

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):

Кристаллохимия новых соединений с модулярным строением

Уровень высшего образования:
магистратура

Направление подготовки/ специальность:

05.04.01 Геология

Образовательная программа магистратуры ИМ:

Кристаллография и кристаллохимия

Форма обучения:

Очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
Учебно-методическим Советом Геологического факультета
(протокол № 6 от 8 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 05.04.01 Геология, утвержденным приказом по МГУ от 21.12.2021 № 1404 (в действующей редакции)

Год (годы) приема на обучение – 2024.

© 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

Цели – Получение студентами знаний о закономерностях строения природных и синтетических соединений классов сложных оксидов, карбонатов, боратов, силикатов и фосфатов; теоретическая подготовка и освоение практических навыков сравнительного кристаллохимического анализа соединений с многокомпонентным составом и сложным строением.

Задачи – Изучение основанных на модулярном подходе принципов формирования гетерополиэдрических (смешанных) комплексов в структурах минералов и их синтетических аналогов с выделением фундаментальных строительных единиц (модулей) в разных классах соединений. Изучение особенностей строения и сравнительный кристаллохимический анализ с применением математических аппаратов: выделением топологических единиц (тайлов), а также моделированием гипотетических фаз с потенциальными физическими свойствами.

Краткое содержание дисциплины (аннотация):

В курсе "Кристаллохимия новых соединений с модулярным строением" излагаются следующие проблемы:

- принципы концепции смешанных комплексов: детальный кристаллохимический анализ сложных оксидов, силикатов, боратов, оксофосфатов, борофосфатов и других соединений с позиций «модулярного подхода» и выделением основных типов блоков-модулей: *фундаментальных строительных блоков (FBB)* и «*тайлов*»;
- анализ структурной обусловленности ионообменных, ионопроводящих, магнитных, сегнетоэлектрических, нелинейно-оптических, люминесцентных и других физических свойств;
- применение математических аппаратов для теоретического моделирования структур соединений как потенциальных носителей полезных свойств.

На практических занятиях студенты знакомятся с практическими навыками работы с кристаллической структурой, включая построение проекций, анализ особенностей строения с использованием современных компьютерных программ, позволяющих выявлять соединения с близкими топологическими характеристиками.

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО – относится к вариативной части ОПОП, является дисциплиной по выбору

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия: Кристаллография, Минералогия, Рентгеноструктурный анализ, Кристаллохимия

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
ОПК-4. М Способен в процессе решения профессиональных задач самостоятельно получать, интерпретировать и обобщать результаты, разрабатывать рекомендации по их	М.ОПК-4. И-1. Владеет навыками самостоятельного получения результатов при решении задач профессиональной деятельности. М.ОПК-4. И-2.	Знать: - основные принципы строения природных и синтетических соединений из классов оксидов, карбонатов, боратов, силикатов, фосфатов; - методы описания кристаллических структур; Уметь: - представлять развернутое описание

<p>практическому использованию.</p>	<p>Объективно оценивает полученные результаты, обобщает их, формулирует выводы. М.ОПК-4. И-3. Использует полученные результаты для выработки рекомендаций по их практическому использованию.</p>	<p>кристаллических структур в совокупности с кристаллохимическим анализом; - определять место конкретного соединения в классификационной схеме; - выявлять доминирующие фрагменты структур, в том числе указывающие на наличие физических свойств соединений;</p>
<p>ПК-3. М Способен создавать и исследовать модели изучаемых объектов на основе использования теоретических и практических знаний в области кристаллографии и кристаллохимии.</p>	<p>М.ПК-3. И-1. Знает теоретические основы и методологию моделирования. М.ПК-3. И-2. Знает возможности и ограничения распространенных стандартных программ моделирования (по профилю подготовки). М.ПК-3. И-3. Владеет базовыми навыками использования стандартных программ моделирования (по профилю подготовки). М.ПК-3. И-4. Знает основные особенности интерпретации данных моделирования (по профилю подготовки).</p>	<p>Знать: - практические навыки работы с кристаллической структурой, включая построение проекций и выявление особенностей строения с использованием компьютерных программ современной кристаллографии и кристаллохимии; - методы сравнительного кристаллохимического анализа с использованием материалов современных баз данных кристаллических структур и программ их обработки.</p>
<p>СПК-4.М Способен обобщать и использовать результаты исследований для выявления новых явлений, закономерностей, законов и теоретических положений в области кристаллографии и кристаллохимии</p>	<p>М.СПК-4. И-1 Знает основы современной химии и физики твердого тела М.СПК-4. И-2 Владеет структурной систематикой неорганических кристаллов, методическими приемами кристаллохимического прогноза М.СПК-4. И-3</p>	<p>Знать: основные принципы структурной обусловленности ионообменных, ионопроводящих, магнитных, сегнетоэлектрических, нелинейно-оптических, люминесцентных и других физических свойств неорганических соединений; Владеть: комплексами современных компьютерных программ для сравнительного кристаллохимического анализа и теоретического моделирования структур соединений как потенциальных носителей полезных свойств.</p>

