

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профес-  
сионального образования

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Геологический факультет

**«Утверждаю»**

**декан Геологического факультета**

**академик Д.Ю. Пушаровский**

**«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019**

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Рост кристаллов»**

Авторы-составители:

профессор Леонюк Н.И.

***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.

## **Цели и задачи освоения дисциплины**

**Цели** дисциплины «Рост кристаллов» состоит в подготовке студентов-кристаллографов в области кристаллогенезиса и практического выращивания кристаллов.

### **Задачи** дисциплины

- преподавание студентам элементов теории зарождения, механизма и кинетики роста кристаллов;
- формирование представлений о теоретически возможных, равновесных и реализующихся в процессе роста формах кристаллов и влиянии условий кристаллизации на габитус, микро- и макроморфологию граней и внутреннюю однородность кристаллов;
- приобретение студентами знаний о кристаллообразовании в минералообразующих системах на основе экспериментальных исследований и теоретических концепций;
- знакомство с особенностями роста кристаллов из различных сред и критериями выбора методов их выращивания;
- развитие у студентов практических навыков работы с основной аппаратурой для роста кристаллов и исследования их морфологии;
- овладение физико-химическими основами выращивания монокристаллов.

**1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО** - вариативная часть, обязательные профессиональные дисциплины, курс III-IV, семестр 5,6,7

**2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия:** до начала освоения данной дисциплины необходимо освоение дисциплин «Физика», «Химия», «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-1.Б Способность осознавать социальную значимость своей будущей профессии, владение высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности

ПК-1.Б Способность самостоятельно осуществлять сбор геологической информации, использовать в научно-исследовательской деятельности навыки полевых/лабораторных исследований (в соответствии с профилем подготовки)

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

ПК-8.Б Готовность к работе на современных полевых/лабораторных приборах, установках и оборудовании в соответствии с профилем подготовки

ПК-15.Б Способность организовывать мероприятия, направленные на соблюдение правил по охране труда и контроль за соблюдением правил техники безопасности

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

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

**Знать:** основы теории зарождения и роста кристаллов, иметь представления об особенностях образования в природных системах монокристаллических минералов и методах выращивания монокристаллов в лабораторных и заводских условиях

**Уметь:** использовать углубленные специализированные профессиональные теоретические и практические знания для проведения научных фундаментальных и прикладных исследований, работать с аппаратурой для выращивания кристаллов и их первичной паспортизации

**Владеть:** современными методами обработки результатов эксперимента, а также свободно и творчески пользоваться ими для решения научных и практических задач.

**4. Формат обучения:**- лекционные, лабораторные и семинарские занятия

**5. Объем дисциплины (модуля)** составляет **8** зачетные единицы, в том числе 142 академических часа, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (**42** часов – занятия лекционного типа, **52** часа лабораторных работ, **48** часа – занятия семинарского типа, **146** часов на самостоятельную работу обучающихся. Форма промежуточной аттестации – зачет, экзамен

**6. Содержание дисциплины (модуля)**, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виду учебных занятий

#### **Краткое содержание дисциплины (аннотация)**

Предлагаемый курс отражает важнейшие положения теории зарождения и роста кристаллов, основные приемы их выращивания с учетом требований к составу, структуре, свойствам и внешней конфигурации, а также роль и место минералогических исследований в этой логической цепочке. Структура его определяется стремлением к последовательному изложению современных взглядов на кристаллизацию вещества и к оценке перспектив развития отдельных методов. Значительное место отведено элементам аппаратурного обеспечения технологических процессов. В нем освещены фундаментальные аспекты кристаллообразования и практика выращивания ряда функциональных монокристаллов

