

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт геохимии им. А.П. Виноградова
Сибирского отделения Российской академии наук**

**УТВЕРЖДЕНА
на заседании Ученого совета ИГХ СО РАН
Протокол № 5 от 26.04.2024г**



*Директор
А.Б. Перепелов*

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«Б1.В.02 Кристаллография и кристаллохимия»**

Направление подготовки: 05.04.01 Геология

Направленность подготовки: Геохимия, минералогия и геоэкология

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очная

Иркутск 2024 г.

Содержание

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ.....	3
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО	3
3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....	3
4. СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ.....	7
4.1 Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов.....	7
4.2. План и перечень тем самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.....	8
4.3. Содержание учебного материала	10
4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.....	13
5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	14
5.1 перечень основной и дополнительной литературы.....	14
5.2 периодические издания	15
5.3. базы данных, информационно-справочные и поисковые системы	16
6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	16
6.1. Учебно-лабораторное оборудование:	16
6.2. Программное обеспечение:	16
6.3. Технические и электронные средства обучения:.....	17
7. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.....	17
8. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ.....	17
8.1. Оценочные материалы для текущего контроля:.....	22
8.2 Оценочные материалы для промежуточной аттестации	25

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель: овладение теоретическими основами кристаллографии и кристаллохимии, формирование знаний об атомарном строении кристаллов, являющихся фундаментальными для всестороннего изучения минералов, горных пород и руд, понимание процессов минералообразования.

Задачи:

- овладение студентами теоретическими основами определения симметрии кристалла и кристаллических решеток;
- овладение графическими способами проецирования кристаллов и их практическое применение при решении кристаллографических задач; приобретение навыков описания внешней формы и внутреннего строения кристаллов;
- изучение современных взглядов на свойства атомов, факторы, определяющие структуру кристаллических веществ и их физико-химические свойства;
- рассмотрение важнейших кристаллохимических явлений (изоморфизм, полиморфизм и др.); получение знаний о кристаллохимии основных породообразующих минералов;
- знакомство с методами исследования кристаллического вещества;
- знакомство с основами взаимосвязи строения и симметрии природных и искусственных материалов с их свойствами и характеристиками;
- освоение естественнонаучного базиса для последующего изучения минералогии, петрографии и других геологических наук.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Учебная дисциплина относится к части программы, формируемой участниками образовательных отношений, осваивается на 1 курсе, в 1 и 2 семестрах.

Полученные в рамках изучения данной дисциплины знания, умения и опыт необходим для освоения таких дисциплин как: Б1.О.04 «Физико-химические методы исследования вещества», Б1.В.03 «Минералогия и процессы минералообразования», Б1.В.05 «Геохимия элементов»; Б1.В.06 «Общая геохимия», Б1.В.07 «Оптическая микроскопия пород и руд»; прохождения практик: Б2.О.02(Н) «Научно-исследовательская работа», Б2.О.03(Пд) «Преддипломная практика»; а также в той или иной степени применяются в процессе основания всех дисциплин программы.

3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование у студента следующих компетенций (элементов следующих компетенций) в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 05.04.01 Геология:

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Компетенция	Индикаторы достижения компетенции	Результаты обучения
ПК-1 Способен использовать фундаментальные теоретические знания при решении научно-исследовательских задач в области геологии	ИД-1пк1 Использует современные положения фундаментальных геологических дисциплин на разных этапах осуществления и сопровождения научно-исследовательских работ	Знать: З-1 основные понятия структурной кристаллографии и кристаллохимии, З-2 структурные основы неорганической химии Уметь: У-1 анализировать теоретические знания и результаты экспериментальных и расчетно-

		<p>теоретических работ, У-2 интерпретировать теоретические знания и результаты экспериментальных и расчетно-теоретических работ, У-3 обобщать теоретические знания и результаты экспериментальных и расчетно-теоретических работ</p> <p>Владеть: В-1 символикой Браве, В-2 символикой Шенфлиса, В-3 символикой Германа-Могена В-4 теоремами взаимодействия элементов симметрии, В-5 навыками организационных и технологических приемов в сфере своей исследовательской деятельности в области изучения кристаллов и твердых веществ в зависимости от поставленных задач</p>
	<p>ИД-2пк1 Воспринимает фундаментальные теоретические знания как способ получения фактической информации и инструмент для создания моделей и интерпретации результатов научных исследований</p>	<p>Знать: З-1 основные свойства кристаллических веществ, З-2 пространственную и точечную симметрию структуры кристаллов, З-3 кристаллохимическую классификацию кристаллических веществ</p> <p>Уметь: У-1 определять взаимосвязь внутреннего строения, свойств и генезиса минералов</p> <p>Владеть: В-1 навыками работы с базами данных о симметрии и строении кристаллических материалов и минералов</p>
<p>ПК-2 Способен осуществлять сбор и анализ геологической информации и материала, а также проводить их документирование</p>	<p>ИД-1пк2 Проводит отбор, описание, документирование и анализ геологической информации и материала</p>	<p>Знать: З-1 систематическую кристаллохимию</p> <p>Уметь: У-1 собрать и составить описание всей необходимой для проведения исследования информацию, У-2 составить необходимую для проведения эксперимента документацию</p> <p>Владеть: В-1 способами анализа структуры кристаллических веществ, В-2 современными сведениями применения кристаллических веществ в производстве</p>

