

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

**УТВЕРЖДАЮ**

Декан Геологического факультета  
академик

\_\_\_\_\_ /Д.Ю.Пущаровский  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Кристалломорфология минералов»**

Автор-составитель: Копорулина Е.В.

**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 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 приема на обучение – 2017.

## Цель и задачи дисциплины

*Целью* освоения дисциплины «Кристалломорфология минералов» является получение студентами знаний о внешней форме кристаллических индивидов в зависимости от их структуры и условий формирования, а также способах изучения макро- и морфологии кристаллов. Курс предоставляет возможность знакомства с современными проблемами и достижениями в сфере морфологогенетического анализа кристаллов и методами исследования кристалломорфологии, необходимыми в дальнейшем для понимания специальной литературы и самостоятельных научных исследований.

### *Задачи дисциплины:*

- краткий обзор основополагающих теорий зарождения и роста кристаллов
- анализ форм кристаллических многогранников как отражения их внутреннего строения и физико-химических параметров образования;
- знакомство с методами исследования макро- и микроморфологии кристаллов (гонометрия, оптическая, растровая электронная и сканирующая зондовая микроскопия) и особенностями пробоподготовки;
- получение практических навыков обработки и использования результатов кристалломорфологических исследований и компьютерного моделирования идеальных и реальных кристаллических форм

**1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО** вариативная часть, профессиональный цикл, обязательные профессиональные дисциплины, курс – III, семестр V.

**2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия:** освоение дисциплин «Кристаллография», «Кристаллохимия», «Рентгеноструктурный анализ», «Минералогия».

**3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников.**

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

ОПК-3.Б Способность решать стандартные задачи профессиональной деятельности в соответствии с профилем подготовки (формируется частично);

ПК-2.Б Способность использовать знание теоретических основ фундаментальных геологических дисциплин при решении научно-исследовательских задач профессиональной деятельности (формируется частично).

ПК-5.Б Способность применять на практике методы сбора, обработки, анализа и обобщения геологической информации (формируется частично).

СПК-1.Б Способность к поиску, критическому анализу, обобщению и систематизации научной информации в области наук геохимического цикла

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

**Знать:** основные положения теорий зарождения и роста кристаллов; законы Стенона, Гаюи и Браве-Кюри-Вульфа; типы кристаллических дефектов; понятия «ретикулярная плотность» граней, «огранка» и «габитус»; отличия физически возможной, идеальной и реальной кристаллических форм; факторы, оказывающие влияние на морфологическую устойчивость граней; условия образования скелетных, дендритных, нитевидных, округлых и др. индивидов; причины формирования и типы двойников; методологию работы с сеткой Вульфа и построения сферических, стереографических и гномостереографических проекций; принципы действия отражательного гониометра, оптических, растровых электронных и сканирующих зондовых микроскопов.

**уметь:** выявлять и анализировать характерные черты макро- и микроморфологии реальных кристаллов для дальнейших генетических выводов и реконструкций; выбирать и грамотно использовать современные методы изучения морфологии в зависимости от задачи и

уровня исследования (макро-, микро- или нанообъекты); решать кристаллографические задачи с помощью сетки Вульфа.

**владеть:** терминологией описания кристаллических индивидов; приемами обработки результатов гониометрических и микроскопических измерений и построения проекций кристаллов с помощью сетки Вульф и программ Kristall2000 для моделирования форм кристаллов; способами подготовки образцов для морфологических исследований.