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	
Основы теории роста кристаллов		8		12	20	Устный опрос, защита и обсуждение рефератов и домашних заданий на семинарах и коллоквиумах. Зачет..
Классификация и общая характеристика методов выращивания кристаллов		6	18	12	36	Устный опрос, защита и обсуждение рефератов и домашних заданий на семинарах и коллоквиумах. Экзамен
Практика выращивания объемных монокристаллов		14	18	12	44	Устный опрос, защита и обсуждение рефератов и домашних заданий на семинарах и коллоквиумах..
Кристаллогенезис в природных системах и синтез минералов		14	16	12	42	Устный опрос, защита и обсуждение рефератов и домашних заданий на семинарах и коллоквиумах. Зачет
Промежуточная аттестация по итогам курса						Зачет – семестры 5 и 7 Экзамен – семестр 6
<b>Итого</b>	<b>288</b>			<b>142</b>		<b>146</b>

## Содержание дисциплины

### Раздел I ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ

#### **Физико-химические предпосылки**

Вводные термодинамические характеристики  
Основные типы вещества

- *Условия стабильности агрегатных состояний*
- *Газы*
- *Жидкости*
- *Кристаллические среды*
- *Промежуточные разновидности*

Фазовые соотношения

- *Равновесие фаз*
- *Диаграммы состояния*

Кристаллизация как фазовый переход

- *Фазовые превращения*
- *Поверхностная энергия*
- *Движущая сила кристаллизации*

#### **Формирование кристаллических зародышей**

Гомогенные среды

- *Работа зародышеобразования и энергия активации*
- *Флуктуационная природа и скорость нуклеации*
- *Геометрическая модель построения зародышей*
- *Особенности возникновения твердых фаз в парах и жидкостях*

Гетерогенные системы

- *Образование новых центров роста*
- *Двумерные зародыши*
- *Эпитаксиальные явления*

#### **Рост совершенных кри-**

**сталлов** Анизотропия  
поверхностной энергии  
Типы граней кристаллов

Структура межфазной  
границы Нормальный и  
последовательный рост  
Анизотропия скоростей кристаллизации

#### **Теоретическая форма кристаллических фаз**

Правило Бравэ

Поправки Доннея-Харкера и Ниггли  
Концепция ПЦС

Хартмана-Пердока

Другие подходы

- Работы Вульфа-Делоне

- Электронная плотность и огранка кристаллов

### **Равновесная форма кристаллов**

Правило Гиббса-Кюри-

Вульфа Соотношение

Гиббса-Томсона-

Херинга

Метод средних работ отрыва Странского-Каишева

### **Рост реальных кристаллов**

Классификация дефектов

Равновесное и неравновесное распределение примесей Концентрационное переохлаждение

Секториальное и зонарное строение кристаллов

Дислокации как предпосылки (источники/центры) послойного роста Двойники, дефекты упаковки, границы блоков, гетерогенные включения

### **Стабильность форм роста кристаллов**

Корреляция между теоретическими, равновесными и формами роста Условия перехода от многогранника к дендриту

Скелетные формы и сферолиты Нитевидные кристаллы Ортотропизм

Геометрический отбор

### **Диффузионные и поверхностные процессы**

Кинетический и диффузионный режим роста из расплава Стеклообразующие расплавы

Кристаллизация из подвижных и неподвижных растворов Вязкие растворы и гели

Специфика кристаллизации из газовой фазы Кристаллизационное давление

## **Раздел II ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ**

### **Основные методы выращивания кристаллов**

Критерии классификации

Выращивание монокристаллов из расплава

- *Физико-химические предпосылки*
- *Метод Вернейля*
- *Метод Чохральского*
- *Метод Киропулоса*
- *Метод Бриджмена-Стокбаргера*
- *Зонная плавка*
- *Горизонтальная направленная кристаллизация*

Рост кристаллов из растворов

- *Типы растворов*
- *Раствор-расплавная кристаллизация*
- *Гидротермальный синтез*
- *Рост кристаллов из низкотемпературных растворов*

Кристаллизация из газовой (паровой) фазы

- *Основные приемы*
- *Физическая конденсация*
- *Кристаллизация при химических реакциях*

Принципы выбора метода

### **Аппаратура и техника эксперимента**

Оборудование и материалы общего назначения  
Нагревательные устройства кристаллизационных установок  
Способы регулирования температуры

Приборы для контроля термических условий  
Системы для создания среды кристаллизации.