	<p>ИД-2пк2 Выполняет необходимые процедуры по подготовке проб для проведения аналитических исследований</p>	<p>Знать: 3-1 современные методы исследования кристаллического вещества, 3-2 основы дифракционного метода исследования кристаллов, 3-3 категории кристаллохимии (полиморфизм, политипия, изоморфизм), 3-4 представления о зарождении и механизмах роста реальных кристаллов в природных и лабораторных системах.</p> <p>Уметь: У-1 отобрать и подготовить образец для исследования согласно выбранной методике и поставленным задачам</p> <p>Владеть: В-1 способностью и готовностью к анализу системных свойств и структурных особенностей кристаллических веществ, В-2 умением анализировать внешнюю форму и выделять структурные единицы кристаллов</p>
<p>ПК-3 Способен выбирать и определять оптимальные технические средства и необходимое оборудование при постановке научных исследований, подготавливать и проводить исследования, эксперименты, наблюдения, измерения, составлять их описание, выполнять их интерпретацию и формулировать выводы</p>	<p>ИД-1пк3 Выбирает и определяет оптимальные технические средства и необходимое оборудование при постановке и проведении научных исследований или эксперимента</p>	<p>Знать: 3-1 закономерности и связь структуры и свойств химических элементов соединений при выборе параметров</p> <p>Уметь: У-1 самостоятельно формулировать задачу исследования, У-2 определять основные факторы, влияющие на свойства материалов</p> <p>Владеть: В-1 основными методиками и навыками определения строения материалов</p>
	<p>ИД-1пк3 Подготавливает и проводит исследования, эксперименты, наблюдения, измерения, составляет их описание, выполняет их интерпретацию и формулирует выводы</p>	<p>Знать: 3-1 фундаментальные понятия, 3-2 терминологию и символику кристаллохимии, 3-3 общие принципы характеристики и интерпретации кристаллических структур</p> <p>Уметь: У-1 грамотно и аргументированно интерпретировать собственные результаты и литературные данные, У-2 формулировать необходимые заключения и выводы, У-3 графически отображать полученные результаты, У-4 вести научную дискуссию</p>

		<p>Владеть: В-1 современными программами визуализации, В-2 навыками выделения из кристаллохимических данных необходимой информации о результатах проведенных исследований и использования ее для постановки целей и задач иных исследований и экспериментов</p>
<p>ПК-4 Способен изучать и использовать научно-техническую информацию, применять отечественный и зарубежный опыт при выполнении задач научно-исследовательской работе</p>	<p>ИД-1пк4 Использует учебную, справочную, периодическую, фондовую литературу и информационные ресурсы геологического, геохимического и экологического профиля при выполнении научно-исследовательских работ</p>	<p>Знать: З-1 современные базы структурных данных, З-2 принципы описания кристаллической структуры по ее модели или чертежу</p> <p>Уметь: У-1 читать и использовать информацию по кристаллическому строению минералов, химических веществ и материалов, У-2 анализировать, обобщать и систематизировать литературные данные по структурному описанию веществ</p> <p>Владеть: В-1 навыками использования литературных данных о структуре вещества для понимания свойств соединения, В-2 структурной систематикой неорганических кристаллов</p>
	<p>ИД-1пк4 Ориентируется в структуре современных информационных источников, ресурсов и литературе для поиска и подбора актуальной информации или углубления знаний в рамках решения конкретной профессиональной задачи</p>	<p>Знать: З-1 источники необходимой для выполнения исследовательской задачи информации</p> <p>Уметь: У-1 искать информацию по кристаллическому строению минералов, химических веществ и материалов в научных публикациях и иных источниках.</p> <p>Владеть: В-1 представлениями о методах подготовке публикаций с привлечением данных кристаллохимии</p>

4. СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Объем дисциплины составляет **7** зачетных единиц, что составляет **252** академических часа, в том числе **3** академических часа на зачет и **4** академических часа на экзамен.

Форма промежуточной аттестации: зачет в 1 семестре, экзамен во 2 семестре.

4.1 Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов

№	Раздел дисциплины/тема	Семестр	Всего часов	Из них практическая подготовка обучающихся	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся, практическую подготовку и трудоемкость (в часах)			Самостоятельная работа	Контроль самостоятельной работы (КСР), в часах	Формы текущего контроля успеваемости / форма промежуточной аттестации			
					Контактная работа преподавателя с обучающимися								
					Лекции	Семинарские/практические/лабораторные занятия	Консультации						
1	Раздел 1. Введение в кристаллографию. Симметрия кристаллов	1	49		16	16	1	14	0,9	Собеседование			
2	Раздел 2. Рост кристаллов. Кристаллогенезис	1	20		8	8		4	0,3	Собеседование			
3	Раздел 3. Символы граней и ребер кристаллов	1	12		4	4		4	0,3	Собеседование			
4	Раздел 4. Основы кристаллохимии. Симметрия кристаллических структур	1	24		8	8		8	0,5	Собеседование			
	Итого		108		36	36	1	30	2	Зачет, 3			
5	Раздел 5. Атом и химическая связь в кристаллах	2	32		6	6		20	0,3	Собеседование			

6	Раздел 6. Принципы формирования и описания кристаллических структур	2	36		6	6		20	0,3	Собеседование
7	Раздел 7. Кристаллохимические явления. Систематика и номенклатура кристаллохимических явлений. Полиморфизм. Политипия. Изоморфизм. Морфотропия.	2	48		16	16	1	16	1	Собеседование
8	Раздел 8. Основы высокотемпературной и динамической кристаллохимии. Термические и барические деформации веществ.	2	24		8	8	1	8	0,4	Собеседование
	Итого		144		36	36	2	64		Экзамен, 4
Всего			252		72	72	3	94	4	7

4.2. План и перечень тем самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

№	Название раздела, темы	Вид самостоятельной работы	Оценочное средство	Формируемый индикатор достижения компетенции	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы	Трудоемкость, часов
1	Раздел 1. Введение в кристаллографию. Симметрия кристаллов	Подготовка к коллоквиуму Подготовка к контрольной работе Выполнение упражнений Работа с учебным материалом	Собеседование Коллоквиум Контрольная работа	ИД-1пк1 ИД-2пк1 ИД-1пк4 ИД-2пк4	Перечень изданий основной и дополнительной литературы	14
2	Раздел 2. Рост кристаллов. Кристаллогенезис	Подготовка к коллоквиуму Выполнение упражнений Работа с учебным материалом Работа с научной литературой	Собеседование Коллоквиум	ИД-1пк1 ИД-2пк1 ИД-1пк4 ИД-2пк4	Перечень изданий основной и дополнительной литературы	4
3	Раздел 3. Символы граней и ребер кристаллов	Подготовка к контрольной работе Выполнение упражнений Работа с учебным материалом Работа с научной литературой	Собеседование Контрольная работа	ИД-1пк1 ИД-2пк1 ИД-1пк4 ИД-2пк4	Перечень изданий основной и дополнительной литературы	4
4	Раздел 4. Основы кристаллохимии. Симметрия кристаллических структур	Подготовка к контрольной работе Выполнение упражнений Работа с учебным материалом	Собеседование Контрольная работа	ИД-1пк1 ИД-2пк1 ИД-1пк4	Перечень изданий основной и дополнительной литературы, периодические	8