	Владеет современными методами сравнительного кристаллохимического анализа	
--	---	--

4. Объем дисциплины (модуля) составляет 1 з.е., в том числе **36/14** академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (**14** часов – занятия лекционного типа, **22** академических часа на самостоятельную работу обучающихся. Форма промежуточной аттестации – зачет

5. 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	
Вводная часть курса: понятие « <i>фундаментальный строительный блок (FVB)</i> », основные типы блоков-модулей. Выделение <i>FVB</i> в структурах соединений с однородными октаэдрическими каркасами и гетерополиэдрическими комплексами. Математические аспекты в кристаллохимии соединений с каркасными структурами: понятия « <i>тайл</i> » и « <i>тайлинг</i> ».		2				4 задание №1.
Принципы строения, свойства и фазовые соотношения в группах силикатных минералов с гетерополиэдрическими каркасами.		2				4 Проверка задания №1. Задания №2 и №3
Гетерофиллосиликаты. Сравнительная кристаллохимия новых силикатных минералов со смешанными слоистыми		4				4 Проверка заданий №2 и №3. Задание №4

радикалами. Анализ с применением современных топологических программ ионообменных свойств данных соединений, представляющих интерес как перспективные материалы.						
Особенности строения боратов. Модулярный подход в кристаллохимии природных и синтетических боратов со слоистыми борокислородными радикалами		2				4 Проверка задания №4. Задание №5
Основные принципы анион-центрированной кристаллохимии на примере оксофосфатов висмута и переходных металлов.		4				6 Проверка задания №5. Задание №6. Подготовка рефератов
Промежуточная аттестация						ЗАЧЕТ
Итого	36		14			22

Содержание разделов дисциплины:

Содержание лекций

Основные принципы модулярного подхода к описанию структур. Прото- и рекомбинационные структуры. Определение понятия фундаментального строительного блока и принципы его выделения в оксидах со структурным типом α - PbO_2 , диортосиликатах и ортотриборатах. Особенности строения мариинскита. Гетерополиэдрические комплексы в структурах редкоземельных природных карбонатов.

Домашнее задание №1

Новые силикатные минералы со смешанными слоистыми радикалами (гетерофиллосиликаты). Характеристика трехслойных модулей-блоков: *T-O-T* и *H-O-H* на примерах структур слюд и их титаносиликатных аналогов. Способ объединения *O*- и *H*-слоев в трехслойных пакетах и взаимное расположение соседних пакетов. Роль катионного состава слоя и межпакетного пространства при образовании новых минеральных видов.

Основные строительные единицы в кристаллических структурах боратов. Наиболее распространенные структурные фрагменты. Классификация боратных минералов. Основные классификационные схемы (Крист и Кларк, Штрунц). Роль воды в структурном разнообразии диборатов с постоянным отношением $\text{CaO}:\text{B}_2\text{O}_3=1:1$ и триборатов с $\text{CaO}:\text{B}_2\text{O}_3=2:3$. Типология слоев и примеры слоистых структур боратов с различными фундаментальными строительными единицами.

Особенности строения и основные принципы анион-центрированной кристаллохимии оксидов и оксосолей висмута и переходных элементов. Особенности строения и структурная обусловленность ионно-проводящих и магнитных свойств фосфатов висмута и цветных металлов, синтезированных в гидротермальных условиях. Принципы выделения комплексов из анион-центрированных тетраэдров и треугольников и сравнительный кристаллохимический анализ указанных соединений. Синтетические аналоги природных висмут содержащих оксосолей (намибит, щуровскиит).

Домашнее задание №6

Содержание семинаров

Сравнительный кристаллохимический анализ простых и сложных оксидов со структурным типом α - PbO_2 (иксиолит, танталит, W-иксиолит, воджинит, китянлинит и корагоит), диортосиликатов и ортотриборатов (флюоборит, гидроксилборит, джаффеит, паинит) с однородными октаэдрическими каркасами. Особенности катионного распределения в композитоподобной структуре мариинскита. Типы гетерополиэдрических комплексов и способы их конденсации в структурах редкоземельных карбонатов минеевита и тулюкита в сравнении с близкими по составу редкоземельными карбонатами натрия, кальция, стронция, бария – членами политипных серий синчизита и доннейита.

