

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

**УТВЕРЖДАЮ**

**Декан Геологического факультета  
академик**

\_\_\_\_\_/Д.Ю.Пушаровский/

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 г.

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Теория фазового соответствия**

Авторы-составители: Перчук А.Л., Сафонов О.Г.

**Уровень высшего образования:**

*Магистратура*

**Направление подготовки:**

**05.04.01 Геология**

**Направленность (профиль)**

**ОПОП: Петрология**

Форма обучения:

*Очная*

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

Москва 2019

---

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, магистратуры, реализуемых последовательно по схеме интегрированной подготовки*) в редакции приказа МГУ от 30 декабря 2016 г № 1674.

Год (годы) приема на обучение – 2019.

© 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 "Теория фазового соответствия" является приобретение знаний о теоретических основах минералогической термобарометрии и использовании этого метода для восстановления термодинамических условий образования (температуры, давления, активностей летучих компонентов) и эволюции метаморфических и магматических горных пород.

**Задачи** - освоение студентами термодинамики минеральных равновесий, расчет диаграмм фазового соответствия, вывод общего принципа фазового соответствия и ознакомление с возможностями его использования для создания и совершенствования минералогических термометров и барометров.

**1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО** – вариативная часть, профессиональный блок, обязательная дисциплина, курс – I, семестр – 1.

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

Дисциплина «Теория фазового соответствия» тесно связана с многими дисциплинами и курсами, читаемыми студентам в течение 1-4 годов обучения. Наиболее тесно дисциплина «Теория фазового соответствия» связана с такими общенаучными курсами как «Неорганическая химия» и «Физическая химия». Среди дисциплин профильной подготовки использует навыки и знания, полученные из дисциплин «Петрология», «Основы физической геохимии», «Кристаллография и кристаллохимия», «Минералогия», «Экспериментальная и техническая петрология» и «Основы математического моделирования в петрологии» и «Локальные методы исследования вещества». «Теория фазового соответствия» является историческим и логическим продолжением курса «Термодинамика породобразующих минералов». Знания и навыки, полученные при освоении дисциплины «Теория фазового соответствия», необходимы для освоения дисциплины "Формации метаморфических пород", некоторых курсов по выбору, а также для выполнения магистерских дипломных работ и написания статей в научные журналы.

### **3. Результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников.**

Компетенции выпускников, формируемые (полностью или частично) при реализации дисциплины:

ОПК-4.М: Способность применять на практике знания фундаментальных и прикладных разделов дисциплин, определяющих профиль подготовки.

СПК-4.М Способность использовать различные типы петрологических и петрохимических диаграмм для решения научных и практических петрологических задач.

СПК-5.М: Способность использовать методы минералогической термометрии и барометрии для реконструкции параметров петрологических процессов.

### **Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю):**

**Знать:** теорию и общий принцип фазового соответствия; основные типы минеральных равновесий, используемых в качестве минералогических термометров и барометров; основные тренды эволюции термодинамических параметров метаморфизма, отражающих различные геотектонические процессы.

**Уметь:** использовать термодинамические потенциалы для расчета диаграмм фазового соответствия, выводить общий принцип фазового соответствия, выполнять калибровки и использовать минералогические термометры и барометры.

**Владеть:** методами минералогической термометрии и барометрии; методами реконструкции эволюции термодинамических параметров метаморфизма; принципами построения диаграмм фазового соответствия.

### **4. Формат обучения** – лекционные занятия

**5. Объем дисциплины (модуля)** составляет **3** з.е., в том числе **28** академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (занятия лекционного типа), **80** академических часа 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

**Краткое содержание дисциплины (аннотация):**

Дисциплина «Теория фазового соответствия» для магистрантов 1 года обучения кафедры петрологии и вулканологии Геологического факультета МГУ направлена на приобретение знаний о теоретических основах минералогической термобарометрии и грамотном использовании этого метода для восстановления термодинамических условий образования (температуры, давления, активностей летучих компонентов) и эволюции метаморфических и магматических горных пород. Наряду с изложением основ расчета диаграмм фазового соответствия, данный курс открывает перед студентами возможности создания новых термометров, барометров, показателей режима  $H_2O$ ,  $CO_2$ , F, Cl и т. п..

