

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

Термодинамика породообразующих минералов

Автор-составитель: Сафонов О.Г.

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

Цель – приобретение углубленных знаний о фундаментальных законах термодинамики и физической химии в приложении к свойствам породообразующих минералов, освоение методов расчетов термодинамических свойств породообразующих минералов, флюидов и расплавов сложного состава с использованием имеющихся баз термодинамических данных, приобретение знаний о физико-химических условиях стабильности главных породообразующих минералов магматических и метаморфических горных пород и их парагенезисов.

Задачи: приобретение студентами навыков расчетов термодинамических свойств породообразующих минералов магматических и метаморфических пород и их равновесий на основе экспериментальных данных или имеющихся баз термодинамических данных.

Краткое содержание дисциплины (аннотация):

Дисциплина «Термодинамика породообразующих минералов» для студентов 4 курса модуля «Петрология» направлена на применение основных законов термодинамики и физической химии к минеральным равновесиям с целью восстановления физико-химических параметров эволюции магматических и метаморфических пород земной коры и мантии. Курс лекций состоит из двух частей. Первая часть (7-ой семестр) посвящена общим понятиям и законам химической термодинамики, применимым к природным минеральным системам. Начинаясь с рассмотрения термодинамических свойств фаз постоянного состава, первая часть в большем своем объеме посвящена термодинамическим свойствам минералогически важных многокомпонентных твердых растворов и флюидов. Целью первой части курса является научить студентов рассчитывать термодинамические свойства минералов и флюидов переменного состава и равновесия между ними при различных температурах, давлениях, активностях. Во второй части курса (8-ой семестр) детально рассматриваются кристаллохимические и термодинамические особенности твердых растворов главных породообразующих минералов магматических и метаморфических пород (полевых шпатов, слюд, амфиболов, пироксенов, оливина, граната, кордиерита, хлоритов, серпентина, талька, ставролита, хлоритоида и некоторых других), условия их стабильности, поведения в различных парагенезисах. В этой части курса является студенты учатся понимать значение каждого породообразующего минерала в тех или иных процессах, определять, как состав этого минерала реагирует на изменения физико-химических условий минералообразования и как, используя составы этого минерала и его парагенезисы, можно грамотно восстанавливать условия формирования горных пород. В целом, рассматриваемые в курсе основы термодинамических расчетов в итоге направлены на создание корректных методов определения физико-химических параметров процессов магматизма и метаморфизма на основе локальных равновесий породообразующих минералов. Формами контроля знаний студентов являются контрольные работы (3-4 работы за семестр), в конце каждой части предусмотрены зачеты и экзамены. Большое внимание в курсе отводится самостоятельной работе студентов в форме домашних заданий, а также докладов и сообщений.

1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО – вариативная часть, профессиональные дисциплины по выбору, курс – IV, семестры – 7, 8.

2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

освоение дисциплин «Неорганическая химия», «Физическая химия», «Основы физической геохимии», «Минералогия», «Кристаллохимия», «Экспериментальная и техническая петрология».

Дисциплина необходимо в качестве предшествующей для дисциплин «Теория фазового соответствия», «Минеральные равновесия», «Петрология мантии», «Петрология зон субдукции», «Современные главы петрологии», «Петрологическое моделирование», «Формации метаморфических пород», «Генетическая интерпретация магматических пород»,

