

ОДОБРЕНО»

Ученым советом ИГЕМ РАН
Протокол № 4 от 23.03.2022
Председатель Ученого совета
чл.-корр. РАН В.А.Петров



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

1. **Код и наименование дисциплины (модуля):** Консервирующие матрицы для радиоактивных отходов.
2. **Уровень высшего образования:** подготовка научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре.
3. **Научная специальность:** 1.6.21 «Геоэкология».
4. **Место дисциплины (модуля) в структуре программы аспирантуры:** В – дисциплины (модули), вариативная часть.
5. **Объем дисциплины (модуля)** составляет 6 зачетных единиц, всего 216 академических часов, из которых 36 часов составляет контактная работа аспиранта с преподавателем (12 часа занятий лекционного типа) и 180 часов составляет самостоятельная работа аспиранта (выполнение домашних заданий и написание реферата).
6. **Входящие требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия:**

ЗНАТЬ: основные типы консервирующих матриц, их свойства и методы изготовления;

УМЕТЬ: использовать результаты современных исследований для анализа устойчивости консервирующих матриц;

ВЛАДЕТЬ: методами исследования структурных характеристик и свойств матриц.
7. **Образовательные технологии:** классические лекционные технологии / дистанционные технологии.

8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и вида учебных занятий:

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе								
		Контактная работа (во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Л	С	ГК	ИК	ТК	Всего	СР	П	Всего
МУЛЬТИБАРЬЕРНАЯ КОНЦЕПЦИЯ ИЗОЛЯЦИИ РАО И ЗНАЧЕНИЕ КОНСЕРВИРУЮЩИХ МАТРИЦ	30	2	4				6	24		24
МЕХАНИЗМЫ ДЕГРАДАЦИИ МАТРИЦ	30	2	4				6	24		24
МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНСЕРВИРУЮЩИХ МАТРИЦ	162	6	12				18	72	24	96
ТИПЫ МАТРИЦ И ИХ ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ. КРИТЕРИИ ВЫБОРА МАТРИЦ	42	2	4				6	24	12	36
Промежуточная аттестация, зачет										
Итого:	216	12	24				36	144	36	180

Л - занятия лекционного типа; С - занятия семинарского типа; ГК - групповые консультации; ИК - индивидуальные консультации; ТК - учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости (коллоквиумы, практические контрольные занятия и др); СР - самостоятельная работа аспиранта, включая выполнение домашних заданий; П - подготовка рефератов и т.п.

9. Учебно-методические материалы для самостоятельной работы аспирантов: файлы презентаций лекций, основная, дополнительная и учебная литература (см. п. 10).

10. Ресурсное обеспечение:

Основная литература:

1. Лаверов Н.П., Величкин В.И., Омеляненко Б.И. и др. Изоляция отработавших ядерных материалов: геолого-геохимические основы. М.: ИГЕМ РАН; ИФЗ РАН, 2008. 280 с.

Дополнительная литература:

1. Дмитриев С.А., Стефановский С.В. Обращение с радиоактивными отходами. М.: Изд. Центр РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2000. 125 с.
2. Граменицкий Е.Н., Котельников А.Р., Батанова А.М. и др. Экспериментальная и техническая петрография. М.: Научный мир, 2000. 415 с.
3. Грицаенко Г.С., Звягин Б.Б., Боярская Р.В. и др. Методы электронной микроскопии минералов. М.: Наука, 1969. 311 с.
4. Scientific Basis for Nuclear Waste Management XX / Ed. by Gray W.J., Triay I.R. Pittsburgh: Materials Research Society. 1996. 1362 p.

Рекомендуемые периодические издания:

1. Геоэкология: Инженерная геология, гидрогеология, геокриология (Изд. МАИК «Наука»)
2. Геология рудных месторождений (Изд. МАИК «Наука»)
3. Вопросы радиационной безопасности (НПО «Маяк»).
4. Environmental Science and Technology (American Chemical Society)
5. Journal of Nuclear Materials (Elsevier B.V.).