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),  Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе			Всего	Самостоятельная работа обучающегося, часы	
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, часы					
		Занятия лекционного типа	Занятия лабораторного	Занятия семинарского типа			Всего
Раздел 1. Межфазовое распределение компонентов		2			2	5	
Раздел 2. Обменные минеральные равновесия		2			2	5	
Раздел 3. Соли поликремниевых кислот		2			2	5	
Раздел 4. Закономерности распределения компонентов между минералами		2			2	5	
Раздел 5. Принцип фазового соответствия		2			2	5	
Раздел 6. Смещенные минеральные равновесия		2			2	5	
Раздел 7. Двуполевошпатовая геотермометрия.		2			2	5	
Раздел 8. Нефелин-полевошпатовый и магнетит-ильменитовый геотермометры		2			2	5	
Раздел 9. Минералогические геотермометры с участием амфибола		2			2	5	
Раздел 10. Гранат-биотитовый и гранат-кордиеритовый геотермометры		2			2	5	
Раздел 11. Гранат-клинопироксеновый и гранат-ортопироксеновый геотермометры		2			2	5	
Раздел 12. Минералогическая барометрия		2			2	5	
Раздел 13. Термобарометрия на основе рассеянных элементов в минералах		2			2	5	
Раздел 14. Восстановление P-T трендов метаморфизма		2			2	5	
Промежуточная аттестация <i>экзамен</i>						10	
<b>Итого</b>	<b>108</b>				<b>28</b>	<b>80</b>	

## **Содержание разделов дисциплины:**

### 1. Межфазовое распределение компонентов

Введение. Коэффициент распределения и диаграммы фазового соответствия.

### 2. Обменные минеральные равновесия

Температурная зависимость коэффициента распределения в идеальном растворе. Коэффициент для идеального и неидеального распределения компонентов.

### 3. Соли поликремниевых кислот

Температурная зависимость коэффициента распределения при наличии фазовых переходов. Законы Коновалова и расчетные методы вывода диаграмм фазового соответствия.

### 4. Закономерности распределения компонентов между минералами

Общие закономерности распределения компонентов между сосуществующими минералами и основные причины возникновения зональности в минералах. Сравнительная сила кислотных и основных компонентов.

### 5. Принцип фазового соответствия

Сравнительная сила кремнекислотных радикалов и принцип фазового соответствия. Систематизация силикатов на основе химического, кристаллохимического признаков и сингонии.

### 6. Двуполевошпатовая геотермометрия

Фазовое соответствие Fe-Mg минералов и эффекты перераспределения Fe и Mg между силикатами. Системы плагиоклаз-щелочной полевой шпат и нефелин-полевой шпат.

### 7. Нефелин-полевошпатовый и магнетит-ильменитовый геотермометры

Магнетит-ильменитовый термометр. Его применение. Фазовое соответствие Fe-Mg-минералов и вывод системы термодинамически взаимосогласованных термометров. Амфибол – плагиоклазовый термометр. Номенклатура моноклинных амфиболов. Номенклатура амфиболов Л.Л. Перчука. Диаграмма фазового соответствия «амфибол-плагиоклаз». Амфибол-плагиоклазовый термометр. Эмпирическая калибровка мономинерального термобарометра. Амфибол-гранатовый термометр. Поля стабильности амфиболов. Амфибол-клинопироксеновый термометр. Амфибол-ортопироксеновый термометр.

### 8. Минералогические геотермометры с участием амфибола

Вывод и использование минералогических термометров с участием граната, амфибола, биотита и плагиокалаза.

### 9. Гранат-биотитовый и гранат-кордиеритовый геотермометры

Вывод и использование минералогических термометров с участием граната, клино- и ортопироксена.