Характеристика (*M,T*)-гетерополиэдрического каркаса и свойства минералов со структурами данного типа в сравнении с аналогичными характеристиками минералов с однородными октаэдрическими и тетраэдрическими каркасами. Состав и симметрия фундаментального строительного блока минералов групп ловозерита (казаковит, цирсианит, ловозерит, тисанит, литвинскит и капустаит). Механизмы трансформаций, причины разнообразия и структурное родство протофаз и новообразованных минералов. Общие черты строения минералов группы лабунцовита (гьердингенит- Na , гьердингенит- Ca , карупмёллерит- Ca). Особенности твердофазных превращений в данной группе, их отличие от трансформаций в ловозеритовой группе. Минералы страховит, тайканит и бельковит как примеры соединений с гетерополиэдрическими каркасами.

Домашнее задание №2.

Соединения полиморфного ряда глазерит-арканит-оливин (минералы кальцио-оливин, ларнит, мервинит, бредигит, синтетические ортосиликаты кальция). Особенности структурных соотношений в полиморфном ряду Ca_2SiO_4 , механизмы фазовых переходов и причины структурного родства. Выделение глазеритового модуля как фундаментального строительного блока для данного ряда соединений. Теоретическое моделирование возможных гипотетических фаз в ряду арканит-оливин.

Особенности кристаллохимии и топологии соединений со смешанными каркасами на примере ряда германатов, силикатов, борофосфатов и сульфатов. Роль внекаркасных катионов в топологии каркаса на примере минералов надгруппы аллюадита и лабунцовита, гетерополиэдрический $[\text{TO}_4] \rightarrow [\text{MO}_6]$ изоморфизм – на примере минералов группы эвдиалита.

Домашнее задание №3.

Особенности строения минералов группы бафертисита (перротит, сурхобит) и астрофиллита. Примеры гибридных структур, производных от бафертиситового и астрофиллитового типа (минералы группы розенбушита, камараит, нафертисит и кариохроит). Гетерофиллосиликаты с псевдокаркасными постройками и микропоровые силикаты с гетерополиэдрическими каркасами. Пириболы и биопириболы. Строение минералов семейства «палысепиолов» как производных от пироксенов и амфиболов. Особенности строения интерсилита и его место в ряду родственных структур.

Каркасные титаносиликаты семейства гетерофиллосиликатов с микропористым строением: наличием систем широких пересекающихся (группа перротита) или параллельных (надгруппа астрофиллита) каналов. Анализ с применением современных топологических программ ионообменных свойств данных соединений, представляющих интерес как перспективные материалы.

Домашнее задание №4.

Топологический анализ особенностей строения минералов группы канкринита, объединяющей тригональные или гексагональные фельдшпатоиды с микропористым тетраэдрическим каркасом. Филлопентабораты групп бирингучита и витчита. Общие черты строения трех модификаций витчита, волковскита, синтетических (Ca, Sr, Ba)-пентаборатов с дополнительными В-треугольниками и без них. Состав трехслойных пакетов. Особенности симметричной связи слоев одного пакета и соседних пакетов. Принцип выделения фундаментального строительного блока, его состав и точечная симметрия. Теоретическое моделирование политипов витчитоподобных пентаборатов. Влияние состава, симметрии блоков и способов их объединения в структуре на разнообразие минеральных видов рассмотренных пентаборатов (на примере бирингучита, назинита, говерита).

Домашнее задание №5.

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 лабораторных/практических/расчетных работ (при наличии).

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

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

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

1. Понятие «фундаментальный строительный блок» и принципы его выделения в структурах.
2. Минералы с однородными октаэдрическими каркасами. Особенности строения, причины видового разнообразия на примере соединений структурных типов скрутинита и флюоборита.
3. Особенности катионного распределения в структуре природного сложного оксида мариинскита.
4. Минералы с гетерополиэдрическими комплексами и особенности их строения на примере редкоземельных карбонатов.

Расчетные домашние задания:

Задание №1. Поиск данных и построение проекций структур соединений классов сложных оксидов группы иксиолита-воджинита и редкоземельных карбонатов, сопоставимых с минеевитом и тулиокитом. Описание структур и сравнительный кристаллохимический анализ с определением доминирующего структурного фрагмента.

