

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

УТВЕРЖДАЮ

И.о. декана химического факультета,  
Чл.-корр.. РАН, профессор



/С.Н. Калмыков/

«20» мая 2019 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**Ядерный топливный цикл**

**Уровень высшего образования:**  
Специалитет

---

**Направление подготовки (специальность):**

04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия

**Направленность (профиль) ОПОП:**

Радиохимия

**Форма обучения:**

очная

---

Рабочая программа рассмотрена и одобрена  
Учебно-методической комиссией факультета  
(протокол №3 от 13.05.2019)

Москва 2019

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки / специальности 04.05.01 «Фундаментальная и прикладная химия» (программа специалитета), утвержденного приказом МГУ от 29 декабря 2018 года № 1770 (с изменениями по приказу № 1109 от 11.09.2019).

Год (годы) приема на обучение 2019/2020

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП: вариативная часть ООП, блок ПД.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников). Соответствие результатов обучения по данному элементу ОПОП результатам освоения ОПОП (в форме компетенция – индикатор - ЗУВ) указано в Общей характеристике ОПОП.

Компетенция	Индикатор достижения	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
<b>ОПК-1.С.</b> Способен решать современные проблемы фундаментальной и прикладной химии, используя методологию научного подхода и систему фундаментальных химических понятий и законов	<b>ОПК-1.С.1.</b> Воспринимает информацию химического содержания, систематизирует и анализирует ее, оценивает актуальность и степень новизны данных	<b>Знать:</b> актуальные направления исследований в области химии ядерного топливного цикла
<b>СПК-1.С.</b> Способен использовать знания об устойчивости атомных ядер и явлении радиоактивности, о ядерных превращениях и реакциях, о воздействии ионизирующего излучения на вещество для квалифицированной постановки и решения радиохимических задач	<b>СПК-1.С.1</b> Интерпретирует результаты экспериментов с участием радиоактивных веществ с использованием современных представлений об устойчивости атомных ядер и явлении радиоактивности, о ядерных превращениях и реакциях, о воздействии ионизирующего излучения на вещество	<b>Знать:</b> основные аспекты каждого этапа ядерного топливного цикла <b>Уметь:</b> определять достоинства и недостатки различных методов, используемых при решении химических задач ядерного топливного цикла <b>Уметь:</b> анализировать различные методы, используемые при решении химических задач ядерного топливного цикла
<b>С-СПК-5.С.</b> Способен использовать теоретические знания радиохимии и практические навыки работы с радионуклидами для решения конкретных теоретических и прикладных задач современной науки	<b>С-СПК-5.С(итог)</b> использует теоретические знания в области радиохимии и практические навыки работы с радионуклидами для решения задач современной химической науки	<b>Знать:</b> современные методы исследования химических процессов с участием радионуклидов <b>Уметь:</b> определять актуальные теоретические и экспериментальные проблемы в области химических аспектов ядерного топливного цикла, определять возможные подходы к их решению на основе фундаментальных знаний

3. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся:

Объем дисциплины (модуля) составляет 3 зачетных единицы, всего 108 часов, из которых 78 часов составляет контактная работа студента с преподавателем (36 часов занятия лекционного типа, 36 часов – занятия семинарского типа, 4 часа – групповые консультации, 2 часа – промежуточный контроль успеваемости), 30 часов составляет самостоятельная работа студента.

4. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия.

Обучающийся должен

**знать:** основы общей, неорганической, аналитической и физической химии;

**уметь:** работать с научной литературой и лекционным материалом;

**владеть:** методами математической обработки экспериментальных величин, в том числе с использованием математической статистики.

5. 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, промежуточной аттестации	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п..	Всего
Тема 1. Различные ядерные топливные циклы	8	4	4				8			

Тема 2. Добыча и переработка урановой руды	14	4	4				8		6	6
Тема 3. Типы ядерного топлива и методы их фабрикации	12	4	4				8	4		4
Тема 4. Типы атомных реакторов. Принципы работы	12	4	4				8		4	4
Тема 5. Гидрометаллургические методы переработки ОЯТ и фракционирования ВАО	16	6	6				12		4	4
Тема 6. Пирохимические методы переработки ОЯТ и фракционирования ВАО	16	6	6				12		4	4
Тема 7. Обращение с РАО	12	4	4				8		4	4
Тема 8. Захоронение РАО в геологические формации	12	4	4				8	4		4
Промежуточная аттестация <u>зачет</u>	6			4		2	6			
<b>Итого</b>	<b>108</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>4</b>		<b>2</b>	<b>78</b>			<b>30</b>

#### 6. Образовательные технологии:

- применение компьютерных симуляторов, обработка данных на компьютерах, использование компьютерных программ, управляющих приборами;
- использование средств дистанционного сопровождения учебного процесса;
- преподавание дисциплин в форме авторских курсов по программам, составленным на основе результатов исследований научных школ МГУ.