		Работа с научной литературой		ИД-2пк4	издания, базы данных	
5	Раздел 5. Атом и химическая связь в кристаллах	Работа с учебным материалом Работа с научной литературой Подготовка к экзамену	Собеседование Коллоквиум	ИД-1пк1 ИД-2пк1 ИД-1пк4 ИД-2пк4	Перечень изданий основной и дополнительной литературы, периодические издания, базы данных	20
6	Раздел 6. Принципы формирования и описания кристаллических структур	Работа с учебным материалом Работа с научной литературой Подготовка к экзамену	Собеседование Коллоквиум	ИД-1пк1 ИД-2пк1 ИД-1пк2 ИД-2пк2 ИД-1пк3 ИД-2пк3 ИД-1пк4 ИД-2пк4	Перечень изданий основной и дополнительной литературы, периодические издания, базы данных	20
7	Раздел 7. Кристаллохимические явления. Систематика и номенклатура кристаллохимических явлений. Полиморфизм. Политипия. Изоморфизм. Морфотропия.	Работа с учебным материалом Работа с научной литературой Подготовка к экзамену	Собеседование Коллоквиум	ИД-1пк1 ИД-2пк1 ИД-1пк2 ИД-1пк3 ИД-1пк4 ИД-2пк4	Перечень изданий основной и дополнительной литературы, периодические издания, базы данных	16
8	Раздел 8. Основы высокотемпературной и динамической кристаллохимии. Термические и барические деформации веществ.	Работа с учебным материалом Работа с научной литературой Подготовка к экзамену	Собеседование Коллоквиум	ИД-1пк1 ИД-2пк1 ИД-1пк4 ИД-2пк4	Перечень изданий основной и дополнительной литературы, периодические издания, базы данных	8
Всего						94

4.3. Содержание учебного материала

Раздел 1. Введение в кристаллографию. Симметрия кристаллов

История развития кристаллографии как науки. Кристаллическое вещество. Понятие симметрии. Операции и элементы симметрии кристаллов: элементы симметрии I рода, элементы симметрии II рода. Методы проецирования кристаллов: сферические проекции, стереографические проекции, гномостереографические проекции. Понятие зон (поясов). Сетка Вульфа. Различные способы представления симметрических операций. Модельный, координатный методы представления симметрических операций. Основные положения теории групп. Взаимодействия элементов симметрии: осевая теорема Эйлера, основы сферической тригонометрии, частные случаи теоремы Эйлера. Обозначения групп симметрии по Шенфлису. Кристаллографические координатные системы. Кристаллографические категории. Кристаллографические системы (сингонии). Международные обозначения классов симметрии: символика Германна-Могена. Символы групп низшей категории. Символы групп средней категории. Символы групп высшей категории. Кристаллографические группы антисимметрии (шубниковские группы).

Раздел 2. Рост кристаллов. Кристаллогенезис

Общие сведения об образовании кристаллов. Причины и условия образования кристаллов. Краткая история получения искусственных кристаллов. Механизмы роста кристаллов. Структурные дефекты в кристаллах. Факторы, влияющие на внешний облик кристаллов. Морфологические особенности реальных кристаллов. Краткие сведения о методах выращивания кристаллов.

Раздел 3. Символы граней и ребер кристаллов

Символы граней кристаллов. Закон рациональности отношений параметров граней кристаллов – закон Гаюи. Символы ребер кристаллов, их определение. Закон поясов – закон Вейсса.

Раздел 4. Основы кристаллохимии. Симметрия кристаллических структур

Основные понятия и этапы развития кристаллохимии. Классическая (дорентгеновская кристаллография). Рентгеновская кристаллография (кристаллохимия). Общие сведения о симметрии кристаллов. Основной закон симметрии кристаллов. Точечная симметрия кристаллов: элементы симметрии, кристаллографические системы координат. Пространственные группы симметрии кристаллов.

Раздел 5. Атом и химическая связь в кристаллах

Изолированный атом. Образование химической связи. Причины образования связи. Валентность и связанные с ней химические понятия. Валентные или возбужденные состояния атома. Электроотрицательность химического элемента. Типы связи и их роль в стереохимии. Ионная связь. Образование ковалентной связи. Степень ионности-ковалентности химической связи. Теория валентных связей. Гибридизация электронных орбиталей. Неподеленные электронные пары, формы их проявления с стереохимией. Метод отталкивания электронных пар. Донорно-акцепторная связь. Металлическая связь. Межмолекулярные и ван-дер-ваальсовые взаимодействия. Водородная связь. Гомодесмические и гетеродесмические соединения. Зависимость физических свойств кристаллических веществ от типа химической связи. Эффективные радиусы атомов и ионов в кристаллах. Третья основная характеристика химического элемента. Ионные радиусы. Атомные радиусы. Межмолекулярные и ван-дер-ваальсовые радиусы.

Раздел 6. Принципы формирования и описания кристаллических структур

Плотнейшие упаковки. Слои плотнейшей упаковки, чередование слоев, пустоты упаковки. Принцип плотнейшей упаковки. Распространенность плотнейших упаковок. Физические свойства минералов, обусловленные плотнейшей упаковкой. Координационные полиэдры. Правила Полинга. Определения, критерии формирования координационных полиэдров по Мангусу (Правило 1 Полинга). Электростатическое правило валентности Полинга (Правило 2). Устойчивость структуры в случае вершинного, реберного и гранного сочленения координационных полиэдров (Правила 3 и 4). Принцип

экономичности или парсимонии (Правило 5). Сложность кристаллических структур. Описание кристаллических структур. Базы структурных данных. Программы визуализации кристаллических структур и вычисления их количественных характеристик.