### **Практика выращивания «классических» объемных кристаллов**

#### ***Примеры кристаллизации из расплава***

Оксиды

- *Корунд*
- *Структурные аналоги граната*
- *«Перовскиты»*
- *Ниобаты и танталаты*
- *Хризоберилл*

Молибдаты, вольфраматы и ванадаты

- *Молибдат свинца*
- *Шеелит*
- *Вольфраматы трехвалентных элементов*
- *Редкоземельные ванадаты*

Силикаты и боросиликаты

- *Форстерит*



- Редкоземельные силикаты
- Эвлитин
- Аналоги стиллвеллита
- Галогениды
- Флюорит
- Кристаллы со структурой перовскита
- Хлориды и бромиды

#### **Выращивание кристаллов из растворов**

Дигидрофосфат калия

Иодат лития

Органические кристаллы

#### **Получение «элементарных» кристаллов и сплавов**

Технология кристаллизации кремния и германия

Альтернативные приемы выращивания функциональных монокристаллов

### **Раздел III КРИСТАЛЛОГЕНЕЗИС В ПРИРОДЕ И СИНТЕЗ МИНЕРАЛОВ**

#### **Эмпирическая база для интерпретации генезиса минералов. Образование монокристаллов в природных условиях**

Оксиды

- Кварц
- Корунд
- Гранаты, шпинель, хризоберилл

Другие минералы

- Алмаз
- Флюорит
- Исландский шпат
- Слюда
- Берилл

Гидротермальный синтез минералов

Кварц

Исландский шпат

Слюда

Берилл

#### **Синтез алмаза**

#### **Рекомендуемые образовательные технологии**

Предусматривается использование активных и интерактивных форм занятий. По результатам внеаудиторной работы с литературными источниками, ресурсами Интернета, базами данных студенты под руководством преподавателя выполняют домашние задания по дисциплине и защищают их на семинарах и коллоквиумах. Материал отдельных разделов курса закрепляется посредством самостоятельного составления рефератов, обсуждаемых на семинарских занятиях.

**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 домашних работ. Для текущего контроля студентов в ходе семестра проводятся контрольные работы.

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

1. Кристаллизация как фазовый переход.
2. Движущая сила кристаллизации и способы ее выражения.
3. Особенности кристаллообразования в парах и конденсированных средах.
4. Физически возможная и равновесная форма кристаллов и методы их оценки.
5. Диффузионные и поверхностные процессы.
6. Влияние дефектов на рост кристаллов.
7. Кристаллогенезис в природных системах.
8. Сравнительная характеристика методов выращивания кристаллов из расплава.
9. Основные тенденции развития методов выращивания кристаллов из растворов.
10. Типичные дефекты роста кристаллов и способы их минимизации.

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

формулируются в начале каждого учебного года по мере возникновения новых задач при выполнении научных исследований по госбюджетной тематике и конкурсным проектам, в которых участвуют студенты.

## **7.2. Вопросы и задания для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.**

1. Что такое поверхностная энергия ?
2. Какие способы существуют для выражения движущей силы кристаллизации ?
3. Чем отличается работа образования кристаллических зародышей в гомогенных и гетерогенных средах ?
4. Что такое двумерный зародыш ?
5. В чем суть нормального и послыоного механизма роста кристаллов ?
6. Что такое эпитаксиальный рост ?
7. В чем суть явления ортотропизма?
8. В чем заключаются геометрический отбор ?
9. Какова природа анизотропии поверхностной энергии ?
10. Что подразумевается под границей раздела между растущим кристаллом и кристаллизационной средой ?
11. Что такое физически возможная и равновесная форма кристалла ?
12. Каковы механизмы влияния примесей на форму роста кристаллов ?
13. Что такое скелетный и дендритный рост ? Каковы их причины ?
14. Каковы критерии выбора методов выращивания кристаллов ? На чем основана их классификация ?  
Какие дефекты типичны для кристаллов, выращиваемых различными методами?

