

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

УТВЕРЖДАЮ  
и.о. декана Геологического факультета  
чл.-корр. РАН \_\_\_\_\_ /Н.Н.Ерёмин/  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Экспериментальная и техническая петрология**

Автор-составитель: Алферьева Я.О., Щекина Т.И.

**Уровень высшего образования:**  
*Бакалавриат*

**Направление подготовки:**  
**05.03.01 Геология**

**Направленность (профиль) ОПОП:**  
**Геохимия**

Форма обучения:  
*Очная*

Рабочая программа рассмотрена и одобрена  
Учебно-методическим Советом Геологического факультета  
(протокол № \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_)

Москва

---

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки «Геология», (программы бакалавриата, реализуемых последовательно по схеме интегрированной подготовки).

Год (годы) приема на обучение: 2022

© Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова  
*Программа не может быть использована другими подразделениями университета и другими вузами без разрешения факультета.*

## Цель и задачи дисциплины

**Целью** курса "Экспериментальная и техническая петрология" является овладение студентами экспериментальными методами исследования как источником количественной информации в петрологии; познание возможностей приложения петрологических методов в производстве промышленно важных материалов, утилизации отходов и охране окружающей среды.

### Задачи:

1. Освоение студентами главнейших результатов мирового опыта экспериментального моделирования процессов эндогенного минералообразования в магматических, метаморфических и метасоматических системах, изучения важных для них фазовых равновесий, кинетики и динамики процессов.
2. Знакомство с наиболее яркими примерами познания сути технологических процессов, их совершенствования или корректировки и улучшения свойств выпускаемой продукции, выполненных с использованием петрологических методов.
3. Знакомство с результатами создания матричных материалов для захоронения и утилизации радиоактивных и других вредных отходов и охраны окружающей среды.
4. Знакомство с главными типами аппаратов высокой температуры и давления и методикой работы на них.
5. Приобретение навыков планирования, подготовки, проведения и обработки результатов петрологических экспериментов.

### Краткое содержание дисциплины (аннотация):

В курсе «Экспериментальная и техническая петрология» демонстрируется роль эксперимента в решении крупных петрологических проблем, создании количественных моделей магматизма, метаморфизма и метасоматоза; изучении строения вещества в этих процессах; возможности эффективного решения прикладных проблем в промышленных производствах. Студенты знакомятся с устройством современных установок высоких температур и давлений, с методикой работы на них, приемами изучения продуктов опытов и обработки полученных данных. Студенты самостоятельно ставят по 2 оригинальных опыта и изучают полученные продукты.

**1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО** – вариативная часть, профессиональный цикл, профессиональные дисциплины по выбору, курс – III, семестр – 5.

### 2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

освоение дисциплин «Общая геология», «Историческая геология», «Петрология», «Минералогия», «Кристаллография», «Кристаллохимия», «Неорганическая химия», «Физическая химия», «Физическая геохимия».

Дисциплина необходима для научно-исследовательской работы и выполнения выпускных квалификационных работ.

### 3. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников

Компетенции выпускников (коды)	Индикаторы (показатели) достижения компетенций	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), сопряженные с компетенциями
ОПК-3.Б Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности в соответствии	Б.ОПК-3. И-1. Использует типовые подходы и методы при решении задач профессиональной деятельности.	<i>Знать:</i> Устройство и возможности распространенных установок высоких температур и давлений;