**4. Формат обучения:** лекционные и семинарские занятия

**5. Объем дисциплины (модуля)** составляет 4 зачетные единицы, 144 часа, 2 часа в неделю, в том числе 32 академических часа, отведенные на контактную работу обучающихся с преподавателем (16 часов – занятия лекционного типа, 16 часов – занятия семинарского типа, 8 часов – мероприятия текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации), 42 академических часа на самостоятельную работу обучающихся. (с проведением мероприятий текущего контроля), 112 академических часов, отведенных 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)**

В рамках курса анализируются основные черты строения и морфологии идеальных и реальных кристаллов в зависимости от структурных особенностей и условий формирования. Рассматриваются формы роста реальных кристаллов (гранные, реберные, вершинные разновидности и др.) и возможные причины изменения кристаллических форм. Дается сравнительная характеристика современных методов исследования микро- и макроморфологии кристаллов (гониометрия, оптическая, растровая и сканирующая зондовая микроскопии) и формулируются основные критерии выбора способа изучения. Студенты получают информацию об особенностях пробоподготовки для каждого из методов исследования, а также навыки практической работы с реальными кристаллами, грамотного описания их внешней формы и особенностей.

Распределение трудоемкости дисциплины по разделам и темам, а также видам учебной работы (формам проведения занятий) с указанием форм текущего контроля и промежуточной аттестации

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. Форма кристаллического многогранника как отражение его внутреннего строения		4		4	8	Построение моделей кристаллов с идеальным габитусом по структурным данным 6 часов Подготовка и защита рефератов 10 часов Полное описание кристаллов 32 классов симметрии по плану 16 часов
Раздел 2. Формы роста реальных кристаллов		6		4 Устный опрос	8	Построение моделей, соответствующих реальным кристаллам минералов и синтетических соединений 4 часа Подготовка к устному опросу 4 часов

Раздел 3. Методы исследования морфологии		6		8 Письменный опрос	16	Обработка результатов гониометрических измерений, 2 кристалла, 12 часов Построение изображений кристалла по данным гониометрических измерений, 2 образца, 10 часов Подготовка к устному опросу 6 часов Подготовка и защита рефератов 8 часов Отбор и подготовка образцов для электронной и сканирующей зондовой микроскопии 10 часов Обработка данных сканирующей зондовой микроскопии (серия образцов) – 10 часов
						Подготовка к контрольному опросу, 10 часов
Промежуточная аттестация <i>экзамен</i>						6
<b>Итого</b>	<b>144</b>			<b>32</b>		<b>112</b>

## **Содержание разделов дисциплины:**

### 1. Форма кристаллического многогранника как отражение его внутреннего строения. Морфологическая устойчивость граней кристалла.

Основы теорий роста кристаллов. Кристалл Косселя; метод средних работ отрыва Странского и Каишева; молекулярно-кинетическая теория. Физически возможная и равновесная формы кристаллов, их связь со структурой вещества и способы оценки; ретикулярная плотность, правило Браве, поправки Доннэ-Харкера и Нигли, уравнение Гиббса-Томсона-Херринга и соотношение Гиббса-Кюри-Вульфа; гранные, вершинные и реберные формы, положительные и отрицательные кристаллы; облик и габитус кристаллов, морфологическая устойчивость граней, влияние внешних условий на огранку и габитус, принцип Кюри.

### 2. Формы роста реальных кристаллов. Типоморфизм минералов

Эволюция форм в процессе роста кристаллических индивидов, условия перехода полиэдрических форма к дендритным и скелетным. Типы кристаллических дефектов, неравномерность развития граней в связи с дефектностью кристаллов. Влияние примесей на форму кристалла, физическая и химическая адсорбция, зонарное и секториальное строение кристаллических многогранников; расщепление кристаллов и гетерометрия, образование сферолитов и сферокристаллов. Генезис кристаллических агрегатов, ортотропизм и ритмический рост, друзы и щетки, основные принципы геометрического отбора, типы двойников и условия их образования; механизмы формирования псевдоморфоз. Скульптура граней как индикатор смены условий кристаллизации (комбинационная штриховка, холмики роста, вичинали, линии слоев роста, выходы блоков и двойников и др.), типоморфные признаки минералов.

### 3. Методы исследования морфологии кристаллов и пробоподготовка: гониометрия, оптическая микроскопия, сканирующая электронная микроскопия, сканирующая зондовая микроскопия.