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

Результаты обучения	«Неудовлетворительно»	«Удовлетворительно»	«Хорошо»	«Отлично»
Знания: основы теории зарождения и роста кристаллов, иметь представления об особенностях образования в природных системах монокристаллических минералов и методах выращивания монокристаллов в лабораторных и заводских условиях	Знания отсутствуют	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Систематические знания
Умения: использовать углубленные специализированные профессиональные теоретические и практические знания для проведения научных фундаментальных и прикладных исследований, работать с аппаратурой для выращивания кристаллов и их первичной паспортизации	Умения отсутствуют	В целом успешное, но не систематическое умение, студент допускает неточности непринципиального характера	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы	Успешное умение использовать углубленные специализированные профессиональные теоретические и практические знания для проведения научных фундаментальных и прикладных исследований, работать с аппаратурой для выращивания кристаллов и их первичной паспортизации
Владения: современными методами обработки результатов эксперимента, а также свободно и творчески пользоваться ими для решения научных и практических задач	Навыки отсутствуют	Фрагментарное владение современными методами обработки результатов эксперимента	В целом, навыки современными методами обработки результатов эксперимента сформированы	Успешное владение современными методами обработки результатов эксперимента, а также свободно и творчески пользоваться ими для решения

				научных и практических задач
--	--	--	--	------------------------------

## 8. Ресурсное обеспечение:

### а) Перечень основной и дополнительной литературы:

#### - основная литература

1. *Леонюк Н.И., Лютин В.И., Мальцев В.В.* Выращивание монокристаллов и моделирование процессов минералообразования. Учебное пособие. М: Изд. МГУ, 2005, 103 с.

2. *Леонюк Н.И., Копорулина Е.В., Волкова Е.А., Мальцев В.В.* Зарождение, рост и морфология кристаллов. М: Изд. «МАКС Прес», 2010, 143 с.

#### - дополнительная литература:

1. *Вильке К.Т.* Методы выращивания кристаллов. М: Изд. «Недра», 1977, 600 с.

2. *Лодиз Р., Паркер Р.* Рост монокристаллов. М: Изд. «Мир», 1974, 540 с.

3. *Петров Т.Г., Трейвус Е.Б., Пунин Ю.О., Касаткин А.П.* Выращивание кристаллов из растворов. Л: Изд. «Недра», 1983, 200 с.

4. *Синтез минералов.* В 3-х томах. Александров: Изд. ВНИИСИМС, 2000.

5. *Тимофеева В.А.* Рост кристаллов из растворов-расплавов. М: Изд. «Наука», 1978, 268с.

6. *Хонигман Б.* Рост и форма кристаллов. М: Изд. «Иностранная литература», 1961, 224с.

7. *Краснова Н.И., Петров Т.Г.* Генезис минеральных индивидов и агрегатов. С.- Петербург: Невский курьер, 1997, 228 с.

### в) перечень профессиональных баз данных и информационно-справочных систем

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

<http://rruff.geo.arizona.edu/AMS/amcsd.php> - база данных кристаллических структур

American Mineralogist.

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

### г) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

<http://cryst.geol.msu.ru/courses/crgraf/index2.php> - официальная страница курса;

Kristall2000 - программное обеспечение для визуализации форм кристаллов

<http://www.shapesoftware.com/> - программное обеспечение для визуализации

кристаллов и кристаллических структур;

<http://do.chem.msu.ru/Geo/> - междисциплинарный проект интерактивной поддержки

очной формы обучения дисциплины «Кристаллография»;

### 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. Преподаватели** – профессор Леонюк Н.И., доц. Копорулина Е.В., доц. Волкова Е.А., Мальцев В.В.

**11. Авторы-составители** (разработчики программы, *в том числе из вузовского сообщества и представителей работодателей*) профессор Леонюк Н.И