профилем подготовки (формируется частично)	<b>Б.ОПК-3. И-2.</b> Владеет базовыми навыками получения информации (полевой, камеральной, лабораторной) для решения стандартных задач профессиональной деятельности в соответствии с профилем подготовки.	<b>Уметь:</b> составить петрографическое описание и дать оценку качества образцов огнеупоров, каменного литья;
	<b>Б.ОПК-3. И-3.</b> Владеет базовыми навыками обработки и интерпретации информации при решении стандартных задач профессиональной деятельности в соответствии с профилем подготовки.	<b>Владеть:</b> методами проведения и обработки результатов петрологических экспериментов;
<b>ПК-1.Б</b> Способен самостоятельно осуществлять сбор геологической информации, использовать в научно-исследовательской деятельности навыки полевых/лабораторных исследований (в соответствии с профилем подготовки) (формируется частично),	<b>Б.ПК-1. И-1.</b> Имеет навыки поиска и сбора информации по объектам исследований, в том числе – с помощью современных ИТ-технологий.	<b>Знать:</b> мировые достижения в области экспериментального моделирования эндогенных процессов; возможности использования петрологических методов для понимания и совершенствования технологических процессов;
	<b>Б.ПК-1. И-2.</b> Владеет приемами анализа и обобщения полученной информации в т.ч. – с применением компьютерных технологий.	<b>Владеть:</b> методикой определения причин брака стекол и установления способа их устранения;
	<b>Б.ПК-1. И-3.</b> Владеет базовыми навыками полевых/лабораторных исследований (по профилю подготовки).	<b>Уметь:</b> поставить задачу петрологического эксперимента, провести его и обработать его результаты;
<b>ПК-2.Б</b> Способен в составе научно-исследовательского коллектива участвовать в получении и интерпретации информации (в соответствии с профилем подготовки).	<b>Б.ПК-2. И-1.</b> Под руководством специалиста высокой квалификации участвует в получении информации по объектам исследования (в соответствии с профилем подготовки), составляет рефераты и аналитические обзоры по собранной информации	<b>Уметь:</b> составлять обзоры по существующим методикам проведения экспериментов в области петрологии и получения новых материалов

	<b>Б.ПК-2. И-2.</b> Владеет навыками по обработке полученных результатов согласно требованиям, принятым в профессиональном сообществе	<b>Владеть:</b> навыками пересчета данных химических анализов и составления диаграмм
	<b>Б.ПК-2. И-3.</b> Готовит отчетную документацию по выполненной работе	<b>Знать:</b> основные требования к представлению отчетной документации по результатам экспериментов
<b>ПК-12.Б</b> Способен организовывать мероприятия, направленные на соблюдение правил по охране труда и контроль за соблюдением правил техники безопасности.	<b>Б.ПК-12. И-1.</b> Знает правила по охране труда и контролю за соблюдением техники безопасности при поведении полевых/лабораторных работ.	<b>Знать:</b> правила безопасности при работе с установками высоких давлений и температур
	<b>Б.ПК-12. И-2.</b> Имеет базовые навыки организации мероприятий по соблюдению правил по охране труда и контролю за соблюдением правил техники безопасности.	<b>Уметь:</b> организовывать проведение экспериментов с применением аппаратов высоких давлений и/или температур с соблюдением правил безопасности <b>Владеть:</b> комплексным подходом организации безопасного рабочего места при проведении экспериментов

**4. Формат обучения** – лекционные и семинарские занятия, не предполагает электронного обучения и использования дистанционных образовательных технологий (за исключением форс-мажорных обстоятельств – пандемии и т.п.)

**5. Объем дисциплины (модуля)** составляет 5 з.е., 180 академических часов в том числе 80 академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (32 часа – занятия лекционного типа, 32 часа – занятия семинарского типа, 16 часов – лабораторные работы) и 100 академических часов на самостоятельную работу обучающихся. Форма промежуточной аттестации – экзамен.