Сравнительная характеристика различных методов макро- и микроскопического исследования кристаллических многогранников с точки зрения достигаемых разрешений (размерности исследуемых объектов), рабочей среды и степени воздействия на образец. Гониометрия – первый инструментальный метод изучения внешней формы кристаллов; прикладной и отражательный гониометры; правила отбора образцов, обработка данных гониометрических измерений; использование сетки Вульфа для построения проекций кристаллов и решения морфометрических задач. Оптическая микроскопия, формирование оптического изображения, монокулярное и бинокулярное наблюдение, исследование образцов в проходящем и отраженном свете. Принцип формирования изображения в растровом электронном микроскопе, его разрешение, основные типы регистрируемых сигналов; анализ изображений, полученных во вторичных и отраженных электронах; основы микро-рентгеноспектрального анализа в микроскопах с энергодисперсионным спектрометром и методика расчета формул соединения по полученным данным; способы пробоподготовки образцов для исследования в растровом электронном микроскопе: полировка поверхности, напыление проводящего покрытия, использование проводящих подложек и др. Общие принципы работы сканирующего зондового микроскопа; сканирующая туннельная и атомно-силовая микроскопия; разрешающая способность атомно-силового и туннельного микроскопа; основные методики атомно-силовой микроскопии: контактная, бесконтактная и полуконтактная; источники искажений изображения в атомно-силовой микроскопии.

## **Содержание семинаров.**

На семинарских занятиях в рамках I-го раздела курса кратко суммируются основные факторы, определяющие идеальный кристаллический габитус, заслушиваются рефераты по соответствующей тематике и разбирается типовая задача по расчету теоретического габитуса кристаллов с учетом различных поправок.

На семинарских занятиях II-раздела рассматриваются различные формы кристаллов минералов в связи с их условиями образования. Заслушиваются рефераты по соответствующей тематике. Студенты получают навык работы программы по визуализации форм кристаллов. В конце раздела II – устный опрос (1 час).

Семинары III-го раздела курса посвящены приобретению навыков пробоподготовки (3 часа), обработки данных гониометрических измерений, результатов электронной и сканирующей зондовой микроскопии (6 часов). В конце раздела контрольный письменный опрос (1 час)

### **Рекомендуемые образовательные технологии**

При освоении дисциплины «Кристалломорфология» предусматривается широкое использование активных и интерактивных форм проведения занятий. Учащиеся знакомятся с современными методами изучения кристаллического вещества на макро- и микроуровне. По результатам внеаудиторной работы (работа с литературными источниками, ресурсами Интернет, базами данных) студенты под руководством преподавателя выполняют домашние задания по основным разделам дисциплины и защищают их на семинарах. Материал отдельных разделов курса закрепляется посредством самостоятельного составления рефератов, обсуждаемых на практических занятиях. Удельный вес лекций и практических занятий составляет 50% и 50% аудиторных занятий соответственно.

**При чтении лекций** для наглядного представления излагаемого материала используются интерактивные презентации, модели кристаллических многогранников и структур, а также образцы природных и синтетических кристаллов из коллекции кафедры кристаллографии и кристаллохимии.

**На практических занятиях** рассматриваются кристаллографические и кристалломорфологические задачи, имеющие практическую значимость. Анализируются результаты гониометрических и микроскопических исследований реальных кристаллов.

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

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

Для текущего контроля успеваемости студентов курсу «Кристалломорфология» используются такие формы, как заслушивание, обсуждение и оценка реферата, собеседование при приеме результатов самостоятельной работы с оценкой. По итогам обучения проводится экзамен.