а также 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
<p>ОПК-1.Б Способен применять знания фундаментальных разделов наук о Земле, базовые знания естественно-научного и математического циклов при решении стандартных профессиональных задач (формируется частично).</p>	<p>Б.ОПК-1. И-1. Использует базовые знания фундаментальных разделов математических и естественных наук в профессиональной деятельности</p>	<p>Знать: главные законы, понятия и определения химической термодинамики фаз постоянного состава, основные модели смешения компонентов в твердых растворах;</p>
	<p>Б.ОПК-1. И-2. Использует базовые знания фундаментальных разделов наук о Земле в профессиональной деятельности</p>	<p>Уметь: корректно применять базы термодинамических данных для вычисления парциальных и интегральных термодинамических свойств твердых растворов и их компонентов;</p>
<p>ОПК-3.Б Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности в соответствии с профилем подготовки (формируется частично)</p>	<p>Б.ОПК-3. И-1. Использует типовые подходы и методы при решении задач профессиональной деятельности.</p>	<p>Знать: особенности состава, структуры и термодинамических свойств главных породообразующих минералов - твердых растворов; методы расчета и оценки термодинамических параметров с использованием экспериментальных данных;</p>
	<p>Б.ОПК-3. И-2. Владеет базовыми навыками получения информации (полевой, камеральной, лабораторной) для решения стандартных задач профессиональной деятельности в соответствии с профилем подготовки.</p>	<p>Уметь: записывать уравнения равновесий с участием фаз переменного состава, рассчитывать различные термодинамические параметры из уравнений равновесий и строить линии равновесий в координатах интенсивных параметров систем;</p>
	<p>Б.ОПК-3. И-3. Владеет базовыми навыками обработки и интерпретации информации при решении стандартных задач профессиональной деятельности в соответствии с профилем подготовки.</p>	<p>Владеть: базовыми методами термодинамических расчетов, методами расчета и оценки термодинамических параметров с использованием экспериментальных данных</p>

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 **4 з.е., 144 академических часа**, в том числе **86 академических часов**, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (**50 часов** – занятия лекционного типа, **36 часов** – занятия семинарского типа), **58 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. Термодинамика фаз постоянного состава и их равновесий.		12	–	6	18	16
Раздел 2. Термодинамика твердых растворов и их равновесий.		14	–	6	20	18
Раздел 3. Термодинамика породообразующих минералов: каркасные силикаты		6	–	6	12	4
Раздел 4. Термодинамика породообразующих минералов: слоистые силикаты		6	–	6	12	4
Раздел 5. Термодинамика породообразующих минералов: амфиболы		4	–	4	8	2
Раздел 6. Термодинамика породообразующих минералов: пироксены		4	–	4	8	2
Раздел 7. Термодинамика породообразующих минералов: ортосиликаты		4	–	4	8	4

Промежуточная аттестация <i>экзамен</i>			8
Итого	144	86	58

Содержание разделов дисциплины:

1. Термодинамика фаз постоянного состава и их равновесий.

Основные определения термодинамики: термодинамические системы, фаза, независимые компоненты, интенсивные и экстенсивные параметры системы, количества тепла, механическая работа, внутренняя энергия системы. Первый закон термодинамики. Энтальпия. Теплоемкость и зависимость от температуры. Фазовые переходы первого и второго рода. Химическая связь: ковалентная, ионная, металлическая, водородная, связь Ван-дер-Ваальса. Энергия кристаллической решётки и энтальпия образования. Энтропия и ее связь с теплоемкостью. Статистическое толкование энтропии. Свободная энергия Гиббса и свободная энергия Гельмгольца. Объем кристаллических веществ. Зависимость объема кристаллических веществ от давления и ее описание. Термодинамические базы данных. Условие равновесия. Уравнение Клаузиуса-Клапейрона. Расчет линии твердофазной реакции в Р-Т координатах. Термодинамические свойства газов. Понятие идеального и неидеального газа. Критические явления и понятие флюида. Фугитивность и коэффициент фугитивности. Уравнения состояния реальных газов. Кислородные буферы.

2. Термодинамика твердых растворов и их равновесий

Понятие твердого раствора. Типы растворов. Относительные парциальные и интегральные функции смешения и связь между ними. Идеальные растворы. Энтропия смешения идеального раствора. Определение активности компонента. Неидеальные растворы. Избыточные функции растворов. Условие равновесия фаз переменного состава. Модели смешения неидеальных однопозиционных твердых растворов: симметричные, регулярные и субрегулярные растворы. Общие свойства моделей смешения твердых растворов. Взаимные многопозиционные растворы. Принцип кислотно-основного взаимодействия в твердых растворах. Смешение во флюидной фазе. Идеальные и неидеальные смеси реальных газов. Расчет минеральных реакций с участием фаз переменного состава. Обменные и смещенные равновесия с участием фаз переменного состава.