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»: Базы данных и ресурсы, доступ к которым обеспечен из внутренней сети ИГЕМ РАН: elibrary.ru с доступом к электронному каталогу и базам данных из сети Интернет, с индивидуальными параметрами входа обучающегося; Электронная информационно-образовательная среда ИГЕМ РАН.

Описание материально технической базы: Необходимый аудиторный фонд предоставлен аудиторией ИГЕМ РАН, оснащенной необходимым компьютером, проектором и экраном для проведения лекционных занятий.

11. Язык преподавания: русский.

ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

оценки результатов обучения по дисциплине (модулю) «Консервирующие матрицы для радиоактивных отходов»

Итоговый контроль: дифференцированный зачёт (в форме оценки реферата).

Оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) «Консервирующие матрицы для радиоактивных отходов»

Реферат – продукт самостоятельной работы аспиранта, представляющий собой краткое изложение в письменном виде полученных результатов теоретического анализа определенной научной (учебно-исследовательской) темы, где автор раскрывает суть исследуемой проблемы, приводит различные точки зрения, а также собственные взгляды на нее.

Реферат состоит из 3-х частей:

1. введение (обоснование выбора темы, ее актуальность, основные цели и задачи исследования);
2. основная часть (суть исследуемой проблемы, оценка существующих в литературе основных теоретических подходов к ее решению, изложение собственного взгляда на проблему и пути ее решения и т.д.);
3. заключение (краткая формулировка основных видов и результатов, полученных в ходе исследования).

Объем работы 15-20 страниц (формат А4) печатного текста (шрифт 12, Times New Roman, через 1,5 интервала, поля: верхнее и нижнее – 2 см, левое – 2,5 см, правое – 1,5 см.). Текст может быть иллюстрирован таблицами, графиками, диаграммами, причем наиболее ценными из них являются те, что самостоятельно составлены автором. Громоздкие иллюстративные материалы должны даваться в составе приложения (Объем приложений не ограничивается, но в общий объем работы не засчитывается).

Необходимой частью реферата является список литературы, использованной в ходе работы над выбранной темой. Список составляется в соответствии с правилами библиографического описания.

Реферат представляется на рецензирование в печатном и электронном виде. Реферат рецензируется преподавателем дисциплины (модуля).

Оценка реферата – дифференцированная в зависимости от степени соответствия реферата установленным критериям (см. ниже).

Критерии оценки реферата:

Характеристика балльной системы:

п.п.	Критерии	Показатель
1	Актуальность темы	
2	Имеется ли научная проблема в формулировке и постановке темы исследования	
3	Дан ли обзор научной литературы по теме (наличие ссылок на работы российских и зарубежных ученых)	
4	Наличие теоретической базы исследования	
5	Показана ли взаимосвязь теоретических аспектов темы с российской (международной) практикой	
6	Имеется ли статистическая информация по теме, самостоятельно обобщенная автором (таблицы, графики, расчеты и др.)	
7	Насколько развернуто и полно представлена библиография по теме	
8	Присутствуют ли собственные оценки, позиция автора по аспектам исследования	

Показатели: 0 баллов – полное отсутствие критерия; 1 балл – частичное выполнение критерия; 2 балла – полное выполнение критерия.

Реферат считается принятым при количестве баллов более 7. Оценка «отлично» присуждается при количестве баллов от 14 до 16; оценка «хорошо» – при количестве баллов от 11 до 13; оценка «удовлетворительно» – при количестве баллов от 8 до 10, включительно.

Если по теме дисциплины (модуля) у аспиранта имеется опубликованная/принятая в печать научная публикация в периодических журналах списка ВАК и (одновременно) базы данных Web of Science, то, при предъявлении оригинала публикации, аспирант освобождается от написания реферата и ему присуждается оценка «отлично».

