

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

УТВЕРЖДАЮ
Декан геологического факультета
МГУ имени М.В. Ломоносова
чл.-корр. РАН Еремин Н.Н.



«25» сентября 2025г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Наименование дисциплины (модуля):

Вар Экспериментальная геохимия

Уровень высшего образования:
бакалавриат

Направление подготовки/ специальность:

05.03.01 Геология

Профиль программы бакалавриата:

Геохимия

Форма обучения:

Очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
Учебно-методическим Советом Геологического факультета
(протокол № 6 от 8 сентября 2025 г.)

Москва 2025

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 05.03.01 Геология, утвержденным приказом по МГУ от 21.12.2021 № 1404 (в действующей редакции).

Год (годы) приема на обучение – 2023.

© 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 геохимия» заключается в овладении современными методами проведения физико-химических экспериментов при изучении геохимических систем и процессов на основе принципов физической геохимии.

Задачи – освоение экспериментальных методов исследования фазовых равновесий, растворимости и комплексообразования как основы при получении констант равновесий, практическое изучение способов контроля состава фаз, температуры и давления при исследованиях состояния геохимических систем, освоение физико-химических методов обработки экспериментальных данных при исследованиях свойств доминирующих форм нахождения элементов в равновесных флюидных фазах геохимических систем, овладение специальными методами обработки данных статических и динамических экспериментов.

Краткое содержание дисциплины (аннотация):

Дисциплина «Экспериментальная геохимия» направлена на практическое освоение современных методов и экспериментальных приемов при исследованиях природных систем и геохимических процессов на основе принципов физической химии и химической термодинамики. В процессе обучения закрепляются основные навыки работы в экспериментальной лаборатории. Базовые понятия физической химии и законы химической термодинамики рассматриваются с точки зрения экспериментальных и расчетных методов их применения, а также и оценки термодинамических констант химических равновесий; исследуются влияние температуры и давления на состояние геохимических систем; даются методики расчета равновесий из экспериментальных данных; приводятся примеры решения экспериментальных задач для описания гидротермальных, экзогенных и геоэкологических процессов.

1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО – вариативная часть, профессиональный блок, дисциплины профиля по выбору студента, курс – III, семестр – 5.

2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

освоение дисциплин «Общая геология», «Неорганическая химия», «Физика», «Кристаллография», «Кристаллохимия», «Физическая химия», «Аналитическая химия», «Петрология».

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников

Компетенции выпускников (коды)	Индикаторы достижения компетенций	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с индикаторами достижения компетенций
ОПК-1 на уровне бакалавриата, ОПК-2 на уровне	ОПК-1.Б. Применяет знания фундаментальных разделов наук о Земле, базовые знания естественно-научного и математического циклов при решении стандартных профессио-	Знать: теоретические основы, принципы и методы термодинамического подхода к анализу природных гео-

бакалавриата, ОПК-3 на уровне бакалавриата	нальных задач. ОПК-2.Б. Использует знание теоретических основ фундаментальных геологических дисциплин при решении научно-исследовательских задач профессиональной деятельности. ОПК-3.Б. Решает стандартные задачи профессиональной деятельности в соответствии с профилем подготовки (геохимия)	химических процессов, возможности и ограничения экспериментальной методологии при изучении геохимических процессов, методы и способы получения экспериментальной информации при проведении опытов. Уметь: выполнять термодинамические расчеты при анализе природных систем в широком диапазоне физико-химических условий, интерпретировать результаты экспериментов для анализа условий протекания природных геологических процессов.
ПК-1 на уровне бакалавриата ПК-2 на уровне бакалавриата ПК-5 на уровне бакалавриата ПК-12 на уровне бакалавриата	ПК-1.Б. Самостоятельно осуществляет сбор геологической информации, использует в научно-исследовательской деятельности навыки полевых/лабораторных исследований (в соответствии с профилем подготовки геохимия) ПК-2.Б. В составе научно-исследовательского коллектива участвует в получении и интерпретации информации (в соответствии с профилем подготовки геохимия). ПК-5.Б. Работает на современных полевых/лабораторных приборах, установках и оборудовании в соответствии с профилем подготовки. ПК-12.Б. Организует мероприятия, направленные на соблюдение правил по охране труда и контроль за соблюдением правил техники безопасности	Владеть: навыками и приемами работы с экспериментальной и измерительной аппаратурой, информацией о современных тенденциях в развитии экспериментального естествознания, термодинамическими данными, включая поиск и подготовку исходной термодинамической информации, проведение циклов вычислений, обработку и графическое отображение результатов отдельных термодинамических расчетов.
СПК-1 на уровне бакалавриата	СПК-1.Б. И-1. Проводит поиск, критический анализ, обобщение и систематизацию научной информации в области геохимии.	Владеть: навыками поиска и критического анализа научной информации в области геохимии.