3. Термодинамика породообразующих минералов: каркасные силикаты

Кремнезем (SiO_2) и его полиморфные модификации. Полевые шпаты: щелочные полевые шпаты и плагиоклазы. Термодинамика твердых растворов щелочных полевых шпатов и плагиоклазов. Важнейшие фазовые равновесия щелочных полевых шпатов. Кордиерит. Распределение H_2O и CO_2 между флюидом и кордиеритом. Термодинамика твердого раствора кордиерита. Стабильность кордиерита в зависимости от РТ условий. Лейцит. Нефелин и кальсилит. Скаполит.

4. Термодинамика породообразующих минералов: слоистые силикаты

Преимственность структур слоистых силикатов. Слюды. Структура слюд. Основные типы изоморфизма в слюдах. Белые слюды (мусковит, парагонит, фенгит). Термодинамика твердого раствора белых слюд. Стабильность мусковита и парагонита в зависимости от Т, Р и $a_{\text{H}_2\text{O}}$ во флюиде. Биотиты. Биотиты как взаимные многопозиционные твердые растворы. Вхождение Ti , Fe^{3+} в биотит. Стабильность биотита. Серпентин. Тальк. Хлориты. Основные схемы изоморфизма в Fe-Mg-Al хлоритах. Термодинамика твердого раствора хлоритов. Пределы устойчивости Mg- и Fe-хлоритов. Важнейшие ассоциации хлоритов.

5. Термодинамика породообразующих минералов: амфиболы

Структура амфиболов и катионные позиции в ней. Классификация амфиболов. Особенности распределения некоторых атомов по позициям в структурах амфиболов. Основные схемы изоморфизма в амфиболах. Изменения структуры амфиболов, связанные с изменением состава. Особенности термодинамики и стабильность некоторых рядов

амфиболов (куммингтонит – грюнерит, тремолит-актинолит, роговые обманки, щелочные амфиболы).

6. Термодинамика породообразующих минералов: пироксены

Основные схемы изоморфизма в пироксенах. Классификация пироксенов. Важнейшие твердые растворы ортопироксенов и их модели. Важнейшие твердые растворы клинопироксенов. Пижонит. Важнейшие равновесия ортопироксенов. Важнейшие равновесия клинопироксенов.

7. Термодинамика породообразующих минералов: ортосиликаты

Хлоритоид. Ставролит. Гранат. Термодинамика твердого раствора граната с позиций двупозиционного идеального и взаимного растворов. Важнейшие равновесия граната. Оливин. Термодинамические свойства твердого раствора оливина. Полиморфизм Mg_2SiO_4 при высоких давлениях.

Содержание семинаров.

На семинарах обсуждаются указанные выше разделы лекционного курса с привлечением дополнительной литературы, а также разбираются домашние и дополнительные задачи.

Рекомендуемые образовательные технологии

В курсе «Термодинамика породообразующих минералов» используются образовательные технологии полного усвоения, т.е. учебный процесс будет строиться так, чтобы подвести всех учащихся к единому, чётко заданному уровню овладения знаниями и умениями. Содержание курса разбито на отдельные блоки с обязательным промежуточным контролем. В качестве формы контроля знаний применяются такие виды работы как проверочные и контрольные работы, тесты перед каждой лекцией, решения домашних заданий, а также предварительный зачет, включающий сдачу всех задач и тестов, предлагавшихся в течение семестра. Важным элементом преподавания дисциплины являются презентации и доклады учащихся с использованием дополнительных материалов (статей, книг, материалов из сети Интернет), совместный разбор ошибок при выполнении задач и контрольных работ. Для решения поставленных задач учащиеся могут использовать компьютерные программы как общего назначения, так и специализированные программные комплексы. Критерием выполнения задания наряду с правильным ответом является также корректность хода решения. Самостоятельная работа предполагает изучение литературы, рекомендуемой преподавателем. При чтении курса лекций используются мультимедийные технологии и методы обучения, основанные, в том числе, на механизме интеракции.