Раздел 7. Кристаллохимические явления. Систематика и номенклатура кристаллохимических явлений. Полиморфизм. Политипия. Изоморфизм. Морфотропия.

Определения и понятия. Систематика основных кристаллохимических явлений. Уровни структурного подобия. Структуры с одинаковыми системами точек. Изоконфигурационные (конфигурационные изотипные) структуры. Кристаллохимически изотипные структуры. Гомеотипные структуры. Антитипные структуры. Изотипия, изоструктурность. Определение и эволюция понятия полиморфизма. Термодинамическая систематика типов полиморфизма и ее соответствие принципам структурной систематики. Структурная систематика полиморфизма по Бюргеру. Политипия. Зависимость объема полиморфных модификаций кристаллических веществ от температуры и давления. Симметрия кристаллических веществ в различных термодинамических условиях. Метастабильные и стабилизированные фазы. Изоморфизм: определение, типы замещений. Этапы развития теории изоморфизма. Размерный критерий изоморфных замещений. Диагональные и вертикальные ряды изоморфизма. Правило полярности изоморфизма. Разнообразие структурных деформаций. Использование количественных характеристик деформаций кристаллической решетки. Критерий структурного разнообразия изоморфизма. Роль температуры при изоморфных замещениях. Блочный изоморфизм. Полисоматизм. Формы упорядочения твердых растворов при охлаждении. Морфотропия. Морфотропные ряды.

Раздел 8. Основы высокотемпературной и динамической кристаллохимии. Термические и барические деформации веществ.

Высокотемпературная кристаллохимия: определения и понятия. Тенденция преемственности перестройки структуры при термическом расширении и завершающем полиморфном превращении. Принципы термических деформаций. Термическое расширение и тенденция повышения симметрии полиморфных модификаций с ростом температуры. Сдвиговые деформации. Отрицательное термическое расширение различной природы. Шарниры, природа и признаки шарнирных деформаций. Сдвиги как симметрийный случай шарниров. Природа особых точек на температурных зависимостях параметров решетки. Корреляция термических деформаций со структурой и другими свойствами кристаллов. Принципы кристаллохимии высоких давлений. Начала динамической кристаллохимии.

Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/н	№ Раздела и темы	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (час.)	Оценочные средства	Формируемые компетенции (индикаторы)
			Всего часов		
1	1	Понятие «симметрия», «симметричный объект». Операции и элементы симметрии. Символика Браве.	6	Коллоквиум	ИД-1пк1 ИД-2пк1 ИД-1пк3 ИД-2пк3
2	1	Сложные элементы симметрии: зеркально-поворотные и инверсионные оси. Задачи на построение проекций.	6	Коллоквиум	ИД-1пк1 ИД-2пк1 ИД-1пк3 ИД-2пк3
3	1	Категории и сингонии. Международная символика.	4	Контрольная работа	ИД-1пк1 ИД-2пк1 ИД-1пк3 ИД-2пк3

4	2	Простые формы кристаллов	8	Коллоквиум	ИД-1пк1 ИД-2пк1 ИД-1пк3 ИД-2пк3
5	3	Определение символов граней кристаллов различных сингоний	4	Контрольная работа	ИД-1пк1 ИД-2пк1 ИД-1пк3 ИД-2пк3
6	4	Основы кристаллохимии. Типы решеток Браве. Координационные числа. Координационные многогранники.	4	Контрольная работа	ИД-1пк1 ИД-2пк1 ИД-2пк3 ИД-1пк4
7	4	Описание кристаллических структур.	4	Контрольная работа	ИД-1пк1 ИД-2пк1 ИД-1пк2 ИД-2пк2 ИД-1пк3 ИД-2пк3 ИД-1пк4 ИД-2пк4
8	5-8	Структуры простых веществ (самородных элементов) и родственных им соединений	2	Коллоквиум	ИД-1пк1 ИД-2пк1 ИД-1пк2 ИД-1пк4 ИД-2пк4
9	5-8	Структуры галогенидов, оксидов и халькогенидов	4	Контрольная работа	ИД-1пк1 ИД-2пк1 ИД-1пк2 ИД-1пк4 ИД-2пк4
10	5-8	Систематика и свойства кислородных соединений	2	Коллоквиум	ИД-1пк1 ИД-2пк1 ИД-1пк2 ИД-1пк4 ИД-2пк4
11	5-8	Структуры карбонатов, нитратов и боратов с изолированными треугольными радикалами	4	Контрольная работа	ИД-1пк1 ИД-2пк1 ИД-1пк2 ИД-1пк4 ИД-2пк4
12	5-8	Бораты	4	Коллоквиум	ИД-1пк1 ИД-2пк1 ИД-1пк2 ИД-1пк4 ИД-2пк4
13	5-8	Кристаллохимия силикатов и алюмосиликатов	2	Коллоквиум	ИД-1пк1 ИД-2пк1 ИД-1пк2 ИД-1пк4 ИД-2пк4
14	5-8	Структуры силикатов с конечными линейными группами тетраэдров	2	Коллоквиум	ИД-1пк1 ИД-2пк1 ИД-1пк2 ИД-1пк4 ИД-2пк4
15	5-8	Кольцевые силикаты	2	Коллоквиум	ИД-1пк1

					ИД-2пк1 ИД-1пк2 ИД-1пк4 ИД-2пк4
16	5-8	Цепочечные силикаты и алюмосиликаты	4	Коллоквиум	ИД-1пк1 ИД-2пк1 ИД-1пк2 ИД-1пк4 ИД-2пк4
17	5-8	Слоистые силикаты	2	Коллоквиум	ИД-1пк1 ИД-2пк1 ИД-1пк2 ИД-1пк4 ИД-2пк4
18	5-8	Каркасные алюмосиликаты	6	Контрольная работа	ИД-1пк1 ИД-2пк1 ИД-1пк2 ИД-1пк4 ИД-2пк4
19	5-8	Кристаллохимия минералов и неорганических соединений с комплексами анионцентрированных тетраэдров	2	Коллоквиум	ИД-1пк1 ИД-2пк1 ИД-1пк4 ИД-2пк4
		Всего	72		

4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа студентов нацелена на подготовку к практическому занятию и выполняется в целях более объемного восприятия изучаемого материала, систематизации знаний по курсу и «встраивания» новых знаний в систему полученных ранее, выявления недостаточного понимания отдельных аспектов темы. Обучающемуся необходимо: изучить лекционный материал по заданной теме, рекомендованные основную и дополнительную литературу; запомнить определения базовых понятий по изучаемой теме; выполнить задания, рекомендованные для самостоятельного решения при подготовке к занятию. Контроль самостоятельной работы студентов осуществляется в процессе проведения лекционных занятий по разделам и темам учебной дисциплины, а также во время практических занятий и включает в себя проверку контрольных работ, подготовки докладов и презентаций.