### 10. Гранат-клинопироксеновый и гранат-ортопироксеновый геотермометры

Особенности смещенных равновесий с участием граната и ортопироксена, плагиокалаза, пироксена и кварца, их использование в термобарометрии.

### 11. Минералогическая барометрия

Минеральные равновесия с участием летучих компонентов – воды, углекислого газа и кислорода.

### 12. Минералогическая барометрия

Современные сенсоры температуры и давления, основанные на содержаниях рассеянных элементов в гранате и пироксенах, а также на основе изотопной геотермометрии.

### 13. Термобарометрия на основе рассеянных элементов в минералах

Химическая зональность в минералах и ее использования в восстановлении термодинамический условий образования пород.

### 14. Восстановление P-T трендов метаморфизма

P-T тренды метаморфизма и их применение при геодинамическом моделировании.

### **Рекомендуемые образовательные технологии:**

В курсе «Теория фазового соответствия» используются образовательные технологии полного усвоения, т.е. построение учебного процесса так, чтобы подвести всех учащихся к единому, чётко заданному уровню овладения знаниями и умениями. В качестве формы контроля знаний применяются проверочные и контрольные работы. Важным элементом преподавания дисциплины являются презентации и доклады учащихся на основе дополнительных материалов (статей, книг), совместный разбор ошибок при выполнении задач и контрольных работ. Для решения поставленных задач учащиеся могут использовать компьютерные программы, как общего назначения, так и специализированные. 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.**

Для текущего контроля успеваемости студентов в ходе семестра проводятся контрольные опросы и работы.

#### ***Примерный перечень вопросов для проведения текущего контроля/ Темы контрольных работ:***

1. Теоретические задания на усвоение закона Нернста (закона идеального перераспределения) и свойств диаграмм фазового соответствия.
2. Задание на расчет энтальпийного и энтропийного эффектов и построение диаграммы фазового соответствия для Fe-Mg обменного равновесия между гранатом и биотитом (кордиеритом) в случае идеального распределения компонентов между сосуществующими фазами с использованием экспериментальных данных.
3. Задание на расчет энтальпийного и энтропийного эффектов и построение диаграммы фазового соответствия для Fe-Mg обменного равновесия между гранатом и оливином (ортопироксеном) в случае неидеального распределения компонентов между сосуществующими фазами с использованием экспериментальных данных.
4. Теоретические задания на усвоение общего принципа фазового соответствия.
5. Определение температуры из уравнения гранат-биотитового равновесия с учетом вхождения фтора в биотит.
6. Определение температуры и соотношения активностей щелочей во флюиде для чарнокитовой ассоциации с использованием обменных равновесий ортопироксен-биотит и щелочной полевой шпат - флюид.
7. Определение температуры и фугитивности кислорода для ассоциации гранат-ортопироксен-магнетит-кварц.
8. Определение и расчет независимых реакций в системе FeO-MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>.
9. T-X диаграммы для ассоциации гранат-кордиерит-силлиманит-кварц в системе FeO-MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>.
10. Изоплеты равной магнезиальности кордиерита и граната в P-T координатах для ассоциации гранат-кордиерит-силлиманит-кварц.
11. Температуры и давления на основе смещенных равновесий в системе мусковит-парагонит-гранат-биотит-силлиманит-кварц.
12. Температуры и активности воды для ассоциации ортопироксен-биотит-калиевый полевой шпат-кварц.

13. Температуры, давления и активности воды для ассоциации гранат-биотит-калиевый полевой шпат-силлиманит-кварц.
14. P-T параметры минеральных равновесий с использованием компьютерных программ GEOPATH и TWQ.