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 работ. Для текущего контроля студентов в ходе семестра проводятся контрольные опросы.

Тематика некоторых заданий для домашней и самостоятельной работы

1. Расчет коэффициентов в уравнении теплоемкости некоторого вещества в интервале температур от 298 К. Расчет на основе полученных коэффициентов зависимостей энтальпии, энтропии и свободной энергии Гиббса от температуры.

2. Задачи на расчет энтальпий (энтропий) веществ при температурах, отличных от стандартной, при наличии фазовых переходов с использованием данных о зависимостях теплоемкости веществ от температуры.
3. Расчет и построение линий реакций в P-T координатах с участием фаз постоянного состава с использованием баз термодинамических данных.
4. Расчет реакций гидратации/дегидратации и карбонатизации/декарбонатизации, а также реакций, контролируемых фугитивностью кислорода, с участием фаз постоянного состава с использованием баз термодинамических данных.
5. Расчеты парциальных и интегральных функций смещения в твердых растворах различных типов и их графическое представление.
6. Задачи на построение G-X диаграмм из T-X диаграмм для систем с фазами переменного состава.
7. Расчеты составов и условий стабильности сосуществующих фаз на кривых сольвусов симметричных (регулярных) растворов с использованием данных о критических температурах распада этих растворов.
8. Вывод формул для парциальных функций симметричных (регулярных) бинарных и тройных растворов.
9. Вывод формул для парциальных функций субрегулярных бинарных растворов.
10. Задачи на расчет термодинамических функций смещения из равновесий минерал-водный раствор.
11. Оценка термодинамических функций смещения твердого раствора щелочного полевого шпата, равновесного с водно-хлоридным раствором.
12. Расчет условий стабильности плагиоклазов с составами An₁₀-An₁₀₀ с гроссуляром, кианитом и кварцем в интервале температур 1000 – 1300°C.
13. Задача на расчет стабильности «сухого», водосодержащего и CO₂-содержащего кордиерита в ассоциации с пиропом, силлиманитом и кварцем.
14. Расчеты парциальных энергий различных миналов в многопозиционных твердых растворах слоистых силикатов: мусковита, фенгита, биотита, хлорита, серпентина, талька.
15. Расчеты пределов стабильности мусковита, парагонита и флогопита.
16. Слюды как индикаторы активности H₂O, K и Na и фугитивности кислорода во флюидах (на примерах ассоциаций мусковит+калиевый полевой шпат+силлимантит+кварц, биотит+калиевый полевой шпат+ортопироксен+кварц, биотит+калиевый полевой шпат+магнетит).
17. Выявление закономерностей вариации содержания Al₂O₃ в хлорите в ассоциации с кианитом и кварцем при заданных P-T условиях и активности воды во флюиде.
18. Расчеты парциальных энергий различных миналов в многопозиционных твердых растворах амфиболов и пироксенов.
19. Расчеты пределов стабильности некоторых миналов амфиболов (на примерах тремолита и антофиллита).
20. Расчеты парциальных энергий различных миналов в многопозиционных твердых растворах граната и оливина.

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

По итогам обучения проводится экзамен. Ниже приведен перечень некоторых вопросов при проведении экзамена.