**6. Содержание дисциплины (модуля)**, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),  Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе				Самостоятельная работа обучающегося, часы (виды самостоятельной работы – эссе, реферат, контрольная работа и пр. – указываются при необходимости)
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, часы				
		Занятия лекционного типа	Занятия лабораторного типа	Занятия семинарского типа	Всего	
Раздел 1. Техника и методика эксперимента.		10	10	6	26	30 часов: 2 расчетно-графические работы, подготовка к устным опросам, подготовка к коллоквиуму.
Раздел 2. Проблемы экспериментальных исследований магматизма, метаморфизма, метасоматоза.		12	6	6	24	30 часов : подготовка к устным опросам, обработка данных экспериментального моделирования, написание отчета по лабораторному исследованию, подготовка к защите отчета.
Раздел 3. Проблемы технической петрологии		10	-	20	30	30 часов : подготовка к устным опросам, работа со шлифами технических материалов, реферат, подготовка к контрольной

						работе, подготовка к экзамену.
Промежуточная аттестация <u>экзамен</u>						10
<b>Итого</b>	<b>180</b>			<b>80</b>		<b>100</b>

## **Содержание разделов дисциплины:**

1. Техника и методика эксперимента. Создание, измерение и регулировка температуры. Устройство, особенности и принципы работы жидкостных термометров, оптических пирометров, термопар. Термоэлектрические законы. Принципиальная схема автоматического регулирования температуры в позиционных регуляторах и регуляторах непрерывного действия.

Основные способы создания давления в экспериментальных установках. Конструкционные приемы достижения сверхвысоких давлений. Типы аппаратов высоких температур и давлений: высокотемпературные печи, автоклавные и экзоклавные печи, газовая бомба, установка «цилиндр-поршень», многоступенчатые установки высокого давления.

Распределение напряжения в стенках сосудов высокого давления. Затворы с постоянным уплотнением и самоуплотняющиеся затворы реакторов. Устройство манометров. Определение давления с помощью пьезодатчиков.

Планирование эксперимента по моделированию фазовых равновесий в заданной системе. Расчеты состава и изготовление исходной шихты. Изготовление ампул. Проведение эксперимента: вывод в режим, поддержание заданных параметров, закалка. Изготовление образцов для исследования на микрозонде. Микрозондовое исследование образцов. Обработка полученных результатов. Обобщение данных, их приложение для изучения природных и технологических процессов. Планирование дальнейших исследований.

Химические условия экспериментов. Способы создания необходимой фуггитивности кислорода. Буферные методики. Метод двойных ампул. Температурные границы применимости различных буферных смесей.

Критерии равновесия. Подходы с разных сторон по температуре, давлению, химическому составу системы.

2. Проблемы экспериментальных исследований магматизма. Причины и механизм возникновения разнообразия горных пород. Фракционная кристаллизация Боуэна. Влияние давления на составы фаз в сухих условиях на примере систем: Ab-An, Di-An, Fo-Qz, Fo-Nef-Qz.

Экспериментальные системы с летучими компонентами. Состав горных пород и магматических расплавов. Растворимость воды в магматическом расплаве. Источник гидротермальных растворов. Влияние воды на температуры плавления и состав фаз на примере систем: Ab-An, Di-An, Fo-Qz.

Кристаллизационная дифференциация расплава. Происхождение гранитов. Проблемы происхождения пегматитов. Солевые расплавы и водно-силикатные жидкости. Рудоносность кислых расплавов.

Проблемы экспериментальных исследований метасоматоза и реакционного взаимодействия расплавов с вмещающими породами. Особенности аппаратуры для моделирования диффузионного и инфильтрационного метасоматоза. Основные положения теории метасоматической зональности Коржинского Д.С. Примеры экспериментальных метасоматических колонок. Сопоставление с природными объектами. Оценка скорости роста метасоматических зон колонки.

Проблемы экспериментальных исследований метаморфизма. Создание системы фаций на экспериментальной основе. Экспериментальные исследования состояния вещества в глубинах Земли.

3. Проблемы технической петрологии. Технические камни. Стекло. Технологии производства. Оценка качества исходного материала. Источники брака. Схемы устранения брака при производстве стекол. Сопоставление с природными стеклами. Способы получения информации о структуре магматических расплавов.