Основные оценочные средства самостоятельной работы студентов являются собеседование, коллоквиум и контрольные работы, приводящиеся во время практических занятий по окончании освоения разделов программы.

В рамках дисциплины запланирована самостоятельная работа студентов по следующему перечню тем:

Раздел 1. Введение в кристаллографию. Симметрия кристаллов

Самостоятельная работа студента включает следующие формы работ: усвоение содержания конспекта лекций на базе рекомендованной лектором учебной литературы; подготовка к коллоквиуму; решение упражнений и задач по образцу, разобранному на практическом занятии; подготовка к контрольной работе.

Раздел 2. Рост кристаллов. Кристаллогенезис

Самостоятельная работа студента включает следующие формы работ: изучение лекционного материала; подготовка к коллоквиуму; решение упражнений и задач по пройденной теме; подготовка к контрольной работе.

Раздел 3. Символы граней и ребер кристаллов

Самостоятельная работа студента включает следующие формы работ: работа с текстами учебника, конспекта лекции; подготовка к коллоквиуму; решение упражнений и задач по определению символов граней кристаллов; подготовка к контрольной работе.

Раздел 4. Основы кристаллохимии. Симметрия кристаллических структур

Самостоятельная работа студента включает следующие формы работ: выполнение домашнего задания, выдаваемого на практических занятиях; углубленный анализ научно-методической литературы; подготовка к контрольной работе.

Раздел 5. Атом и химическая связь в кристаллах

Самостоятельная работа студента включает следующие формы работ: формирование и усвоение содержания конспекта лекций на базе рекомендованной лектором учебной литературы, включая информационные образовательные ресурсы; поиск (подбор) и обзор литературы и электронных источников информации по индивидуально заданной проблеме курса; подготовка к контрольной работе; подготовка к экзамену.

Раздел 6. Принципы формирования и описания кристаллических структур

Самостоятельная работа студента включает следующие формы работ: поиск, подбор и обзор литературы и электронных источников информации по теме; подготовка к коллоквиуму; углубленный анализ научно-методической литературы; подготовка к контрольной работе; подготовка к экзамену.

Раздел 7. Кристаллохимические явления. Систематика и номенклатура кристаллохимических явлений. Полиморфизм. Политипия. Изоморфизм. Морфотропия.

Самостоятельная работа студента включает следующие формы работ: изучение лекционного материала, предусматривающие проработку конспекта лекций и учебной литературы; подготовка к контрольной работе; подготовка к экзамену.

Раздел 8. Основы высокотемпературной и динамической кристаллохимии. Термические и барические деформации веществ.

Самостоятельная работа студента включает следующие формы работ: изучение лекционного материала, предусматривающее проработку конспекта лекций; поиск, подбор и обзор литературы и электронных источников информации по теме; подготовка к коллоквиуму; углубленный анализ научно-методической литературы; подготовка к контрольной работе; подготовка к экзамену.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 перечень основной и дополнительной литературы

основная литература

1. Егоров-Тисменко Ю.К. Кристаллография и кристаллохимия, М: изд-во Книжный дом «Университет», 2014, 588 с.
2. Егоров-Тисменко Ю.К. Кристаллография и кристаллохимия, М: изд-во Книжный дом «Университет», 2005, 520 с.
3. Егоров-Тисменко Ю.К., Литвинская Г.П., Загальская Ю.Г. Кристаллография, М.: изд-во МГУ, 1992, 288 с.
4. Зоркий. П.М. Задачник по кристаллохимии и кристаллографии. М.: изд-во МГУ, 1981, 40 с. Электронный доступ: <http://www.chem.msu.su/rus/teaching/zorkii1/all.pdf>.
5. Зоркий П.М. Симметрий молекул и кристаллических структур. М.: изд-во МГУ, 1986, 232 с. Электронный доступ: <http://www.chem.msu.su/rus/teaching/zorkii2/all.pdf>
6. Урусов В.С. Теоретическая кристаллохимия. М., МГУ, 1987. Электронный доступ: <http://www.chem.msu.su/rus/teaching/urusov/welcome.html>

дополнительная литература

1. Филатов С.К., Кривовичев С.В., Бубнова Р.С. Общая кристаллохимия. СПб.: изд-во С.-Петерб. Ун-та, 2018, 276 с.

