

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего 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.



«18» декабря 2025г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Наименование дисциплины (модуля):

Вар Основы физической геохимии

Уровень высшего образования:
бакалавриат

Направление подготовки/ специальность:

05.03.01 Геология

Профиль программы бакалавриата:

Экологическая геология

Форма обучения:

Очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
Учебно-методическим Советом Геологического факультета
(протокол № 8 от 15 декабря 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 30 декабря 2020 г. № 1379 (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

Цель курса «Основы физической геохимии» – сформировать у студентов системное представление о физической геохимии как науке о физико-химических закономерностях образования, существования и эволюции минералов, горных пород и руд, а также о применении термодинамического и графического аппарата для описания природных равновесий и процессов, включая поведение химических элементов и загрязняющих веществ в геологических и поверхностных природных системах.

Задачи курса:

- дать теоретические основы физической геохимии, охватывающие фазовые равновесия, термодинамику природных систем и поведение компонентов в минералах и растворах;
- научить студентов использовать геохимические диаграммы для описания и интерпретации условий образования минералов и руд;
- освоить базовые методы термодинамических расчётов и физико-химического анализа природных систем, включая системы с летучими компонентами и твёрдо-жидкими равновесиями;
- показать применение физико-химического подхода для оценки миграции элементов и потенциального поведения загрязнителей в геологической среде.

Краткое содержание дисциплины (аннотация):

В курсе «Основы физической геохимии» излагаются следующие проблемы:

- физико-химический анализ парагенезисов, физико-химические расчеты – их содержание и назначение;
- принцип дифференциальной подвижности компонентов;
- основы термодинамики природных систем.

На практических занятиях студенты знакомятся:

- с методами графического изображения состава минералов и парагенезисов;
- с расчетными методами физико-химического анализа природных систем.

1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО – вариативная часть, профессиональный цикл, профессиональные дисциплины по выбору, курс – III, семестр – 6.

2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

освоение дисциплин «Общая геология», «Общая химия», «Основы неорганической химии», «Высшая математика», «Физика», «Минералогия с основами кристаллографии», «Петрография», «Общая геохимия».

Дисциплина необходима в качестве предшествующей для дисциплин «Экологическая геохимия», «Промышленная экология», дисциплин магистерской программы «Коллоидная геохимия», а также для научно-исследовательской работы и выполнения выпускных квалификационных работ.

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 бакалавриата, ОПК-3 на уровне бакалавриата	ОПК-1.Б. И-1. Применяет знания фундаментальных разделов наук о Земле, базовые знания естественно-научного и математического циклов при решении стандартных профессиональных задач (формируется частично). ОПК-2.Б. И-1. Использует знание теоретических основ фундаментальных геологических дисциплин при решении научно-исследовательских задач профессиональной деятельности (формируется частично). ОПК-3.Б. И-1. Решает стандартные задачи профессиональной деятельности в соответствии с профилем подготовки (формируется частично).	Знать: основы термодинамики природных систем; физико-химические законы, управляющие поведением элементов в природных системах; графические методы анализа фазовых равновесий. Уметь: использовать физико-химические расчеты для решения задач физической геохимии; строить и интерпретировать диаграммы в координатах интенсивных и экстенсивных параметров, а также диаграммы в смешанных координатах для заданных систем; проводить физико-химический анализ парагенезисов. Владеть: основными принципами построения физико-химических диаграмм; системным подходом при решении задач физической геохимии; методами графического изображения фаз (минералов) постоянного и переменного состава.

4. Объем дисциплины составляет 2 з.е., 72 академических часа, (26 часов – занятия лекционного типа, 13 часов – занятия семинарского типа, 33 академических часов на самостоятельную работу обучающихся. Форма текущего контроля – контрольные работы, коллоквиумы, устные опросы при сдаче расчетно-графических работ. Форма промежуточной аттестации – зачёт.