Ситаллы. Каменное литье. Требования к сырью. Классификация. Технологические схемы производства. Базальтовое литье. Явление гетероморфизма. Метод пересчета Ниггли для оценки качества исходного сырья. Требования к качеству продукта. Приложение к



природным процессам. Использование методов и результатов петрологии для совершенствования технологических процессов.

Металлургия. Пирометаллургические процессы. Metallургические шлаки как аналоги магматических расплавов. Проблемы утилизации и возможности повторного использования.

Технологии, основанные на твердофазовых реакциях. Керамические материалы. Высококремнеземистые огнеупоры. Алумосиликатные и высокомагнезиальные огнеупоры. Бакор. Технологические схемы производства.

Реакционное взаимодействие техногенных расплавов с огнеупорами. Особенности зональности. Расплавное замещение. Сопоставление с природными процессами. Гранитизация.

**Содержание лабораторных занятий.** Экспериментальное моделирование фазовых равновесий в высокофтористой гранитной системе при различных параметрах и содержании воды, изучение состава фаз и коэффициентов разделения редких металлов между сосуществующими фазами. Включает постановку цели и задач, изучение методик расчета состава исходной шихты и коэффициентов заполнения ампул, подготовку навески, подготовку и заваривание ампул, постановку эксперимента, вывод в режим, поддержание при необходимых параметрах, закалку, проверку герметичности ампул путем взвешивания на каждой стадии подготовки эксперимента, вскрытие ампул и описание полученных образцов, подготовку образцов к микронзондовому исследованию, изготовление, шлифовку и полировку аншлифов, работу на зонде, обсуждение полученных результатов, защиту отчета по проведенному исследованию.

**Содержание семинаров.** Знакомство с установками высокого давления на примере экзоклавленной УВД с внешним нагревом и холодным затвором. Изучение различных модулей установки (модуль создания, измерения и регулировки температуры, модуль создания, измерения и поддержания давления), изучение типов затворов в экзоклавленных и автоклавленных реакторах. Контрольные опросы по материалам лекций.

Работа с диаграммами магматических, метаморфических и метасоматических систем. Контрольные опросы по материалам лекций.

Работа с образцами технических материалов (огнеупоров, каменного литья, ситаллов, металлургических шлаков, строительной керамики, брака в стекле), описание шлифов, оценка качества, технологические схемы производства, рекомендации по устранению брака и улучшению качества продукции, петрохимические пересчеты в петрологии.

## **7. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)**

### **7.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.**

Текущий контроль усвоения дисциплины осуществляется при сдаче каждым студентом выполненных расчетных, лабораторных и контрольных работ.

Для текущего контроля студентов в ходе семестра проводятся контрольные опросы.

#### ***Примерный перечень вопросов для проведения текущего контроля:***

1. Устройство, особенности и принципы работы жидкостных термометров, оптических пирометров, термопар.
2. Термоэлектрические законы.
3. Основные способы создания давления в экспериментальных установках.
4. Типы аппаратов высоких температур и давлений.
5. Затворы с постоянным уплотнением и самоуплотняющиеся затворы реакторов.
6. Устройство манометров.

7. Определение давления с помощью пьезодатчиков.
8. Расчеты состава исходной шихты.
9. Способы создания необходимой фуггитивности кислорода. Температурные границы применимости различных буферных смесей.
10. Критерии равновесия.
11. Влияние давления на составы фаз в сухих условиях на примере систем: Ab-An, Di-An, Fo-Qz, Fo-Nef-Qz.
12. Влияние воды на температуры плавления и состав фаз на примере систем: Ab-An, Di-An, Fo-Qz.
13. Особенности аппаратуры для моделирования диффузионного и инфильтрационного метасоматоза.
14. Примеры экспериментальных метасоматических колонок.
15. Создание системы фаций на экспериментальной основе.
16. Технология производства стекла. Источники брака.
17. Схемы устранения брака при производстве стекол.
18. Классификация каменного литья. Технологические схемы производства.
19. Явление гетероморфизма.
20. Способы повторного использования металлургических шлаков.
21. Технологические схемы производства алюмосиликатных огнеупоров.
22. Особенности зональности при реакционном взаимодействии техногенных расплавов с огнеупорами.