### 7. Учебно-методические материалы для самостоятельной работы по дисциплине (модулю):

Студентам предоставляется программа курса, план занятий и задания для самостоятельной работы, презентации к лекционным занятиям.

### 8. Ресурсное обеспечение:

- Перечень основной и вспомогательной учебной литературы ко всему курсу

#### **Основная литература**

1. 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. Ojovan M., Lee W. An Introduction to Nuclear Waste Immobilisation, 2013, 376 p.

#### **Интернет-ресурсы**

1. <http://nucleardata.nuclear.lu.se/database/nudat/>
2. <http://cdfе.sinp.msu.ru/exfor/index.php>
3. <http://www.nndc.bnl.gov/nudat2/setToolTips.jsp?toolTips=on>
4. Страница кафедры радиохимии на сайте химического факультета МГУ12. Язык преподавания – английский

- Материально-техническое обеспечение: специальных требований нет, занятия проводятся в обычной аудитории, оснащенной доской и мелом (маркерами)

### 9. Язык преподавания – русский

10. Преподаватели: к.х.н. доц. Петров Владимир Геннадиевич, к.х.н. м.н.с. Матвеев Петр Игоревич

## Фонды оценочных средств, необходимые для оценки результатов обучения

Образцы оценочных средств для текущего контроля усвоения материала и промежуточной аттестации - зачёта. На зачёте проверяется достижение промежуточных индикаторов компетенций, перечисленных в п.2.

### Вопросы к зачету

#### Теоретические вопросы

1. Различные ядерные топливные циклы. Экономические показатели и статистика разных стран. Уран-плутониевый цикл. Ториевый цикл.
2. Уран в природе, его минералы и месторождения. Способы добычи урановых руд, обогатительные и аффинажные процессы. Конечные продукты урановых горно-обогатительных комбинатов.
3. Технология конверсии в UF<sub>6</sub>.
4. Виды урана по степени его изотопного обогащения. Математические основы обогатительных процессов. Газодиффузионный способ обогащения, его преимущества и недостатки. Газоцентрифужный способ обогащения, его преимущества и недостатки. Лазерно-оптические и электромагнитные процессы обогащения.
5. Виды топливных композиций для фабрикации ядерного топлива. Диоксид урана как основная форма топлива реакторов на тепловых нейтронах. Технологические стадии фабрикации топлива от обогащенного UF<sub>6</sub> до керамического UO<sub>2</sub>. Смешанное МОКС и СНУП топливо, особенности производства, преимущества и недостатки. ТВЭЛ и ТВС, их материалы и конструкционные особенности.
6. Физические основы процессов получения энергии при работе реакторной установки. Запаздывающие и мгновенные нейтроны. Сечение реакции деления ядра в зависимости от энергии налетающих нейтронов. Накопление продуктов деления ядра и продуктов захвата нейтронов ядром. Величина степени выгорания, ее разновидности. Наиболее важные продукты деления, физико-химические формы их нахождения в ОЯТ. Наиболее важные продукты захвата нейтронов. Деградация топлива при облучении, радиационные повреждения материала топлива и конструкционных материалов. Накопление продуктов деления - нейтронных ядов, понятие йодной ямы.
7. Схема преобразования энергии деления ядер в электрическую энергию на типовой АЭС. Классификация реакторов на установки на тепловых и быстрых нейтронах. Типы реакторов на тепловых нейтронах по виду замедлителя, теплоносителя и топлива. Основы конструкции реакторов ВВЭР и РБМК, их отличия. Реакторы на быстрых нейтронах, их особенности, основы конструкции реакторов типа БН и БРЕСТ.