Примеры тем рефератов:

1. Способы обращения с радиоактивными отходами.
2. Мультибарьерная концепция изоляции высокорadioактивных отходов. Значение консервирующих матриц.
3. Дegrаdация матриц за счет выщелачивания подземными водами. Вторичные минералы. Первичные коллоиды.
4. Факторы радиогенной дegrаdации матриц (нагрев, упругие соударения α - и β - частиц с атомами матрицы,
5. Трансмутация родительских радионуклидов.
6. Эксперименты по выщелачиванию матриц. Конгруэнтность выщелачивания.
7. Использование нерадиоактивных геохимических аналогов в опытах с матрицами.
8. Экспериментальное исследование радиогенной дegrаdации. Эквивалентная доза.
9. Матрицы на основе алюмофосфатных стекол и их свойства.
10. Матрицы на основе боросиликатных стекол, их свойства и опыт использования.
11. Матрицы на основе алюмосиликатных стекол и их свойства.
12. История создания матриц типа СИНРОК и их назначение.
13. Методы изготовления кристаллических матриц.
14. Современные кристаллические матрицы.
15. Стеклокристаллические матрицы.
16. Облученное ядерное топливо как матрица-консервант.
17. Критерии выбора матриц-консервантов.

ПРОГРАММА

дисциплины (модуля) «Консервирующие матрицы для радиоактивных отходов»

Раздел 1. Мультибарьерная концепция изоляции РАО и значение консервирующих матриц

Тема 1. Типы РАО и стратегии обращения с ними. Устойчивое развитие атомной энергетики и проблема РАО. Типы РАО и различные способы обращения с ними.

Тема 2. История обращения с РАО. Требования МАГАТЭ к изоляции высокорadioактивных отходов от биосферы. Концепция мультибарьерной изоляции. Инженерные барьеры и значение консервирующих матриц для безопасного захоронения РАО.

Раздел 2. Механизмы деградации матриц

Тема 1. Процесс химического выщелачивания. Взаимодействие с подземными водами. Кинетические реакции и равновесные концентрации. Образование вторичных минералов. Формирование первичных коллоидов.

Тема 2. Влияние радиоактивного распада на свойства матриц. Нагревание. Упругие соударения α - и β - частиц с атомами матрицы. Дефекты Френкеля. Ионизация, обусловленная γ -излучением, α - и β - частицами. Трансмутация родительских радионуклидов.

Раздел 3. Методы исследования консервирующих матриц

Тема 1. Эксперименты по выщелачиванию матриц. Зависимость скорости выщелачивания от температуры. Конгруэнтное выщелачивание. Образование вторичных минералов. Осаждение и со-осаждение.

Тема 2. Опыты по радиогенной деградации матриц. Использование нерадиоактивных геохимических аналогов – имитаторов. Эквивалентная доза облучения.

Тема 3. Методы исследования структуры и строения матриц. Методы электронной микроскопии. Методы Оже-спектроскопии и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии.

Раздел 4. Основные характеристики матриц. Типы матриц

Тема 1. Матрицы на основе стекол. Алюмофосфатные стекла. Метод изготовления. Устойчивость к взаимодействию с подземными водами. Способность к кристаллизации. Зависимость скорости выщелачивания от температуры. Радиогенная деградация. Боросиликатные стекла. Метод изготовления. Устойчивость к взаимодействию с подземными водами. Радиогенная деградация. Опыт применения. Алюмосиликатные стекла. Метод изготовления. Высокая вязкость и высокая температура плавления. Механизм формирования защитных пленок.

Тема 2. Кристаллические матрицы типа СИНРОК. История создания матрицы на основе керамики СИНРОК. Назначение матрицы. Методы изготовления кристаллических матриц. Горячее и холодное прессование. Индукционное плавление в холодном тигле. Устойчивость кристаллических матриц к взаимодействию с подземными водами и радиации. Перспективные типы кристаллических матриц. Матрицы на основе ферритов со структурой граната и титанатов со структурой пирохлора и муратаита. Методы изготовления и устойчивость к взаимодействию с водами и радиации. Стеклокристаллические матрицы.

Тема 3. Облученное ядерное топливо как матрица-консервант.

Тема 4. Матрицы для изоляции средне-активных отходов (цемент, битум).

Раздел 5. Критерии выбора матриц

Тема 1. Состав радионуклидов.

Тема 2. Требования к емкости.

Тема 3. Требования к устойчивости по отношению к радиогенной деградации и химическому взаимодействию с подземными водами.

Тема 4. Оптимальные технологии изготовления матриц.