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

*Примерный перечень вопросов при промежуточной аттестации:*

1. Коэффициент распределения компонентов между сосуществующими минералами переменного состава. Зависимость коэффициента распределения от температуры и давления.
2. Правило Соболева-Рамберга. Оценки сравнительной силы кислотных и основных компонентов.
3. Общий принцип фазового соответствия.
4. Главнейшие диаграммы фазового соответствия: методы их вывода и относительная точность
5. Межфазовое распределение компонентов: основные уравнения, два типа равновесий, влияние состава фаз на изотермическое распределение.
6. Методы расчета диаграмм фазового соответствия.
7. Коэффициент распределения: зависимость от T,P и состава фаз.
8. Петрологическое приложение теории фазового соответствия. 1. Смещенное равновесие и диаграммы PX и TX. Коэффициент разделения и его зависимость от T и P.
9. Кислотные и основные свойства компонентов. Общий принцип фазового соответствия.
10. Зональность сосуществующих минералов и геотермобарометрия.
11. P-T тренды эволюции метаморфических комплексов и методы геодинамического моделирования.

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

Результаты обучения	«Неудовлетворительно»	«Удовлетворительно»	«Хорошо»	«Отлично»
Знания: теория и общий принцип фазового соответствия; основные типы минеральных равновесий, используемых в качестве минералогических термометров и барометров; основные тренды эволюции термодинамических параметров метаморфизма, отражающих различные геотектонические процессы.	Знания отсутствуют	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Систематические знания



<p>Умения: использовать термодинамические потенциалы для расчета диаграмм фазового соответствия, выводить общий принцип фазового соответствия, выполнять калибровки и использовать минералогические термометры и барометры</p>	<p>Умения отсутствуют</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое умение, допускает неточности не принципиального характера</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умения использовать термодинамические потенциалы для расчета диаграмм фазового соответствия, выводить общий принцип фазового соответствия, выполнять калибровки и использовать минералогические термометры и барометры.</p>	<p>Успешное умение использовать термодинамические потенциалы для расчета диаграмм фазового соответствия, выводить общий принцип фазового соответствия, выполнять калибровки и использовать минералогические термометры и барометры.</p>
<p>Владения: методами минералогической термометрии и барометрии; методами реконструкции эволюции термодинамических параметров метаморфизма; принципами построения диаграмм фазового соответствия.</p>	<p>Навыки владения методами минералогической термометрии и барометрии отсутствуют</p>	<p>Фрагментарное владение методикой, наличие отдельных навыков</p>	<p>В целом сформированные навыки использования минералогической термометрии и барометрии; методами реконструкции эволюции термодинамических параметров метаморфизма; принципами построения диаграмм фазового соответствия.</p>	<p>Владение минералогической термометрией и барометрией; методами реконструкции и эволюции термодинамических параметров метаморфизма; принципами построения диаграмм фазового соответствия.</p>

## 8. Ресурсное обеспечение:

### Перечень основной и дополнительной литературы.

#### - основная литература:

Перчук Л.Л., Рябчиков И.Д. Фазовое соответствие в минеральных системах. Москва: Недра, 1976.

Перчука Л.Л. "Теория фазового соответствия" курс лекций <http://geo.web.ru/~serg/Perchuk/>  
Вуд Б., Фрейзер Д.. Основы термодинамики для геологов. Москва: Мир, 1981.

Аранович Л.Я. Минеральные равновесия многокомпонентных твердых растворов. Москва: Наука, 1991.

**- дополнительная литература:**

Перчук А.Л., Сафонов О.Г., Сазонова Л.В., Тихомиров П.Л., Плечов П.Ю., Шур М.Ю. Основы петрологии магматических и метаморфических процессов. Учебное пособие. ООО ИД "КДУ" Москва. 2015. 472 с.

Перчук А. Л., Сафонов О.Г., Плечов П.Ю. Введение в петрологию. Учеб. пособие. М: ИНФРА-М. 2014. 130 с..

Материально-технического обеспечение: - персональные компьютеры.

9. Язык преподавания – русский.

10. Преподаватель (преподаватели) – Перчук А.Л.

11. Автор (авторы) программы – Перчук А.Л., Сафонов О.Г.