4. **Объем дисциплины:** 5 з.е., в том числе 64 академических часов на контактную работу обучающихся с преподавателем, 116 академических часов на самостоятельную работу обучающихся, форма промежуточной аттестации – экзамен.

5. Содержание дисциплины, 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				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) <i>Виды контактной работы, часы</i> ¹				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Практические/лабораторные занятия	Всего	
Раздел 1. Предмет, методология экспериментальной геохимии.	10	6			6	Подготовка к контрольному опросу, 4 часа
Раздел 2. Техника и методы выполнения опытов и динамических экспериментов.	12	6			6	Подготовка к контрольному опросу, 6 часа
Раздел 3. Современные методы экспериментальных исследований.	12	6			6	Подготовка к контрольному опросу, 6 часа
Раздел 4. Методы калибровки экспериментальной аппаратуры.	26	4		6	10	Обработка данных калибровок, подготовка к сдаче результатов опытов, 16 часов
Раздел 5. Изучение фазовых равновесий и растворимости в автоклавах.	36	4		6	10	Обработка данных, подготовка к сдаче результатов опытов, 26 часа
Раздел 6. Изучение растворимости и кинетики растворения.	36	2		8	10	Обработка данных, подготовка к сдаче результатов опытов, 26 часа
Раздел 7. Определение pH и характеристик ионов. Анализ диаграмм.	22	2		4	6	Обработка данных, подготовка к сдаче результатов опытов, 16 часов
Раздел 8. Исследование адсорбции ионов и электроповерхностных свойств минералов.	26	2		8	10	Обработка данных, подготовка к сдаче результатов опытов, 16 часов
Промежуточная аттестация ²		Экзамен				
Итого	180	64				116

¹ Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых консультаций или индивидуальной работы с обучающимися

² Время для подготовки к промежуточной аттестации в форме **зачета** выделяется из часов самостоятельной работы обучающихся. Промежуточная аттестация в форме **экзамена** проводится во время экзаменационной сессии, предусмотренной графиком учебного процесса.

Содержание разделов дисциплины:

Раздел 1. Предмет, методология экспериментальной геохимии

Место экспериментальной геохимии в системе геологических знаний. Связи между аналитической, физической и экспериментальной геохимией. Основные задачи, решаемые в экспериментальных исследованиях, соотношения между экспериментальными данными и теоретическими представлениями. История развития экспериментов в естествознании, химии и геохимии. Тенденции и направления геохимии и экспериментальной геохимии в современный период. Принципы оснащения лабораторий, современные мировые центры развития экспериментальной геохимии. Закономерность сочетания методов физической химии и химической термодинамики при экспериментальном изучении геохимических явлений. Особенности применения физико-химических расчетов на этапах планирования и обработки результатов экспериментальных работ. Определяющая роль современной термодинамики при развитии новых экспериментальных направлений в геохимии.

Раздел 2. Техника и методы выполнения опытов и динамических экспериментов

Современная техника и методология выполнения экспериментальных работ. Стратегия и тактика проведения экспериментов, формулирование целей, конкретных задач и способов достижения результата. Проблема отрицательных результатов и примеры соотношения новых экспериментальных фактов с системами геохимических парадигм. Стандартные этапы типового экспериментального исследования в естествознании. Планирование опытов и оптимизация времени исследования. Требования к чистоте исходных веществ и точности поддержания и измерения параметров. Проведение серийных опытов и правила записи всех условий и результатов экспериментов. Необходимость кинетических серий и наблюдений в ходе опытов. Влияние способов ввода (и вывода) исследуемой системы в режим Р-Т-Х параметров опыта на конечный результат. Проблема воспроизводимости опытных данных в технически сложных экспериментах и пути ее решения при обработке.