Задание №2. Построение проекций, описание и сравнительный кристаллохимический анализ ромбических членов ловозеритовой группы минералов. Выбор фундаментального строительного блока и особенности его комбинаций в структурах подгрупп имандрита и коашвита.

Задание №3. Поиск новых данных по глазеритоподобным природным и синтетическим соединениям классов фосфатов, сульфатов, арсенатов и силикатов, построение проекций структур, их анализ и сравнение с известными структурами глазеритового типа.

Задание №4. Поиск новых примеров гетерофиллосиликатных минералов, производных от бафертиситового и палыгорскитового структурных типов. Построение и анализ структур в сравнении с известными соединениями.

Задание №5. Анализ строения мегаборатов. Поиск структурных данных, построение проекций структур, определение типа борокислородного радикала, выделение фундаментального строительного блока.

Задание №6. Анализ строения висмут и медь содержащих оксосолей с позиций анион-центрированной кристаллохимии. Примеры структур среди природных фосфатов, арсенатов, ванадатов и их сравнительный кристаллохимический анализ.

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

Примерный перечень вопросов при промежуточной аттестации:

1. Характеристика гетерополиэдрического (смешанного) каркаса. Особенности строения и свойства минералов данного типа, их отличие от минералов с однородными октаэдрическими и тетраэдрическими каркасами.
2. Строение и свойства микропоровых минералов с гетерополиэдрическими каркасами групп ловозерита и лабунцовита.
3. Особенности строения и причины разнообразия минеральных видов групп ловозерита и лабунцовита.
4. Механизмы твердофазных превращений в группах ловозерита и лабунцовита.

- Общие черты и различия.
5. Особенности структурных соотношений в полиморфном ряду Ca_2SiO_4 . Структурные типы глазерита-арканита-оливина.
 6. Механизмы фазовых переходов и причины структурного родства синтетических и природных соединений полиморфного ряда Ca_2SiO_4 .
 7. Глазеритовый модуль как фундаментальный строительный блок соединений полиморфного ряда Ca_2SiO_4 . Способы комбинаций блока в структурах, производных от глазеритовой.
 8. Характеристика трехслойных модулей-блоков: *T-O-T* и *H-O-H* на примерах структур слюд и их титаносиликатных аналогов.
 9. Особенности строения минералов групп бафертисита и астрофиллита. Роль катионного состава и способа объединения трехслойных пакетов при образовании новых минеральных видов.
 10. Гибридные структуры, производные от структур бафертиситового и астрофиллитового типов. Примеры.
 11. Сходство и различие гетерофиллосиликатов с псевдокаркасными постройками и микропоровых силикатов с гетерополиэдрическими каркасами.
 12. Строение минералов семейства «палысепиолов» как производных от пироксенов и амфиболов. Примеры.
 13. Особенности строения интерсилита и его место в ряду родственных структур.
 14. Основные строительные единицы в кристаллических структурах боратов. Наиболее распространенные структурные фрагменты.
 15. Основные классификационные схемы боратных минералов. Примеры структур минералов с однородными В-радикалами.
 16. Типология слоев и примеры слоистых структур боратов с различными фундаментальными строительными блоками.
 17. Общие черты строения филлопентаборатов групп бирингучита и витчита.
 18. Трехслойные пакеты в структурах пентаборатов с полярными борокислородными слоями. Их состав. Особенности симметричной связи слоев внутри пакета и между отдельными пакетами.
 19. Принцип выделения фундаментального строительного блока в группе витчитоподобных пентаборатов, его состав и точечная симметрия.
 20. Влияние состава, симметрии фундаментальных строительных блоков и способов их объединения в структурах витчитоподобных политипов на разнообразие минеральных видов. Особенности структур бирингучита, назинита и говерита.
 21. Особенности строения триборатов с постоянным отношением $\text{CaO}:\text{B}_2\text{O}_3 = 2:3$ и роль воды в структурном разнообразии минералов указанной группы.
 22. Основные принципы анион-центрированной кристаллохимии на примере висмут содержащих оксидов и оксосолей. Особенности строения указанных соединений и структурная обусловленность свойств.
 23. Принципы выделения комплексов из анион-центрированных тетраэдров и треугольников и сравнительный кристаллохимический анализ синтетических оксофосфатов висмута.

Шкала и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине (зачет).