***Расчетные домашние задания:***

1. Расчет исходного состава шихты для экспериментов по моделированию фазовых равновесий в модельной высокофтористой гранитной системе.
2. Расчет коэффициента заполнения ампул с учетом параметров эксперимента и заданного содержания воды.

***Примерные темы рефератов:***

1. Производство и использование ситаллов,
2. Производство и применение вяжущих веществ,
3. Использование процессов ликвации как альтернативный вариант обогащения различных типов руд,
4. Проблемы комплексного освоения полезных ископаемых,
5. Гидрометаллургическое производство.
6. Роль эксперимента в глобальной дискуссии «нептунистов и плутонистов».
7. Роль экспериментальных исследований в глобальной дискуссии «трансформистов и магматистов».

***Темы контрольных работ:***

1. Петрографическое описание шлифа с браком в стекле. Выявление природы брака. Способы его устранения. Петрографическое описание шлифа каменного литья. Оценка качества продукции.
2. Петрографическое описание двух шлифов различных огнеупоров (динас, алюмосиликатный, высокоглиноземистый или высокомагнезиальный огнеупоры).

**7.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.**

***Примерный перечень вопросов при промежуточной аттестации:***

1. Экспериментальные данные как основа теории кристаллизационной дифференциации.

2. Способы экспериментального изучения поведения элементов-примесей в ходе кристаллизационной дифференциации расплавов.
3. Экспериментальные эффекты, объясняющие изменения процессов дифференциации в зависимости от величины литостатического давления.
4. Эффекты, установленные в алюмосиликатных системах с водой, с помощью которых были разрешены крупные проблемы магматической геологии.
5. Экспериментальное изучение алюмосиликатных систем с солевыми компонентами. Жидкостная несмесимость в петрологии.
6. Структура алюмосиликатных расплавов. Кислотно-основное взаимодействие компонентов.
7. Минеральные равновесия без поглощения или выделения летучих компонентов, их значение для создания системы метаморфических фаций.
8. Реакции гидратации-дегидратации и их значение в создании системы метаморфических фаций. Реакции карбонатизации-декарбонатизации и основанные на них фации глубинности.
9. Экспериментальное изучение минеральных равновесий как основа диаграммы фаций метаморфических пород.
10. Влияние температуры и давления на состояние кристаллического вещества.
11. Экспериментальное моделирование диффузионных и инфильтрационных метасоматических процессов.
12. Состояние флюида при высоких температурах и давлениях.
13. Объекты исследования технической петрологии. Химический и минеральный состав технических камней, сходство и различие с горными породами.
14. Стекло. Исходные сырьевые материалы, технология, свойства, применение. Кристаллические включения.
15. Особенности получения ситаллов. Роль петрографических исследований в технологии получения стекла и ситаллов.
16. Каменное литье: технологические особенности производства, аналогии с природными процессами, основные свойства и применение.
17. Роль петрохимических пересчетов в оценке сырья для каменного литья. Понятие о вариативности минералообразования. Аналогии в природных процессах.
18. Роль петрологического подхода в изучении пирометаллургических процессов и исследований металлургических шлаков.
19. Динасовый огнеупор, особенности производства, требования к сырьевым материалам, минеральный состав и структура.
20. Влияние полиморфных превращений кремнезема на технологию производства и службу динаса.
21. Алюмосиликатные огнеупоры: исходные сырьевые материалы, технология производства, минералого-петрографическая характеристика.
22. Магнезиальные огнеупоры: основные представители, сырьевые материалы, особенности технологии, минеральный состав, структура, свойства, применение.
23. Взаимодействие техногенных расплавов с огнеупорами. Износ последних. Роль петрологии в понимании сути процессов.
24. Тонкая керамика, ее производство, аналогии с природными процессами. Возможности совместных работ технологов и петрографов.
25. Главные составные части нагревательных печей.
26. Устройство и принцип действия термопары.
27. Показания хромель-алюмелевой термопары 20,16 мВ. Температура холодных концов 230С. Какова температура рабочего спая?
28. Термоэлектрические законы и их применение.
29. Принципиальная схема регулятора температуры.
30. Типы затворов в автоклавных и экзоклавных реакторах.