Принципы организации лаборатории экспериментальной геохимии. Способы и методы, а также системы создания, поддержания и контроля температуры. Термопары, основные принципы их функционирования, наиболее распространенные типы, их характеристики, достоинства и недостатки. Калибровка термопар и их поверка. Автоклавные печи сопротивления и другие виды нагревателей и термостатов. Системы создания, удержания и измерения давления. Типы экспериментальных установок в зависимости от методов создания температуры, давления и свойств компримируемой среды. Типичные Р-Т - интервалы эксплуатации экспериментальных установок различных типов. Конструкционные материалы, используемые в экспериментальной геохимии. Принципы конструирования новых экспериментальных установок и этапы их освоения. Техника безопасности при проведении экспериментов и меры предосторожности.

Раздел 3. Современные методы экспериментальных исследований

Современные методы и направления экспериментальной геохимии. Методы изучения фазовых равновесий при высоких температурах и давлениях и диагностики синтезированных фаз. Правило фаз, способы учета метастабильных и закалочных фаз. Методы моновариантной кривой и невариантной точки. Приемы наблюдений и способы отбора проб в режиме опыта. Методы сохранения состава раствора и его дистанционного неразрушающего контроля. Требования к пробоотбору и мониторинг состава исходных и закалочных фаз. Методы определения растворимости. Особенности исследования моновариантных и дивариантных равновесий при изучении комплексов как реальных форм переноса. $E_h - pH$ диаграммы, методы их экспериментального исследования и применение в геохимии. Ионселективные электроды и уравнение Нернста. Использование кондуктометрии с целью определения солёности и определения констант диссоциации. Спектрофотометрия, потенциометрия и кондуктометрия ионных равновесий, их возможности и ограничения при высоких параметрах состояния. Экспериментальное изучение газовых равновесий и растворимости в газовой фазе. Преимущества использования констант многофазных рав-

новесий в терминах летучести реальных форм и краевых компонентов. Методы изучения P-V-T-X соотношений и другие способы экспериментального определения летучести. Газовая хроматографии в аналитической и экспериментальной геохимии. Калориметрия, значение термодинамических работ при определениях теплоемкости минералов, растворов и фазовых переходов. Дифференциальный термический анализ в экспериментальных исследованиях фазовых переходов.

Раздел 4. Методы калибровки экспериментальной аппаратуры

Методы и значение исследований динамических параметров геохимических систем и процессов. Методы изучения вязкости, коэффициентов диффузии, пористости, удельной поверхности, проницаемости, электропроводности, подвижности и чисел переноса ионов. Модели конвективных и диффузионных процессов переноса. Критерии подобия. Влияние скорости фильтрации и перемешивания на локальные равновесия. Хроматографическое разделение компонентов при фильтрации. Экспериментальные методы изучения кинетики важных гетерогенных и гомогенных геохимических реакций.

Практические занятия по калибровке термодинамических точек фазового перехода «лед-вода», «вода-пар», «точка плавления висмута».

Раздел 5. Изучение фазовых равновесий и растворимости в автоклавах

Экспериментальное изучение газовых равновесий и растворимости в газовой фазе. Контроль коэффициентов заполнения автоклавов и способы расчета 2-х фазности флюидной фазы. Преимущества использования констант многофазных равновесий в терминах летучести реальных форм растворения краевых компонентов и состояния растворителя. Методы изучения P-V-T-X соотношений и другие способы экспериментального определения летучести и состава флюидных фаз.

Практические занятия по изучению растворимости оксида галлия в водяном пару в зависимости от его плотности.

Раздел 6. Изучение растворимости и кинетики растворения

Правило фаз, способы учета метастабильных и закалочных фаз. Методы моновариантной кривой и невариантной точки. Приемы наблюдений и способы отбора проб в режиме опыта. Методы сохранения состава раствора и его дистанционного неразрушающего контроля. Требования к пробоотбору и мониторинг состава исходных и закалочных фаз. Методы определения растворимости. Особенности исследования моновариантных и дивариантных равновесий при изучении комплексов как реальных форм переноса.

Практические занятия по изучению растворимости плохо растворимых гидроксидов металлов в воде.

Раздел 7. Определение pH и характеристик ионов. Анализ диаграмм

Eh – pH диаграммы, методы их экспериментального исследования и применение в геохимии. Ионселективные электроды и уравнение Нернста. Использование кондуктометрии с целью определения солёности и определения констант диссоциации. Спектрофотометрия, потенциометрия и кондуктометрия ионных равновесий, их возможности и ограничения при высоких параметрах состояния.

Практические занятия по калибровке Eh – pH электродов, выполнение кондуктометрических измерений. Определение полей устойчивости комплексов железа методом спектрофотометрии.