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

1. Основы теорий роста кристаллов.
2. Кристалл Коссея; метод средних работ отрыва Странского и Каишева; молекулярно-кинетическая теория.
3. Типоморфные признаки кристаллов.
4. Формы роста кристаллов: скелетные, дендритные, нитевидные, радиально-лучистые и др; псевдоморфозы и параморфозы. Условия их образования.
5. Факторы, определяющие внешний облик кристаллов.
6. Зависимость внешней формы кристаллов от симметрии кристаллообразующей среды. Принцип Кюри.
7. Дефекты в кристаллах, их классификация, влияние на рост, морфологию и физические свойства.
8. Сферические, стереографические и гномостереографические проекции кристаллов, методика их построения.
9. Правила работы с сеткой Вульфа.
10. Рассчитать сферические координаты единичной грани кристалла (на выбор студента) по известным параметрам ячейки  $a, b, c, \alpha, \beta, \gamma$



11. Способы расчета состава соединения по данным микрорентгеноспектрального анализа (МРСА)
12. Расчет состава соединения по данным МРСА
13. Расчет параметров поверхности по данным атомно-силовой микроскопии

#### **Домашние задания для самостоятельной подготовки студентов**

1. Дать полное описание кристаллов, принадлежащих к 32 классам симметрии
2. Используя закон Браве, расположить в порядке морфологической значимости простые формы, участвующие в огранке кристалла одного из минералов (из списка преподавателя). Провести аналогичные расчеты с учетом поправок Доннэ-Харкера и Нигли.
3. Построить гномостереографические проекции граней, заданных сферическими координатами  $\varphi$  и  $\rho$ . Построить их стереографические проекции. Определить угол между гранями и сферические координаты ребра пересечения граней
4. Построить по гониометрическим данным стереограмму кристалла и определить его симметрию.
5. Построить стереографическую и гномостереографическую проекции ребер по заданным координатам  $\varphi$  и  $\rho$ . Определить сферические координаты грани, которой принадлежат эти ребра.
6. Рассчитать сферические координаты единичной грани ортоклаза  $K[AlSi_3O_8]$  по известным параметрам ячейки:  $a = 8.98 \text{ \AA}$ ,  $b = 5.64$ ,  $c = 10.22 \text{ \AA}$ ,  $\beta = 115.50^\circ$
7. Рассчитать сферические координаты единичной грани эпидота  $Ca_2(Al,Fe)Al_2O[Si_2O_7](OH)$  по известным параметрам ячейки:  $a = 8.98 \text{ \AA}$ ,  $b = 5.64$ ,  $c = 10.22 \text{ \AA}$ ,  $\beta = 115.50$
8. Используя метод развития зон определить положения граней ромбического (кубического, тетрагонального) кристалла.
9. Провести статистическую обработку результатов гониометрических измерений топаза (бирилла, кварца)
10. Описать и проанализировать морфологические особенности фрагментов граней кристалла по данным растровой электронной микроскопии.
11. Рассчитать формулу минерала (синтетического соединения) по данным микрорентгеноспектрального анализа

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

1. Правило Гиббса-Кюри-Вульфа. Особенности развития атомно-гладких и атомно-шероховатых граней кристалла. Дислокационный рост кристаллов.
2. Штриховка и фигуры растворения в связи с симметрией граней. Причины их возникновения.
3. Влияние ретикулярной плотности граней на скорости роста. Закон Браве, поправки Доннэ-Харкера и Нигли.
4. Сrostки кристаллов: закономерные и неzaкономерные; принцип геометрического отбора; эпитакические и двойниковые срастания.
5. Типы кристаллических двойников. Причины образования.
6. Графическое определение символов граней кристаллов (метод развития зон)
7. Геометрические константы кристаллов.
8. Метод расчета геометрических констант кристалла по сферическим координатам.
9. Этапы обработки данных гониометрических измерений.
10. Взаимосвязь сферических координат и символов граней кристалла с параметрами элементарной ячейки
11. Использование декорирования и травления поверхностей для выявления особенностей микроморфологии.

12. Принцип формирования изображения в растровых электронных микроскопах.
13. Основные типы сигналов, регистрируемых в растровых электронных микроскопах
14. Информационная нагрузка изображений, получаемых в различных режимах работы растровых электронных микроскопов.
15. Способы подготовки образцов для растровой электронной микроскопии и артефакты, связанные с ней.
16. Возможности и основные методики сканирующей зондовой микроскопии
17. Формирование сканирующем зондовом микроскопе. Обработка и анализ изображений.
18. С помощью программ WinShape (ver.7.2) и Kristall2000 построить изображение теоретически возможного габитуса одного из кристаллических соединений. Внести необходимые поправки для получения чертежа реального образца.