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, часы¹</i>				Самостоятельная работа обучающегося (выполнение практических работ), часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Практические/ лабораторные занятия	Всего	
Тема 1. Предмет и методы физической геохимии. История физической геохимии	1	1			1	
Раздел 1. Термодинамические потенциалы и следствия из них	12	5	4		9	Собеседование, подготовка к письменному экспресс-опросу, 3 часа.
Тема 2. Условия равновесия термодинамических систем		2	2		4	
Тема 3. Термодинамическая модель природных равновесных систем		3	2		5	
Раздел 2. Физико-химический анализ парагенезисов	11	5	3		8	2 расчётно-графические работы, устный опрос, подготовка к письменному экспресс-опросу, 3 часа.
Тема 4. Уравнение Гиббса-Дюгема. Правило фаз		1	1		2	
Тема 5. Диаграммы состав-парагенезис с фазами постоянного состава		2	1		3	
Тема 6. Диаграммы состав-парагенезис с		2	1		3	

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

фазами переменного состава						
Раздел 3. Диаграммы плавкости	17	7	3		10	6 расчётно-графических работ, устный опрос, подготовка к письменному экспресс-опросу, 7 часов.
Тема 7. Диаграммы плавкости с простой эвтектикой. Уравнение Шредера		2			2	
Тема 8. Диаграммы плавкости с инконгруэнтно плавящейся фазой. Перитектическая реакция		2	1		3	
Тема 9. Диаграммы плавкости для систем с ликвацией. Монотектика		1	1		2	
Тема 10. Диаграммы плавкости с твёрдыми растворами. Уравнение Ван-Лаара		1	1		2	
Тема 11. Влияние различных факторов на строение диаграмм плавкости		1			1	
Раздел 4. Диаграммы в координатах интенсивных параметров	11	4	2		6	2 расчётно-графические работы, устный опрос, подготовка к письменному экспресс-опросу, 5 часов.
Тема 12. Однопучковые диаграммы. Топология. Правила Скрейнемакерса		2	1			
Тема 13. Одновариантные мультисистемы. Топология. Правила Скрейнемакерса		2	1			
Раздел 5. Физико-химические расчеты	10	4	1		5	2 расчётно-графические работы, устный опрос, подготовка к письменному экспресс-опросу, 5 часов.
Тема 14. Диаграммы зависимости фазовых равновесий от химических потенциалов компонентов		2			2	
Тема 15. Расчёт Eh-pH диаграмм		2	1		3	

Промежуточная аттестация <u>зачёт</u> ²	10					Подготовка к зачету, 10 часов.
Итого	72	39				33

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:

Содержание лекционных занятий

Раздел 1. Термодинамические потенциалы и следствия из них

Термодинамические потенциалы Гиббса и Коржинского, их физический смысл. Соотношения между термодинамическими потенциалами.

Химический потенциал компонентов, его зависимость от T , P и состава системы. Уравнение смещенного равновесия и выводы из него зависимостей, используемых в анализе парагенезисов. Правило фаз Гиббса, Гольдшмидта и Коржинского и их приложение.

Собеседование по теме: «Термодинамические потенциалы и следствия из них».

Раздел 2. Физико-химический анализ парагенезисов

Принципы построения диаграмм состав-парагенезис с минералами постоянного состава и минералами-твердыми растворами. Анализ диаграмм по правилу фаз.

Раздел 3. Диаграммы плавкости

Бинарные и тройные системы с простой эвтектикой. Уравнение Шредера. Политермические и изотермические сечения. Диаграммы с конгруэнтным и инконгруэнтным плавлением. Перитектическая реакция. Системы с ликвацией. Монотектика. Диаграммы плавкости с твердыми растворами. Уравнение Ван-Лаара. Последовательность кристаллизации и плавления фаз на изученных диаграммах. Влияние различных факторов на строение диаграмм плавкости.

Раздел 4. Диаграммы в координатах интенсивных параметров

Построение и анализ диаграммы зависимости парагенезисов от химических потенциалов воды и уголекислоты в системе CaO-MgO-SiO_2 . Однопучковые и многопучковые диаграммы, их топология. Правила Скрейнемакера. Сингулярные (вырожденные) равновесия.

Раздел 5. Физико-химические расчеты

Диаграммы зависимости фазовых равновесий от химических потенциалов компонентов. Расчет T - P диаграмм твердофазовых реакций и реакций гидратации. Расчет диаграммы в координатах $\lg P(\text{S}_2)$ - $\lg P(\text{O}_2)$ и диаграммы Eh-pH.