31. Принцип действия затворов типа «чечевица» и самоуплотняющихся затворов.
32. Составные части мультипликатора. Его принцип действия.
33. Особенности создания давления в автоклавных и экзоклавных печах.
34. Принципиальное устройство распространенных установок высокого давления с внутренним нагревом.
35. Аппаратура для получения сверхвысоких давлений.
36. Устройство манометров с трубчатой пружиной.
37. Главные группы методов изучения продуктов опытов.
38. Способы изучения содержания летучих компонентов в природных системах.
39. Расчет коэффициентов заполнения автоклавов.
40. Закалка. Закалочные фазы.
41. Способы контроля фугитивности кислорода в эксперименте.
42. Контроль фазовых превращений во время опытов.

#### **Шкала и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине.**

Результаты обучения	«Неудовлетворительно»	«Удовлетворительно»	«Хорошо»	«Отлично»
Знания: Устройства аппаратов высокого давления; результатов экспериментального моделирования эндогенных процессов; технологических схем производства технических материалов	Знания отсутствуют	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Систематические знания
Умения: Поставить задачу петрологического эксперимента, провести аналитическую обработку полученных данных; провести петрографическое описание образцов технического материала, оценить качество продукции.	Умения отсутствуют	В целом успешные, но не систематические умения, допускает неточности непринципиального характера	В целом успешные, но содержащее отдельные пробелы умения.	Успешные умения.
Владения: Методами петрохимического пересчета для оценки состава	Навыки владения методами отсутствуют	Фрагментарное владение методикой, наличие	В целом сформированные владения методами.	Владение методами.

сырья при производстве камнелитых изделий; методами экспериментальных исследований эндогенных условий образования горных пород.		отдельных навыков		
---	--	-------------------	--	--

## 8. Ресурсное обеспечение:

### А) Перечень основной и дополнительной литературы.

- **основная литература:** (печатные издания имеются в Библиотеке МГУ и кафедральном фонде)

Граменицкий Е.Н., Котельников А.Р., Батанова А.М., Щекина Т.И., Плечов П.Ю. Экспериментальная и техническая петрология. М: Научный мир. 2000. 415 с.

- **дополнительная литература:** (печатные издания имеются в Библиотеке МГУ и кафедральном фонде)

Граменицкий Е.Н., Котельников А.Р., Щекина Т.И., Батанова А.М. Методическое руководство к занятиям по курсу «Экспериментальная и техническая петрология» \ М: Научный мир. 2003. 80 с.

### Б) Перечень программного обеспечения: Microsoft Office PowerPoint

### В) Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

### Г) Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:

Геологическая энциклопедия GeoWiki - <http://wiki.web.ru>.

### Д) Материально-техническое обеспечение:

а) помещения – аудитория, рассчитанная на группу из 12 учащихся; лаборатория с подведенной водой;

б) оборудование – мультимедийный проектор, компьютер, экран, выход в Интернет; бинокляры, микроскопы, весы, автоклав, экзоклавная установка высокого давления;

в) иные материалы – предметные и покровные стекла, пинцеты, пипетки, шпатели, спирт, фильтровальная бумага, химические реактивы, ампулы из драгоценных металлов.

## 9. Язык преподавания – русский.

## 10. Преподаватель (преподаватели) – Алферьева Я.О., Щекина Т.И.

## 11. Разработчики программы – Алферьева Я.О., Щекина Т.И.