2. Филатов С.К., Кривовичев С.В., Бубнова Р.С. Систематическая кристаллохимия. СПб.: изд-во С.-Петерб. Ун-та, 2019, 231 с.
3. Завьялов Е.Н. Кристаллография: Основные представления о кристаллах, кристаллических веществах и методах их изучения. Задачи по геометрической кристаллографии и анализ их решений. М: изд-во Книжный дом «Университет», «Университетская книга», 2016, 314 с.
4. Егоров-Тисменко Ю.К. «Руководство к практическим занятиям по кристаллографии», М: Изд-во МГУ, 2010, 208 с.
5. Урусов В.С., Еремин Н.Н. «Кристаллохимия. Краткий курс» М.: изд-во МГУ, 2010, 258 с.
6. Загальская Ю.Г., Литвинская Г.П., Егоров-Тисменко Ю. К. «Геометрическая кристаллография», 2-е изд., М.: изд-во МГУ, 1986, 166 с.
7. Загальская Ю.Г., Литвинская Г.П., Егоров-Тисменко Ю.К. «Руководство к практическим занятиям по кристаллохимии», М.: изд-во МГУ, 1983, 167 с.
8. Егоров-Тисменко Ю.К., Литвинская Г.П. «Теория симметрии кристаллов», М.: изд-во ГЕОС, 2000, 394 с.
9. Попов Г.М., Шафрановский И.И. «Кристаллография», 5-е изд., М.: изд-во Высшая школа, 1972, 352 с.
10. Еремин Н.Н., Еремина Т.А. «Занимательная кристаллография», М: МЦНМО, 2013, 127 с.
11. Пущаровский Д.Ю. «Рентгенография минералов». М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2000, 292 с.
12. Шаскольская М.П. Кристаллография. М.: изд-во Высшая школа, 1984, 375 с.
13. Современная кристаллография, т. 2. Структура кристаллов. /Ред. Б.К. Вайнштейн. М., Наука, 1979, 360 с.
14. Урусов В.С. Теоретическая кристаллохимия. М.: МГУ, 1987, 275 с.
15. Белов Н.В. Очерки по структурной минералогии. М.: Недра, 1976.
16. Бокий Г.Б. Кристаллохимия. М.: Наука, 1973, 344 с.
17. Ворошилов Ю.В. Павлишин В.И. «Основы кристаллографии и кристаллохимии. Рентгенография кристаллов» Киев: КНТ, 2011. 568 с.

5.2 периодические издания

1. Журнал "Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials" Электронный адрес: <https://www.journals.elsevier.com/progress-in-crystal-growth-and-characterization-of-materials>.
2. Журнал "IUCrJ" Электронный адрес: <https://journals.iucr.org/m/>.
3. Журнал "Crystal Growth & Design" Электронный адрес: <https://pubs.acs.org/journal/cgdefu>.
4. Журнал "CrystEngComm" Электронный адрес: <https://www.rsc.org/journals-books-databases/about-journals/crystengcomm/>.
5. Журнал "Journal of Applied Crystallography" Электронный адрес: <https://journals.iucr.org/j/>.
6. Журнал "Crystals" Электронный адрес: <https://www.mdpi.com/journal/crystals>.
7. Журнал "Crystallography Reviews" Электронный адрес: <https://www.tandfonline.com/toc/gcrys20/current>.
8. Журнал "Acta Crystallographica A – Foundation and Advances" Электронный адрес: <https://journals.iucr.org/a/>.
9. Журнал "Structural Chemistry" Электронный адрес: <https://www.springer.com/journal/10947>.
10. Журнал "Journal of Crystal Growth" Электронный адрес: <https://www.journals.elsevier.com/journal-of-crystal-growth>.

11. Журнал "Crystal Research and Technology" Электронный адрес: <https://onlinelibrary.wiley.com/journal/15214079>.
12. Журнал "Zeitschrift fur Kristallographie-Crystalline Materials" Электронный адрес: <https://www.degruyter.com/journal/key/zkri/html>.
13. Журнал "Acta Crystallographica Section C – Structural Chemistry" Электронный адрес: <https://journals.iucr.org/c/>.
14. Журнал "Кристаллография" Электронный адрес: <https://sciencejournals.ru/journal/krist/>.
15. Журнал "Journal of Chemical Crystallography" Электронный адрес: <https://www.springer.com/journal/10870>.
16. Журнал "Zeitschrift fur Kristallographie-New Crystal Structures" Электронный адрес: <https://www.degruyter.com/journal/key/ncrs/html>.
17. Журнал "Записки Российской Минералогического общества" Электронный адрес: <https://zrmo.org/ru/>.
18. Журнал "American Mineralogist" Электронный адрес: <http://www.minsocam.org/msa/ammin/ammineral.html>.
19. Журнал "Minerals" Электронный адрес: <https://www.mdpi.com/journal/minerals>.
20. Журнал "Mineralogical Magazine" Электронный адрес: <https://www.cambridge.org/core/journals/mineralogical-magazine>.
21. Журнал "Mineralogy and Petrology" Электронный адрес: <https://www.springer.com/journal/710>.
22. Журнал "European Journal of Mineralogy" Электронный адрес: <https://www.european-journal-of-mineralogy.net/>.
23. Журнал "Physics and Chemistry of Minerals" Электронный адрес: <https://www.springer.com/journal/269>.
24. Журнал "Canadian Mineralogist" Электронный адрес: <https://pubs.geoscienceworld.org/canmin>.
25. Журнал "Journal of Solid State Chemistry" Электронный адрес: <https://www.journals.elsevier.com/journal-of-solid-state-chemistry>.

5.3. базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. <http://rruff.geo.arizona.edu/AMS/amcsd.php> - база данных кристаллических структур American Mineralogist.
2. <http://www.mindat.org/> - база данных минералов
3. <http://www.webmineral.com/> - база данных минералов
4. <http://database.iem.ac.ru/mincryst/> - база данных кристаллических структур МИНКРИСТ.

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Учебно-лабораторное оборудование:

Аудитория, оснащенная ноутбуком, мультимедийным проектором, проекционным экраном. Аудитория оснащена доступом в сеть интернет.

6.2. Программное обеспечение:

Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение: программный пакет Office.

VESTA (jp-minerals.org/vesta/en/download.html) – свободно распространяемое программное обеспечение для визуализации форм кристаллов

<http://www.shapesoftware.com/> - свободно распространяемое программное обеспечение для визуализации кристаллов и кристаллических структур;

Kristall2000 - свободно распространяемое программное обеспечение для визуализации форм кристаллов

6.3. Технические и электронные средства обучения:
Мультимедийный проектор и проекционный экран, ноутбук.

7. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Для реализации познавательной и творческой активности обучающихся и с целью повышения качества и эффективности усвоения знаний в процессе освоения дисциплины используются следующие образовательные технологии: лекционно-семинарское обучение, исследовательский метод в обучении, информационно-коммуникационные технологии, технология развития критического мышления.

8. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Оценка качества освоения дисциплины включает текущий контроль успеваемости и промежуточную аттестацию обучающихся. Текущий контроль является системным и проводится в формате индивидуального или группового собеседования после изучения каждого модуля с целью проверить понимание терминологии, умение оперировать элементами симметрии и определять характеристики кристалла, умение анализировать кристаллические структуры, объяснять их особенности. Текущий контроль успеваемости осуществляется в формах:

1 семестр:

- оценка текущей активной работы студента на лекционных занятиях и на семинарских занятиях – коллоквиуме (до 36 баллов).

Видом промежуточной аттестации является зачет (собеседование) в 1 семестре.

2 семестр:

- оценка текущей активной работы студента на лекционных занятиях и на семинарских занятиях – коллоквиуме (до 36 баллов);

- проведение индивидуальной работы по разбору научной статьи и представление ее результатов в виде доклада с презентацией на семинаре (до 20 баллов).

Видом промежуточной аттестации является экзамен (тест/собеседование) во 2 семестре.

Результативность обучения складывается из суммы полученных баллов.

При использовании балльно-рейтинговой системы оценки качества знаний обучающегося устанавливается следующее соотношение набранных баллов с критериями оценки:

1 семестр:

40–65 баллов – «Зачет»;

39 баллов и менее – «Незачет»;

2 семестр:

31–56 баллов – «Допуск к экзамену»;

30 баллов и менее – «Не допуск к экзамену».

Критерии оценивания результатов экзамена (собеседования):

«Неудовлетворительно» – знания, умения и навыки формируемых компетенций отсутствуют.

«Удовлетворительно» - наличие фрагментарных знаний; в целом успешные, но несистематические умения, студент допускает неточности непринципиального характера; фрагментарное владение методами, структурной систематикой, наличие отдельных навыков.

«Хорошо» - общие, но не структурированные знания; в целом успешные, но содержащие пробелы умения; наличие в целом сформированных навыков построения проекций, анализа кристаллических многогранников и структур, структурной

систематики неорганических кристаллов, владения современными программами визуализации кристаллических структур.

«Отлично» - наличие систематических знаний; успешное умение проводить анализ симметрии, пользоваться современными базами кристаллохимических данных, давать полное описание кристаллической структуры по ее модели, чертежу, высказывать предположение о физических свойствах кристаллического соединения по его структуре; владение методами построения проекций и анализа кристаллических многогранников и структур, успешное владение структурной систематикой неорганических кристаллов, современными программами визуализации кристаллических структур, способами описания кристаллических структур.

Этапы формирования компетенций (индикаторов достижения компетенций) и их показателей (дескрипторов)

Компетенция ПК-1

Наименование раздела / темы (в соответствии с таблицей п.4.1)	ИД-1пк1										ИД-2пк1				
	3-1	3-2	У-1	У-2	У-3	В-1	В-2	В-3	В-4	В-5	3-1	3-2	3-3	У-1	В-1
Раздел 1. Введение в кристаллографию. Симметрия кристаллов	+										+				
Раздел 2. Рост кристаллов. Кристаллогенезис	+	+									+			+	
Раздел 3. Символы граней и ребер кристаллов		+										+			
Раздел 4. Основы кристаллохимии. Симметрия кристаллических структур						+	+	+	+			+			+
Раздел 5. Атом и химическая связь в кристаллах	+	+										+			
Раздел 6. Принципы формирования и описания кристаллических структур			+	+	+						+				+
Раздел 7. Кристаллохимические явления. Систематика и номенклатура кристаллохимических явлений. Полиморфизм. Политипия. Изоморфизм. Морфотропия.			+	+	+								+	+	
Раздел 8. Основы высокотемпературной и динамической кристаллохимии. Термические и барические деформации веществ.			+	+	+						+	+		+	+

Компетенция ПК-2

Наименование раздела / темы (в соответствии с таблицей п.4.1)	ИД-1пк2					ИД-2пк2						
	3-1	У-1	У-2	В-1	В-2	3-1	3-2	3-3	3-4	У-1	В-1	В-2
Раздел 1. Введение в кристаллографию. Симметрия кристаллов						+	+					
Раздел 2. Рост кристаллов. Кристаллогенезис						+			+			
Раздел 3. Символы граней и ребер кристаллов					+							+
Раздел 4. Основы кристаллохимии. Симметрия кристаллических структур				+								+
Раздел 5. Атом и химическая связь в кристаллах									+			+
Раздел 6. Принципы формирования и описания кристаллических структур	+	+	+			+				+	+	
Раздел 7. Кристаллохимические явления. Систематика и номенклатура кристаллохимических явлений. Полиморфизм. Политипия. Изоморфизм. Морфотропия.	+							+				+

Раздел 8. Основы высокотемпературной и динамической кристаллохимии. Термические и барические деформации веществ.		+	+		+	+	+		+				
---	--	---	---	--	---	---	---	--	---	--	--	--	--

Компетенция ПК-3

Наименование раздела / темы (в соответствии с таблицей п.4.1)	ИД-1пкз						ИД-2пкз							
	3-1	У-1	У-2	В-1	3-1	3-2	3-3	У-1	У-2	У-3	У-4	В-1	В-2	
Раздел 1. Введение в кристаллографию. Симметрия кристаллов					+	+								
Раздел 2. Рост кристаллов. Кристаллогенезис														
Раздел 3. Символы граней и ребер кристаллов					+	+								
Раздел 4. Основы кристаллохимии. Симметрия кристаллических структур					+	+								
Раздел 5. Атом и химическая связь в кристаллах			+		+	+								
Раздел 6. Принципы формирования и описания кристаллических структур	+	+		+	+	+	+	+		+	+	+	+	
Раздел 7. Кристаллохимические явления. Систематика и номенклатура кристаллохимических явлений. Полиморфизм. Политипия. Изоморфизм. Морфотропия.			+				+	+	+		+			+
Раздел 8. Основы высокотемпературной и динамической кристаллохимии. Термические и барические деформации веществ.	+		+				+		+		+			+

