

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального 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.



«25» сентября 2025г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Наименование дисциплины (модуля):

Вар – Рост кристаллов

Уровень высшего образования:
бакалавриат

Направление подготовки/ специальность:
05.03.01 Геология

Профиль программы бакалавриата:
Геохимия

Форма обучения:

Очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
Учебно-методическим Советом Геологического факультета
(протокол № 6 от 08 сентября 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 21.12.2021 № 1404 (в действующей редакции).

Год 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.

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.

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 аппаратного обеспечения технологических процессов. В нем освещены фундаментальные аспекты кристаллообразования и практика выращивания ряда функциональных монокристаллов

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО - относится к вариативной части ОПОП, является дисциплиной по выбору, 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. 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
Б.ОПК-1. Способен применять знания фундаментальных разделов наук о Земле, базовые знания	Б.ОПК-1. И-1. Использует базовые знания фундаментальных разделов	<i>Знать:</i> основы теории зарождения и роста кристаллов

естественно-научного и математического циклов при решении стандартных профессиональных задач.	математических и естественных наук в профессиональной деятельности Б.ОПК-1. И-2. Использует базовые знания фундаментальных разделов наук о Земле в профессиональной деятельности	
Б.ОПК-2. Способен применять теоретические основы фундаментальных геологических дисциплин при решении задач профессиональной деятельности.	Б.ОПК-2. И-1. Использует теоретические знания о закономерностях и особенностях геологических процессов для решения профессиональных задач.	<i>Знать:</i> особенности образования в природных системах монокристаллических минералов
Б.ПК-1. Способен самостоятельно осуществлять сбор геологической информации, использовать в научно-исследовательской деятельности навыки полевых/лабораторных исследований (в соответствии с профилем подготовки).	Б.ПК-1. И-1. Имеет навыки поиска и сбора информации по объектам исследований, в том числе – с помощью современных ИТ-технологий. Б.ПК-1. И-2. Владеет приемами анализа и обобщения полученной информации в т.ч. – с применением компьютерных технологий. Б.ПК-1. И-3. Владеет базовыми навыками полевых/лабораторных исследований (по профилю подготовки).	<i>Знать:</i> углубленные специализированные профессиональные теоретические и практические знания для проведения научных фундаментальных и прикладных исследований,
Готов к работе на современных полевых/лабораторных приборах, установках и оборудовании в соответствии с профилем подготовки.	Б.ПК-5. И-1. Знает физические принципы и технические характеристики стандартного современного полевого/лабораторного оборудования (по профилю подготовки). Б.ПК-5. И-2. Имеет базовые навыки работы под руководством специалиста высокой квалификации на полевом/лабораторном оборудовании (по профилю подготовки). Б.ПК-5. И-3. Знает правила техники	<i>Владеть:</i> методами выращивания монокристаллов в лабораторных и заводских условиях

	безопасности при работе на полевом/лабораторном оборудовании (по профилю подготовки).	
Б.ПК-12. Способен организовывать мероприятия, направленные на соблюдение правил по охране труда и контроль за соблюдением правил техники безопасности.	Б.ПК-12. И-1. Знает правила по охране труда и контролю за соблюдением техники безопасности при поведении полевых/лабораторных работ. Б.ПК-12. И-2. Имеет базовые навыки организации мероприятий по соблюдению правил по охране труда и контролю за соблюдением правил техники безопасности.	Уметь: работать с аппаратурой для выращивания кристаллов и их первичной паспортизации
Б.СПК-1. Способность к поиску, критическому анализу, обобщению и систематизации научной информации в области наук геохимического цикла (формируется частично).	Б.СПК-1. И-1. Владеет методами поиска и анализа информации в области наук геохимического цикла, в том числе – с применением современных информационно-коммуникационных технологий. Б.СПК-1. И-2. Владеет навыками систематизации и интерпретации данных в области наук геохимического цикла.	Владеть: современными методами обработки результатов эксперимента, а также свободно и творчески пользоваться ими для решения научных и практических задач.

4. Объем дисциплины (модуля) составляет **8** зачетные единицы, в том числе 142 академических часа, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (**98** часов – занятия лекционного типа, **44** часа лабораторных работ, **146** часов на самостоятельную работу обучающихся. Форма промежуточной аттестации – зачет, экзамен

5. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виду 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) Виды контактной работы, часы				Самостоятельная работа обучающегося, часы *
		Занятия лекционного типа	Занятия лабораторного типа	Занятия семинарского типа	Всего	(виды самостоятельной работы – эссе, реферат, контрольная работа и пр. – указываются при необходимости)
Основы теории роста кристаллов		20			20	Устный опрос, защита и обсуждение рефератов и домашних заданий на семинарах и коллоквиумах. Зачет.
Классификация и общая характеристика методов выращивания кристаллов		18	18		36	Устный опрос, защита и обсуждение рефератов и домашних заданий на семинарах и коллоквиумах. Экзамен
Практика выращивания объемных монокристаллов		26	18		44	Устный опрос, защита и обсуждение рефератов и домашних заданий на семинарах и коллоквиумах..
Кристаллогенезис в природных системах и синтез минералов		26	16		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
Итого	288	142				146

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 кристаллов Анизотропия поверхностной энергии Типы граней кристаллов

Структура межфазной

границы Нормальный и послойный рост Анизотропия скоростей кристаллизации

Теоретическая форма кристаллических фаз

Правило Браве

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 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 игели

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, Йодат 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

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.

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.

Текущий контроль усвоения дисциплины осуществляется при сдаче каждым студентом выполненных домашних работ. Для текущего контроля студентов в ходе семестра проводятся контрольные работы.

Шкала и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине применяется для всех типов контроля

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.

6.2. 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 или весьма фрагментарны	Знания есть, но отсутствует их систематичность	Знания систематически, но имеются пробелы	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 пробы	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
--	--	--	--	------------------------------

7. 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.

Б) Перечень программного обеспечения

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

8. Язык преподавания - русский

9. Преподаватели –доц. Копорулина Е.В., доц.Волкова Е.А., Мальцев В.В.

Направсников Д.А., Димитрова О.В.

10. Разработчики программы: профессор Леонюк Н.И