8. Хранение и выдержка ОЯТ, виды хранилищ. Транспортировка ОЯТ, понятие о транспортно-упаковочном контейнере. Классификация способов вскрытия ТВЭЛ. Метод «рубка-выщелачивание», стадия рубки. Стадия растворения ОЯТ, условия процесса. Осветление растворов после растворения. Возможные модификации головной операции переработки ОЯТ.
9. Историческая ретроспектива процессов переработки ОЯТ Пурекс-процесс. Корректировка параметров раствора ОЯТ до экстракционных операций. Физико-химические основы Пурекс-процесса, ТБФ как основной экстрагент гидрометаллургической технологии. Совместная экстракция U и Pu, поведение продуктов деления. Восстановительная реэкстракция как основа разделения U и Pu. Виды используемых восстановителей. Деградация ТБФ и его регенерация. Поведение Np, Tc, Ru, Zr в Пурекс-процессе. Виды аффинажных операций на завершающей стадии процесса. Фабрикация конечных продуктов, их виды. Улучшенный (Advanced) Пурекс-процесс.
10. Переработка рафината Пурекс-процесса, обоснование с точки зрения радиотоксичности. Основные проблемы разделения. Процессы извлечения Cs-Sr, их основы. Извлечение Am-Cm, используемые для этого системы.
11. Классификация РАО, образующихся в ЯТЦ по их агрегатному состоянию и активности. Концепции обращения с ОЯТ, принятие в разных странах. Глубинное захоронение, основные принципы. Принцип многобарьерной защиты окружающей среды при глубинном захоронении. Типы вмещающих пород глубинных хранилищ. Материалы контейнеров для захоронения. Виды матриц для иммобилизации ВАО: стекло, цемент, керамические матрицы, их преимущества и недостатки. Способы оценки нестойкости матриц: степень выщелачивания и прочность.
12. Пирохимические технологии переработки ОЯТ. Необходимость их использования и область применения. Газофторидная технология, её физико-химические основы, преимущества и недостатки. Пироэлектрохимическая переработка в расплавах солей, классификация методов. Переработка оксидного топлива с графитовым катодом (DDP-процесс). Переработка металлического топлива с жидкометаллическим катодом. Поведение продуктов деления в этих процессах, очистка электролита.

### **Расчетные задачи или тесты**

1. Из каких этапов состоит ЯТЦ? Чем отличается открытый и закрытый ЯТЦ?
2. Опишите устройство реактора на тепловых нейтронах.
3. Какие радионуклиды на данный момент вовлечены в ЯТЦ?
4. Рассчитайте количество урана, используемое в течение года на реакторе мощностью 1000 МВт (эл.) с топливом на основе 5%  $^{235}\text{U}$ .
5. Рассчитайте  $k_1$  и радиус критической массы при растворении природного урана в  $\text{D}_2\text{O}$  (0.4 г/г).
6. Реактор содержит 11 кг  $^{235}\text{U}$  и работает на мощности 1 МВт (эл.). Рассчитайте поток антинейтрино на расстоянии 15 м от активной зоны
7. Назовите три самых распространённых минерала урана.
8. Какими способами добывают уран? Как производится геологоразведка?
9. Опишите стадии производства оксида урана из сульфатного раствора урана? Какие стадии принципиально важны?

### Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения

Шкала оценивания знаний, умений и навыков является единой для всех дисциплин (приведена в таблице ниже)

<b>ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)</b>				
Оценка \ Результат	2	3	4	5
Знания	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
Умения	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности непринципиального характера)	Успешное и систематическое умение
Навыки (владения)	Отсутствие навыков	Наличие отдельных навыков	В целом, сформированные навыки, но не в активной форме	Сформированные навыки, применяемые при решении задач

<b>РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)</b>	<b>ФОРМА ОЦЕНИВАНИЯ</b>
<p>Знать: актуальные направления исследований в области химии ядерного топливного цикла</p> <p>Знать: основные аспекты каждого этапа ядерного топливного цикла</p> <p>Знать: современные методы исследования химических процессов с участием радионуклидов</p>	<p>мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на зачете</p>
<p>Уметь: определять достоинства и недостатки различных методов, используемых при решении химических задач ядерного топливного цикла</p> <p>Уметь: анализировать различные методы, используемые при решении химических задач ядерного топливного цикла</p> <p>Уметь: определять актуальные теоретические и экспериментальные проблемы в области химических аспектов ядерного топливного цикла, определять возможные подходы к их решению на основе фундаментальных знаний</p>	<p>мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на зачете</p>