Содержание семинарских занятий

Раздел 1. Термодинамические потенциалы и следствия из них

Вывод термодинамических потенциалов Гиббса и Коржинского. Вывод соотношений между термодинамическими потенциалами.

Химический потенциал компонентов, его зависимость от T , P и состава системы. Вывод уравнения смещенного равновесия, а также выводы из него зависимостей, используемых в анализе парагенезисов. Вывод правила фаз Гиббса, Гольдшмидта и Коржинского и их приложение.

Собеседование по теме: «Термодинамические потенциалы и следствия из них».

Раздел 2. Физико-химический анализ парагенезисов

Построение диаграмм состав-парагенезис с минералами постоянного состава и минералами-твердыми растворами. Метод проективного преобразования. Анализ диаграмм по правилу фаз.

Раздел 3. Диаграммы плавкости

Построение бинарных и тройных диаграмм с простой эвтектикой, с конгруэнтным и инконгруэнтным плавлением, с твердыми растворами и ликвацией. Анализ последовательности кристаллизации и плавления. Анализ диаграмм с использованием уравнений Шредера, Ван-Лаара и правила фаз.

Раздел 4. Диаграммы в координатах интенсивных параметров

Построение и анализ диаграммы зависимости перагенезисов от химических потенциалов воды и углекислоты в системе CaO-MgO-SiO_2 .

Раздел 5. Физико-химические расчеты

Расчет T - P диаграмм твердофазовых реакций и реакций гидратации. Расчет диаграммы в координатах $\lg P(\text{S}_2)$ - $\lg P(\text{O}_2)$ и диаграммы Eh - pH .

Рекомендуемые образовательные технологии

При освоении дисциплины «Основы физической геохимии» предусматривается широкое использование активных и интерактивных форм проведения занятий. Учащиеся осваивают методы количественного моделирования природных процессов, овладевают приемами физико-химических исследований при реконструкции условий образования минеральных парагенезисов и горных пород. По результатам внеаудиторной работы (работа с литературными источниками, ресурсами Интернет, базами данных) студенты под руководством преподавателя готовят решение задач по основным разделам дисциплины.

При чтении лекций используются интерактивные лекции-визуализации с выделением в визуальной форме основных понятий физической геохимии.

При проведении семинарских занятий рекомендуется использовать кейс-метод с имитацией реальных геологических задач, имеющих практическую значимость, обработки реальных результатов и условий петрологических, минералогических и геохимических работ.

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 курсу «Основы физической геохимии» используются такие формы, как собеседование при приеме результатов самостоятельной расчетно-графической работы с оценкой и в начале каждой лекции (кроме первой) выполняют 5-минутный письменный экспресс-опрос по материалам предыдущих лекций и семинарских занятий (всего 14). Результат каждого задания оценивается по системе «зачёт-незачёт», и суммарный результат учитывается при сдаче зачёта.

Примеры вопросов в письменном экспресс-опросе:

№5

1. Дано: $\dots^m = f(S, p, n_a, \mu_{b\dots k})$
 $\dots^m =$

$$d...^m =$$

2. Правило фаз *Коржинского* для этой системы:

$$3. \mu_a = \left(\frac{\partial F}{\partial n_a} \right)_{T, P, n_b, \dots}$$

4. Минералогическое правило фаз *Гольдшмидта*:

5. Уравнение *смещённого* равновесия:

$$\dots$$

№8

1. Дано: $\dots^m = f(S, V, n_a, \mu_b)$

$$\dots^m =$$

$$d...^m =$$

2. Правило фаз *Коржинского* для этой системы:

3. Пределы изменения *химического потенциала* компонента:

$$< \mu_a \leq$$

4. Уравнение *Шредера* в интегральной форме:

5. *Интегральное* выражение химического потенциала компонента *идеального газового* раствора:

$$\dots$$

Примерный перечень вопросов для проведения текущего контроля:

1. Число независимых параметров в гомогенной и гетерогенной системах.
2. Условия термодинамического равновесия систем.
3. Принцип дифференциальной подвижности компонентов. Системы с вполне подвижными компонентами.
4. Правило фаз Гиббса, его приложение.
5. Правило фаз Коржинского, его приложение.
6. Термодинамические потенциалы простых (канонических) систем и связь между ними.
7. Интегральные и дифференциальные выражения термодинамических потенциалов систем с вполне подвижными компонентами.
8. Уравнение смещённого равновесия, его приложение.
9. Закон действующих масс и связь константы равновесия с потенциалом Гиббса.
10. Уравнения изобары и изотермы химической реакции.
11. Парциальные и мольные термодинамические характеристики.
12. Химический потенциал, его зависимость от T , P и состава системы.
13. Понятие о парагенезисе и минеральной фации.
14. Минералогическое правило фаз Гольдшмидта и Коржинского.
15. Типы бинарных диаграмм плавкости. Типы твердых растворов Розебома.

16. Уравнения Шредера и Ван-Лаара.
17. Тройные диаграммы плавкости с инконгруэнтным плавлением.
18. Диаграммы плавкости с ликвацией (бинарные и тройные).
19. Теория построения однопучковых диаграмм. Топология диаграмм в зависимости от числа компонентов и фаз. Правила Скрейнемакенса.
20. Системы с отрицательным числом степеней свободы. Топологический анализ диаграмм состояния моновариантных мультисистем.
21. Сингулярное равновесие. Топология диаграмм бинарных систем с сингулярными равновесиями в координатах интенсивных параметров.

Расчетные домашние задания:

1. Построить диаграмму состав-парагенезис с минералами постоянного состава. Провести анализ парагенезисов по правилу фаз.
2. Построить диаграмму состав-парагенезис с минералами-твердыми растворами. Провести анализ парагенезисов по правилу фаз.
3. Построить диаграмму с простой эвтектикой трехкомпонентной природной системы. Провести анализ кристаллизации и плавления.
4. Построить бинарную диаграмму с инконгруэнтным плавлением и ликвацией природной системы. Провести анализ кристаллизации и плавления.
5. Построить тройную диаграмму природной системы с инконгруэнтным плавлением двойных соединений. Провести анализ последовательности кристаллизации и плавления.
6. Провести анализ кристаллизации и плавления тройной диаграммы с ликвацией природной системы.
7. Построить пять типов диаграмм твердых растворов Розебома для природных бинарных систем. Провести анализ кристаллизации и плавления.
8. Построить тройную диаграмму с твердыми растворами для природной системы. Провести анализ кристаллизации и плавления.
9. Рассчитать и построить пучковую диаграмму.
10. Построить мультисистему и провести анализ парагенезисов по правилу фаз.
11. Рассчитать реакцию гидратации от стандартных и экспериментальных условий для различного соотношения давления воды и общего давления.
12. Рассчитать минеральные равновесия в координатах Eh-pH для разных температур.

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

Примерный перечень вопросов при промежуточной аттестации:

1. Вывод числа независимых параметров в гомогенной и гетерогенной системах.
2. Условия термодинамического равновесия систем. Стабильное и метастабильное состояние.
3. Принцип дифференциальной подвижности компонентов. Системы с вполне подвижными компонентами, их термодинамический смысл.
4. Правило фаз Гиббса, его вывод и приложение.
5. Правило фаз Коржинского, его вывод и приложение.
6. Термодинамические потенциалы простых (канонических) систем и связь между ними.