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

Результаты обучения	«Неудовлетворительно»	«Удовлетворительно»	«Хорошо»	«Отлично»
Знания: факторов, определяющих идеальный габитус кристаллов, и причин отклонения его от идеальности.	Знания отсутствуют	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Систематические знания
Умения: выявлять и анализировать макро- и микроморфологические особенности реальных кристаллов устанавливать связи с условиями образования кристаллического индивида	Умения отсутствуют	В целом успешное, но не систематическое умение, студент допускает неточности непринципиального характера	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы	Успешное умение использовать морфолого-генетический анализ
Владения: методами построения изображений идеальных и реальных форм кристаллов, методами обработки данных гониометрических и микроскопических измерений	Навыки отсутствуют	Фрагментарное владение методикой, наличие отдельных навыков	В целом, навыки построения изображений кристаллов и анализа данных гониометрических и микроскопических измерений сформированы	Владение методами построения изображений реальных кристаллов и методами обработки данных гониометрических и микроскопических измерений для решения генетических задач.

## 8. Ресурсное обеспечение

### Перечень основной и дополнительной литературы:

#### - основная литература

1. Жабин А.Г. Онтогенез минералов. Агрегаты. М.: Наука, 1979, 273 с.
2. Дорохова Г.И., Л.Н.Каплунник. Морфометрия кристаллов. М.: МГУ, 1986, 122 с.
3. Шафрановский И.И. Лекции по кристалломорфологии. М.: Высшая школа, 1968

#### - дополнительная литература

1. Краснова Н.И., Петров Т.Г. Генезис минеральных индивидов и агрегатов. С-Птб., «Невский курьер», 1997, 228 с.
2. Современная кристаллография. Т. 3. Образование кристаллов. М.: Наука, 1980, 430 с. Рид С.Дж.Б. Электронно-зондовый микроанализ и растровая электронная микроскопия в геологии. М.: Техносфера, 2008, 229 320 с.
3. Рид С.Дж.Б. Электронно-зондовый микроанализ и растровая электронная микроскопия в геологии. М.: Техносфера, 2008, 229 320 с.
4. Гликин А.Э. Полиминерально-метасоматический кристаллогенез. «Журнал “Нева”», 2004,
5. Григорьев Д.П. Онтогенез минералов. Изд-во Львовского университета, 1961, 280 с.
6. Брандон Д., Каплан У.. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля. М.: Техносфера, 2006, 384 с.
7. Костов И.. Кристаллография. М.: Мир, 1965, 528 с.
8. Мокиевский В.А.. Морфология кристаллов. Л.: Недра, 1983, 295 с.
9. Шафрановский И.И. Кристаллы минералов. Кривогранные, скелетные и зернистые формы. М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по геологии и охране недр, 1961, 330 с.

б) программное обеспечение и Интернет-ресурсы: Kristall2000 - программное обеспечение для визуализации форм кристаллов

в) перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

<http://database.iem.ac.ru/mincryst/> - база данных кристаллических структур МИНКРИСТ;

<http://www.mindat.org/> база данных минералов

д) Материально-техническое обеспечение дисциплины

Для проведения занятий: интерактивных лекций-визуализаций, презентаций рефератов на семинарах – используется LCD проектор. Для самостоятельной работы студентов используется компьютерный класс с выходом в Интернет, программное обеспечение для решения кристаллографических задач, библиотека геологического факультета МГУ. Для интерактивной самоподготовки используется компьютер с выходом в Интернет

**9. Язык преподавания – русский**

**10. Преподаватель – Копорулина Е.В.**

**11. Автор (авторы) программы Копорулина Е.В.**