1. Определение теплоемкости при постоянном давлении и постоянном объеме; связь между ними. Зависимость теплоемкости веществ от температуры при низких, умеренных и высоких температурах. Формулы Эйнштейна и Дебая, правила Дюлонга-Пти, Джоуля-Коппа и Больцмана.
2. Понятие твердого раствора. Однопозиционные и многопозиционные растворы. Относительные функции смешения. Идеальные и неидеальные растворы (определения).
3. Типы химической связи в минералах. Электроотрицательность и степень ионности связи. Энергия связи. Энергия кристаллической решетки и методы ее определения.
4. Относительные интегральные и парциальные функции смешения (энтропия, объем, энтальпия, энергия Гиббса). Связь между ними. Уравнение Гиббса-Дюгема.
5. Энтальпия образования и энергия кристаллической решетки. Цикл Борна-Габера. Зависимость энтальпии от температуры. Энергетический баланс при повышении температуры и фазовых переходах.
6. Идеальные растворы и их функции смешения. Энтропия и свободная энергия смешения бинарного идеального раствора. Энтропия смешения многопозиционного многокомпонентного идеального раствора. Влияние баланса зарядов на энтропию смешения.
7. Энтропия. Соотношения Максвелла. Зависимость энтропии от температуры. Эмпирические связи энтропии и объема. Толкование энтропии с точки зрения статистической термодинамики (формула Больцмана). Конфигурационная энтропия и энтропия смешения.
8. Активности компонентов в однопозиционных и многопозиционных твердых растворах. Коэффициент активности. Неидеальные растворы и их функции смешения (энтропия, энтальпия, объем и энергия Гиббса).
9. Свободная энергия Гиббса и свободная энергия Гельмгольца. Связь этих функций с энтропией и объемом. Свободная энергия смешения компонентов в твердых растворах. Условия равновесия термодинамической системы.
10. Модели смешения неидеальных однопозиционных растворов. Ряды Гуттенхейма и Редлиха-Кистера. Простые смеси, симметричные и регулярные растворы, субрегулярные растворы. Общие свойства и условия преемственности моделей твердых растворов.
11. Объем кристаллических веществ и его зависимость от температуры и давления. Изотермический коэффициент сжатия и изобарический коэффициент термического расширения; связь этих параметров с теплоемкостью кристаллических веществ.
12. Методы экспериментального определения параметров смешения в твердых растворах по равновесиям на сольвусе (на примере регулярного раствора) и по равновесиям минерал-водный раствор.
13. Термодинамические свойства газов при высоких температурах и давлениях. Идеальный и реальные газы. Критические явления и понятие флюида. Фугитивность. Уравнения состояния реальных газов и принцип соответственных состояний.
14. Однопозиционные и многопозиционные растворы. Идеальные и взаимные многопозиционные растворы. Принцип кислотно-основного взаимодействия в твердых растворах. Причины неидеальности смешения компонентов в многопозиционных твердых растворах.
15. Расчет реакций с участием газовых компонентов и их смесей. Особенности реакций дегидратации/гидратации и декарбонатизации/карбонатизации при высоких температурах и давлениях.

16. Симметричные и регулярные растворы. Примеры таких растворов. Экспериментальные способы расчета избыточных функций смешения для регулярных растворов. Распространение модели симметричных бинарных растворов на трехкомпонентные растворы и условия преемственности между этими моделями.
17. Термодинамические базы данных для минералогии и принципы их построения.
18. Субрегулярные растворы. Примеры таких растворов. Распространение модели субрегулярных бинарных растворов на трехкомпонентные растворы и условия преемственности между этими моделями.
19. Расчет линии реакции в Р-Т координатах и уравнение Клаузиуса-Клайперона. Расчет реакций с участием газовых компонентов и фаз переменного состава. Константа реакции и ее зависимость от температуры и давления. Обменные и смещенные равновесия.
20. Неидеальные твердые растворы. Основные причины появления неидеальности смешения компонентов в однопозиционных и многопозиционных твердых растворах. Избыточные энтальпия и объем смешения и их связи между собой. Упорядочение твердых растворов и влияние этого процесса на энтальпию смешения.
21. Процессы упорядочения/разупорядочения в каркасных силикатах (на примерах К-Na полевых шпатов, плагиоклазов и кордиерита) и связанные с ними фазовые переходы. Термодинамика смешения в твердых растворах щелочных полевых шпатов, плагиоклазов и кордиерита.
22. Кордиерит. Особенности структуры минерала. Распределение H₂O и CO₂ между кордиеритом и флюидом. Влияние флюидонасыщенности кордиерита на пределы его стабильности.
23. Нефелин и кальсилит. Особенности структуры и изоморфизма в этих минералах. Термодинамика смешения твердых растворов.
24. Диоктаэдрические слюды: структура, особенности изоморфизма, термодинамика твердых растворов. Влияние состава диоктаэдрических слюд на их стабильность.
25. Биотиты как многопозиционные взаимные растворы. Главные типы изоморфизма в твердом растворе биотитов и их влияние на пределы стабильности этих минералов в зависимости от температуры, давления, активности воды и щелочей во флюидах.
26. Амфиболы. Классификация амфиболов по составу. Основные типы изоморфизма и распределение изоморфных компонентов в амфиболах в связи с особенностями их структуры. Взаимосвязи между различными группами амфиболов.
27. Хлориты. Отличия структуры хлоритов от структуры слюд. Хлориты как многопозиционные растворы и особенности смешения компонентов в этих растворах. Стабильность хлоритов.
28. Пироксены. Классификация пироксенов по составу и структуре. Основные типы изоморфизма и распределение изоморфных компонентов в пироксенах. Главные ряды твердых растворов орто- и клинопироксенов. Полиморфизм пироксенов при высоких давлениях.
29. Гранаты. Особенности структуры граната. Главные миналы твердого раствора. Термодинамические свойства смешения в твердом растворе граната и закономерности их изменения в рядах пироп-альмандин-спессартин-гроссуляр. Пределы стабильности и главные парагенезисы гранатов.
30. Оливин. Особенности структуры и распределение изоморфных компонентов в оливинах. Термодинамика твердого раствора оливина. Полиморфизм оливина при высоких давлениях.