Раздел 8. Исследование электроповерхностных свойств минералов и адсорбции ионов

Изучение электроповерхностных, адсорбционных и ионообменных свойств пород и минералов. Роль электрокинетических измерений в исследованиях равновесий и свойств поверхности фаз. Экспериментальные определения pH изоэлектрической точки (изт) при изучении амфолитической растворимости и pH точки нулевого заряда (тнз) при описании адсорбционных равновесий.

Определение pH_{изт} и pH_{тнз} методом потенциометрического титрования, альтернативными методами.

6. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)

6.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.

Для текущего контроля успеваемости студентов по курсу «Экспериментальная геохимия» используются такие формы, как сдача – прием результатов экспериментов, собеседование при приеме результатов самостоятельной работы и контрольные вопросы.

Примерный перечень контрольных вопросов:

1. Место экспериментальной геохимии в системе геохимических знаний.
2. Связи между аналитической, физической и экспериментальной геохимией.
3. Главные этапы развития методов исследования в естествознании.
4. История развития новых идей при экспериментальных исследованиях в химии и геохимии.
5. Основные этапы экспериментального исследования.
6. Стратегия и тактика проведения работ, планирование и оптимизация числа экспериментов и времени исследования.
7. Соотношения между общими научными и прикладными целями, текущими задачами при проведении опытов и конкретными способами их экспериментального решения.
8. Главные направления и современные тенденции развития экспериментальной геохимии как раздела экспериментального естествознания.
9. Крупнейшие мировые центры развития экспериментальной геохимии и петрологии.
10. Принципы организации экспериментальной лаборатории.
11. Основные задачи, решаемые в экспериментальных исследованиях, соотношения между новой экспериментальной информацией и теоретическими представлениями.
12. Проблема соотношения экспериментальных фактов с системами геохимических парадигм.

6.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

Примерный перечень вопросов при промежуточной аттестации:

1. Место экспериментальной геохимии в системе геохимических знаний. Связи между аналитической, физической и экспериментальной геохимией.
2. Главные этапы развития методов исследования в естествознании. История развития новых идей при экспериментальных исследованиях в химии и геохимии.
3. Основные этапы экспериментального исследования. Стратегия и тактика проведения работ, планирование и оптимизация числа экспериментов и времени исследования.
4. Соотношения между общими научными и прикладными целями, текущими задачами при проведении опытов и конкретными способами их экспериментального решения.
5. Главные направления и современные тенденции развития экспериментальной геохимии. Крупнейшие мировые центры развития экспериментальной геохимии и петрологии. Принципы организации экспериментальной лаборатории.
6. Основные задачи, решаемые в экспериментальных исследованиях, соотношения между новой экспериментальной информацией и теоретическими представлениями. Проблема соотношения новых экспериментальных фактов с системами геохимических парадигм.
7. Типы систем и фазовых равновесий. Зависимые и независимые компоненты. Правило фаз. Термодинамические свойства фаз и систем. Уравнения состояния.
8. Выбор стандартных состояний для индивидуальных фаз и компонентов растворов. Стандартная свободная энергия вещества. Связь свободной энергии реакции с константой равновесия и свободными энергиями участников реакции.

9. Эксперименты по изучению растворимости и комплексообразования и методы изучения дивариантных равновесий в отношении состава реальных форм переноса в растворах.
10. Закалочные и метастабильные фазы и правило фаз. Метод моновариантной кривой и нонвариантной точки. Буферные смеси и ассоциации.
11. Экспериментальные особенности изучения равновесий при высоких температурах и давлениях. Методы диагностики и анализа синтезированных фаз.
12. Типичные Т-Р - интервалы эксплуатации экспериментальных установок различных типов. Конструкционные материалы в экспериментальных исследованиях.
13. Системы создания, поддержания и контроля температуры. Печи сопротивления и другие типы нагревателей и термостатов.
14. Термопары, основные принципы их функционирования, наиболее распространенные типы, их характеристики, достоинства и недостатки. Калибровка термопар и их поверка.
15. Системы создания, удержания и измерения давления. Типы экспериментальных установок в зависимости от методов создания давления и температуры.
16. Изучение газовых равновесий и растворимости в газовой фазе. Экспериментальные методы изучения Р-V-T-X соотношений. Летучесть и уравнения состояния фазы.
17. Законы Рауля и Генри при стандартизации летучестей и активностей. Эксперименты по определению температурных и барических зависимостей констант равновесия. Методы изучения моновариантных равновесий.
18. Изучение адсорбционных и ионообменных равновесий. Потенциалопределяющие ионы и электроповерхностные свойства пород и минералов. Цели электрокинетических измерений. Определение констант Генри и Лэнгмюра в опытах по адсорбции.
19. Проблема отрицательного результата и воспроизводимости опытных данных при проведении экспериментов. Методы обработки результатов. Требования к чистоте всех исходных веществ и точности поддержания и измерения параметров эксперимента.
20. Правила регистрации условий при проведении опытов, специфика наблюдений в ходе процедур ввода (и вывода) исследуемой системы в режим параметров опыта.