Результаты обучения	«незачет»	«зачет»
Знания: основные принципы строения природных и синтетических соединений	Фрагментарные знания или отсутствие знаний	Сформированные систематические знания или общие, но не структурированные

многокомпонентным составом и сложным строением из классов оксидов, карбонатов, боратов, силикатов, фосфатов;		знания
Умения: представлять развернутое описание кристаллических структур в совокупности с кристаллохимическим анализом	Умения отсутствуют	Успешное умение развернутого описания кристаллических структур
Владения: практическими навыками работы с кристаллической структурой, включая построение проекций и выявление особенностей строения с использованием современных программ	Навыки владения графическими методами отсутствуют	Владение графическими методами, современными компьютерными программами и использование их для решения поставленных задач

7. Ресурсное обеспечение:

А) Перечень основной и дополнительной литературы.

- основная литература:

1. Белов Н.В. Очерки по структурной минералогии. – М.: Недра. 1976. 344 с.
2. Урусов В.С., Еремин Н.Н. Кристаллохимия. Краткий курс. Учебник. Изд-во МГУ. 2010. 256 с.
3. Егоров-Тисменко Ю.К. Кристаллография и кристаллохимия. – М.: Изд-во Книжный дом «Университет». 2005. 592 с.
4. Ямнова Н.А. Кристаллохимия новых природных и синтетических соединений с гетерополиэдрическими комплексами. – М.: ГЕОС. 2021. 376 с.
5. Сандомирский П.А., Белов Н.В. Кристаллохимия смешанных анионных комплексов // М.: Наука. 1984. 305 с.

- дополнительная литература:

6. Звягин Б.Б. Модулярный аспект кристаллических структур // Кристаллография. 1993. Т.38. №1. С. 104-115.
7. Расцветова Р.К., Аксенов С.М. Кристаллохимия силикатов с трехслойными TOT- и НОН-модулями слоистого, ленточного и смешанного типа // Кристаллография. 2011. Т.56. №6. С. 975-1000.
8. Чуканов Н.В., Пеков И.В., Расцветова Р.К. Кристаллохимия, свойства и синтез микропористых силикатов, содержащих переходные элементы // Успехи химии. 2004. Т. 73(3). С. 227–246.
9. Воронков А.А., Шумяцкая Н.Г., Пятенко Ю.А. Кристаллохимия минералов циркония и их искусственных аналогов. – М.: Наука. 1978. 182 с.
10. Пятенко Ю.А., Воронков А.А., Пудовкина З.В. Минералогическая кристаллохимия титана. – М.: Наука. 1976. 155 с.
11. Pekov I.V., Chukanov N.V. Microporous framework silicate minerals with rare and transition elements: minerogenetic aspects // Reviews in Mineralogy, Geochemistry. 2005.

V. 57. P. 145–172.

12. *Chukanov N.V., Pekov I.V.* Heterosilicates with tetrahedral-octahedral frameworks: mineralogical and crystal-chemical aspects. In *Micro- and Mesoporous Mineral Phases* (G. Ferraris, S. Merlino, eds.) // *Reviews in Mineralogy, Geochemistry*. 2005. V. 57. P. 105–144.

13. *Krivovichev S.V.* Topology of microporous structures // *Reviews in Mineralogy, Geochemistry*. 2005. V. 57. P. 17–68.

14. *Grice J.D., Burns P.C., Hawthorne F.C.* Borate minerals. II. A hierarchy of structures based upon the borate fundamental building block // *Canad. Mineral.* 1999. V. 37. P. 731–762.

15. *Ferraris G., Makovicky E., Merlino S.* Crystallography of modular materials. Oxford Univers Press. 2008. 372 p.

16. *Blatov V.A., O’Keeffe M., Proserpio D.M.* Vertex-, face-, point-, Schläfli-, and Delaney-symbols in nets, polyhedra and tilings: recommended terminology // *Cryst. Eng. Comm.* 2010. 12. P. 44–48.

Б) Перечень лицензионного программного обеспечения пакеты программ

Microsoft Office Excel, Microsoft Office PowerPoint (при необходимости)

В) Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем

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

Г) программное обеспечение и Интернет-ресурсы (лицензионное программное обеспечение не требуется):

<http://cryst.geol.msu.ru/courses/sravn/> – официальная страница курса;

Д) Материально-технического обеспечение: - персональные компьютеры.

8. Язык преподавания – русский.

9. Преподаватель (преподаватели) – снс/доц., д-р геол.-мин. наук Ямнова Н.А.

10. Автор (авторы) программы – снс/доц., д-р геол.-мин. наук Ямнова Н.А.