Шкала и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине.

Результаты Обучения	«Неудовлетворительно»	«Удовлетворительно»	«Хорошо»	«Отлично»
Знания: главных законов, понятий и определений химической термодинамики фаз постоянного состава; моделей смещения компонентов в твердых растворах; особенностей состава, структуры и термодинамических свойств главных породообразующих минералов - твердых растворов; методов расчета и оценки термодинамических параметров с использованием экспериментальных данных.	Знания отсутствуют	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Систематические знания
Умения: корректно применять базы термодинамических данных для вычисления парциальных и интегральных термодинамических свойств твердых растворов и их компонентов; записывать уравнения равновесий с участием фаз переменного	Умения отсутствуют	В целом успешное, но не систематическое умение, допускает неточности не принципиального характера	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение использовать физико-химические расчеты.	Успешное умение использовать физико-химические расчеты применительно к минеральным ассоциациям.

состава; рассчитывать (или оценивать) различные термодинамические параметры из уравнений равновесий и строить линии равновесий в координатах интенсивных параметров систем.				
Владения: базовыми методами термодинамических расчетов; методами расчета и оценки термодинамических параметров с использованием экспериментальных данных; некоторыми компьютерными программами для термодинамического моделирования минеральных твердых растворов и их равновесий.	Навыки владения методами термодинамических расчетов; оценки термодинамических параметров с использованием экспериментальных данных отсутствуют	Фрагментарное владение методиками, наличие отдельных навыков	В целом сформированные навыки использования методами термодинамических расчетов; оценки термодинамических параметров с использованием экспериментальных данных.	Свободное владение методами термодинамических расчетов.

8. Ресурсное обеспечение:

А) Перечень основной и дополнительной литературы.

- основная литература:

1. Перчук Л.Л., Рябчиков И.Д. Фазовое соответствие в минеральных системах. Москва: Недра, 1976.
2. Вуд Б., Фрейзер Д.. Основы термодинамики для геологов. Москва: Мир, 1981.
3. Аранович Л.Я. Минеральные равновесия многокомпонентных твердых растворов. Москва: Наука, 1991.

Б) Перечень программного обеспечения: Microsoft Office PowerPoint, Excel, программные комплексы TWQ и PERPLE_X

В) Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем: Базы термодинамических данных Holland, Powell, 2008; Berman, 1988.

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

http://serc.carleton.edu/research_education/equilibria/twq.html, <http://www.perplex.ethz.ch>

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

Д) Материально-техническое обеспечение:

а) помещение – аудитория, рассчитанная на группу из 10 учащихся;

б) оборудование – мультимедийный проектор, компьютер, экран, выход в Интернет.

9. Язык преподавания – русский.

10. Преподаватель (преподаватели) – Сафонов О.Г.

11. Разработчик программы – проф. Сафонов О.Г.