, рентгено-флюороресцентный микроанализатор VRA-30, рентгеновский дифрактометр Shimadzu XRD-6000 и многие другие приборы. Лаборатории оснащены современными приборами для синтеза и исследования элементоорганических соединений: стеклопосуда в широком ассортименте, реакторы низкого и высокого давления, автоклавы.

9. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины

Обучение складывается из аудиторных занятий (108 час.), включающих лекционный курс и лабораторные занятия, и самостоятельной работы (72 часа). Работа с учебной литературой рассматривается как вид учебной работы по дисциплине и выполняется в пределах часов, отводимых на её изучение (в разделе СРС).

Каждый обучающийся обеспечен доступом к библиотечным фондам ИФХЭ РАН.

Работа аспиранта в лаборатории радиоэкологических и радиационных проблем формирует чувство коллективизма и коммуникабельность.

Самостоятельная работа способствует формированию активной жизненной позиции поведения, аккуратности, дисциплинированности.

Исходный уровень знаний аспирантов определяется тестированием, текущий контроль усвоения предмета определяется устным опросом в ходе работ.

В конце изучения учебной дисциплины проводится контроль знаний с использованием тестового контроля, проверкой практических умений, и экзамен в рамках общего экзамена по курсу «РАДИОХИМИЯ» или «ХИМИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ» по выбору руководителя.

Авторы:

Заведующий лабораторией радиоэкологических
и радиационных проблем д.х.н.

С.В. Стефановский

в.н.с. лаборатории радиоэкологических
и радиационных проблем к.х.н.

Е.В. Белова

Программа составлена в соответствии с требованиями приказа Минобрнауки России от 30.07.2014 № 869 "Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 04.06.01 Химические науки (уровень подготовки кадров высшей квалификации)" в лаборатории радиоэкологических и радиационных проблем.

Программа принята на заседании секции «Химия и технология радиоактивных элементов, радиоэкологии и радиационной химии» при Ученом совете ИФХЭ РАН, протокол № 230-З от 17.09.2014 г.

Председатель секции:
Заместитель директора института
по научной работе член корреспондент РАН

Б.Г. Ершов