7. Интегральные и дифференциальные выражения термодинамических потенциалов систем с вполне подвижными компонентами.
8. Уравнение смещенного равновесия, его вывод и приложение.
9. Закон действующих масс и связь константы равновесия с потенциалом Гиббса.
10. Вывод уравнений изобары и изотермы химической реакции.
11. Парциальные и мольные термодинамические характеристики.
12. Графический образ мольного изотермо-изобарического потенциала для систем с фазами постоянного и переменного состава.
13. Определение химического потенциала, его зависимость от T , P и состава системы.
14. Понятие о парагенезисе и минеральной фации. Построение и анализ диаграмм состав-парагенезис. Разделение компонентов.
15. Диаграмма состав-парагенезис Ниггли-Гольдшмидта. Диаграммы состав-парагенезис с минералами - твердыми растворами. Минералогическое правило фаз Гольдшмидта и Коржинского.
16. Вывод диаграммы бинарной системы с эвтектикой без твердых растворов и химических соединений с помощью кривых термодинамических потенциалов.
17. Вывод диаграммы бинарной системы с непрерывными твердыми растворами с помощью кривых термодинамических потенциалов.
18. Вывод диаграммы бинарной системы с соединением, плавящимся инконгруэнтно, с помощью кривых термодинамических потенциалов.
19. T - X диаграммы. Типы бинарных диаграмм плавкости. Типы твердых растворов Розебома.
20. Уравнения Шредера и Ван-Лаара, их вывод и анализ.
21. Изотермические и политермические сечения на тройных диаграммах плавкости.
22. Тройные диаграммы плавкости с инконгруэнтным плавлением двойных химических соединений.
23. Диаграммы плавкости с ликвацией (бинарные и тройные).
24. Влияние различных факторов на строение диаграмм плавкости.
25. Кислотно - основное взаимодействие компонентов в расплавах.
26. Влияние летучих компонентов на температуры плавления фаз и на строение диаграмм плавкости.
27. Влияние вполне подвижного компонента на температуру плавления фаз и на строение диаграмм плавкости.
28. Теория построения однопучковых диаграмм. Топология диаграмм в зависимости от числа компонентов и фаз. Правила Скрейнемакенса.
29. Системы с отрицательным числом степеней свободы. Топологический анализ диаграмм состояния моновариантных мультисистем.
30. Сингулярное равновесие. Топология диаграмм бинарных систем с сингулярными равновесиями в координатах интенсивных параметров.
31. Основные уравнения для расчета фазовых равновесий. Интегрирование членов $\Delta G_{\Delta T}$ и $\Delta G_{\Delta P}$.
32. Расчет твердофазовых минеральных равновесий на T - P диаграммах.
33. Метод расчета T - P условий реакций гидратации (дегидратации) и карбонатизации (декарбонатизации).
34. Метод построения Eh-pH диаграммы.

Шкала и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине

Результаты обучения	«Незачёт»	«Зачёт»
Знания: основ термодинамики природных систем; физико-химических законов, управляющих поведением элементов в природных системах	Фрагментарные знания или их отсутствие	Сформированные систематические знания или общие, но не структурированные знания
Умения: использовать физико-химические расчеты для решения задач физической геохимии	Не систематическое умение или отсутствие умений	Успешное и систематическое умение или в целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности непринципиального характера)
Владения: методами графического изображения фаз (минералов), системным подходом при решении задач физической геохимии	Наличие отдельных навыков владения графическими методами или их отсутствие	Сформированные навыки использования графических методов (а в идеале их успешное применения для решения реальных задач)

7. Ресурсное обеспечение:

Перечень основной и дополнительной литературы

– основная литература:

1. Жариков В.А. Основы физической геохимии: учебник. – 2-е изд., испр. и доп. М.: Издательство Московского университета: Наука, 2005. -654 с.
2. Наумов Г.Б., Рыженко Б.Н., Ходаковский И.Л. Справочник термодинамических величин (для геологов). М.: Атомиздат, 1971. – 240 с.

– дополнительная литература:

1. Коржинский Д.С. Теоретические основы анализа парагенезисов минералов. М., Наука, 1973. – 288 с.
2. Луцык В.И. Анализ поверхности ликвидуса тройных систем. М.: Наука, 1987. – 150 с.

3. Булах А.Г. Методы термодинамики в минералогии. Л.: Недра, 1968. – 176 с.

Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

Базы данных термодинамических величин ИВТАНТЕРМО, JANAF, SLOP.

Материально-технического обеспечение:

- помещения – аудитория, рассчитанная на группу из 10 учащихся; с меловой или магнитно-маркерной доской;
- оборудование – мультимедийный проектор, компьютер, экран;
- иные материалы – модели диаграмм плавкости для тройных систем, линейка.

8. Язык преподавания – русский.

9. Преподаватель: к.г.-м.н. Фяйзуллина Р.В.

10. Разработчик программы: к.г.-м.н. Фяйзуллина Р.В.