Шкала и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине.

Результаты обучения	«Неудовлетворительно»	«Удовлетворительно»	«Хорошо»	«Отлично»
Знания: теоретических основ термодинамического подхода к анализу геохимических процессов, возможности и ограничения экспериментальной методологии, методы получения экспериментальной информации	Знания отсутствуют	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Систематические знания
Умения: выполнять термодинамические расчеты при анализе природных систем, интерпретировать ре-	Умения отсутствуют	Не систематическое умение, допускает неточности принципиального характера	В целом успешное, но содержащее пробелы умение.	Успешное умение выполнять термодинамические расчёты и интерпретировать ре-

результаты экспери- ментов				результаты экс- периментов.
Владения: навыками и при- емами работы с эксперименталь- ной аппаратурой, информацией о современных тен- денциях в разви- тии эксперимен- тального есте- ствознания	Навыки отсут- ствуют	Фрагментарное владение отдельными навыков	В целом сфор- мированные навыки.	Владение на- выками рабо- ты с экспери- ментальной аппаратурой.

7. Ресурсное обеспечение:

Перечень основной и дополнительной литературы.

- основная литература:

Граменицкий Е.Н., Котельников А.Р. Экспериментальная петрография. – М.: МГУ, 1984, 252 с.

Граменицкий Е.Н., Котельников А.Р., Батанова А.М., Щекина Т.И., Плечев П.Ю. Экспериментальная и техническая петрология. – М.: Научный мир, 2000, 416 с.

Жариков В.А. Основы физической геохимии. М., МГУ; Наука, 2005, 654 с.

Савенко В.С., Савенко А.В. Экспериментальные методы изучения низкотемпературных геохимических процессов. - М.: ГЕОС, 2009, 303 с.

Бейтс Р. Определение pH. Теория и практика. М.-Л.: Химия, 1968, 400 с.

- дополнительная литература:

Григорьев О.Н., Карпова И.Ф., Козьмина З.П., Тихомирова К.П., Фридрихсберг Д.А., Чернобережский Ю.М. - Руководство к практическим работам по коллоидной химии. М.-Л., Химия, 1964, 332 с.

Жариков В.А. Некоторые актуальные проблемы экспериментальной минералогии. – Записки Всесоюзного минералогического общества, 1976, вып.5, с.543-561.

Лукс Г. Экспериментальные методы в изучении неорганической химии. - М., Мир, 1965, 654 с.

Термодинамическое моделирование в геологии. Под ред. И. Кармакля, Х. Ойгстера. М., Мир, 1992, 534 с.

Эверет Д. Введение в химическую термодинамику. - М., ИЛ, 1963, 300 с.

Робинсон Р., Стокс Р. Растворы электролитов. М., ИЛ, 1967, 284 с.

Бычков А.Ю. Геохимическая модель современного рудообразования в кальдере Узон (Камчатка). М., ГЕОС, 2009, 124 с.

- Перечень лицензионного программного обеспечения: программа PVT - свойств воды (разработчики ИЭМ РАН и кафедра геохимии МГУ); пакет программ HCh (автор Ю.В. Шваров, кафедра геохимии МГУ). <http://www.geol.msu.ru/deps/geochems/soft/index.html> ; Statistica; Microsoft Office Excel, Microsoft Office PowerPoint.
- Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем: нет
- Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»: нет
- Описание материально-технической базы
 - а) Лекционные аудитории с проектором и экраном.
 - б) Лаборатории, оснащённые в необходимом экспериментальном оборудованием.

8. Язык преподавания – русский.

9. Преподаватели: ст.н.с. Бычков Д.А., асс. Фяйзуллина Р.В., ст.н.с. Николаева И.Ю.

10. Разработчики программы: ст.н.с. Бычков Д.А., асс. Фяйзуллина Р.В., ст.н.с. Николаева И.Ю.