Компетенция ПК-4

Наименование раздела / темы (в соответствии с таблицей п.4.1)	ИД-1пк4						ИД-2пк4		
	3-1	3-2	У-1	У-2	В-1	В-2	3-1	У-1	В-1
Раздел 1. Введение в кристаллографию. Симметрия кристаллов						+			
Раздел 2. Рост кристаллов. Кристаллогенезис	+					+	+		
Раздел 3. Символы граней и ребер кристаллов	+		+		+				
Раздел 4. Основы кристаллохимии. Симметрия кристаллических структур	+		+	+	+		+		
Раздел 5. Атом и химическая связь в кристаллах	+					+	+		
Раздел 6. Принципы формирования и описания кристаллических структур	+	+	+	+	+		+	+	+
Раздел 7. Кристаллохимические явления. Систематика и номенклатура кристаллохимических явлений. Полиморфизм. Политипия. Изоморфизм. Морфотропия.	+	+	+		+		+	+	+
Раздел 8. Основы высокотемпературной и динамической кристаллохимии. Термические и барические деформации веществ.	+	+	+		+		+	+	

Соотнесение оценочных материалов текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации с результатами обучения

Индекс компетенции	Индекс индикатора достижения компетенции	Индекс дескриптора индикатора достижения компетенции <i>(в соответствии с разделом 3 настоящей РПД)</i>	Номера заданий / вопросов, из оценочных материалов контроля текущей успеваемости, позволяющих оценить степень сформированности дескриптора компетенции	Номера вопросов из оценочных материалов промежуточной аттестации, позволяющих оценить степень сформированности дескриптора компетенции
ПК-1	ИД-1пк1	3-1	1, 5, 6, 10	1, 2, 3, 9, 13
		3-2	2, 3, 8, 12	2, 3, 5, 14
		У-1	2, 11, 12	4, 5, 7, 15
		У-2	1, 5, 11, 12	5, 15
		У-3	4	5, 7, 15
		В-1	2	9, 11, 14
		В-2	2	9, 11, 14
		В-3	2	9, 11, 14
		В-4	5	9, 11, 14
		В-5	7	11, 12
ПК-2	ИД-1пк2	3-1	2,3	4, 5, 6, 7, 12
		3-2	2	9, 11, 14
		3-3	8	10, 13
		У-1	9	3, 5, 8
		В-1	8, 9	10
	ИД-2пк2	3-1	9	5, 16
		У-1	2	8
		У-2	2, 6, 9, 12	8
		В-1	3, 7	12, 16
		В-2	5	5
ПК-3	ИД-1пк3	3-1	7	12
		3-2	7	16
		3-3	4	5
		3-4	8, 10	1, 6
	ИД-2пк3	У-1	12	6
		В-1	3	5, 6
		В-2	5	6, 16
		3-1	3	3, 8
		У-1	2, 6, 9, 12	12
		У-2	3	7, 8, 12
ПК-4	ИД-1пк4	В-1	7	12
		3-1	1, 2, 3, 4	1, 2, 3, 5, 9, 13
		3-2	3, 4, 6	1, 2, 3, 9, 15
		3-3	3, 4, 6	3, 10
		У-1	4, 5	10, 16
		У-2	2	4, 9
		У-3	5	9
		У-4	5	10
		В-1	7	16
		В-2	7	4, 16

		3-2	6	16
		У-1	4	4, 16
		У-2	5	4, 16
		В-1	4	4, 16
		В-2	4	10, 16
	ИД-1пк4	3-1	10	4
		У-1	3, 4, 9	10, 16
		В-1	9	10, 16

8.1. Оценочные материалы для текущего контроля:

Оценивание происходит по совокупности следующих критериев:

1) Знание и понимание теоретического материала (2 балл):

Отлично: свободное владение терминологией, точность формулировок законов и определений, понимание физического/математического смысла явлений.

Удовлетворительно: воспроизведение основных формулировок с незначительными ошибками, затруднения в объяснении глубинной сути понятий.

Неудовлетворительно: незнание ключевых определений, неспособность ответить на прямые вопросы по теории.

2) Умение анализировать и устанавливать причинно-следственные связи (1 балл):

Отлично: студент не просто пересказывает материал, но может сравнить явления (напр., полиморфизм и политипию), объяснить тенденции (напр., изменение радиуса иона), предсказать свойства на основе структуры.

Удовлетворительно: анализ проводится с помощью наводящих вопросов преподавателя, связи устанавливаются с трудом.

Неудовлетворительно: ответы носят сугубо репродуктивный характер, анализ отсутствует.

3) Навык демонстрации знаний на практических примерах (1 балл):

Отлично: приводит точные и уместные примеры без подсказки, иллюстрируя теоретические положения.

Удовлетворительно: примеры приводятся после наводки или являются общеизвестными (алмаз/графит), иногда не совсем точны.

Неудовлетворительно: не может привести ни одного примера.

4) Логичность, структурированность ответа и культура речи (0,5 балл):

Отлично: ответ логично выстроен, ясен, последователен.

Удовлетворительно: ответ требует уточнения и структурирования со стороны преподавателя.

Неудовлетворительно: ответ бессистемный, непоследовательный.

Итоговая оценка за собеседование:

«Отлично»: 4-4,5 балла.

«Хорошо»: 3 балла.

«Удовлетворительно»: 2,5 балла.

«Неудовлетворительно»: 2,5 баллов и менее.

Темы собеседований по разделам:

Раздел 1. Введение в кристаллографию. Симметрия кристаллов

Тема 1: Элементы симметрии I и II рода. Взаимодействие элементов симметрии (осевая теорема Эйлера). Вывод простых точечных групп симметрии (на примере $2/m$, $mm2$, 222).

Тема 2: Кристаллографические системы (сингонии). Международная символика (Германна-Могена) для точечных групп низшей и средней категории. Принципы построения.

Раздел 2. Рост кристаллов. Кристаллогенезис

Тема 1: Механизмы роста кристаллов. Связь между механизмом роста и морфологией кристалла (образование идиоморфных, ксеноморфных зерен).

Тема 2: Классификация структурных дефектов в кристаллах (точечные, линейные, плоскостные) и их влияние на физические свойства кристаллов.

Раздел 3. Символы граней и ребер кристаллов

Тема 1: Закон Гаюи (рациональности отношений параметров) как основа для введения символов Миллера (hkl).

Тема 2: Закон поясов (Вейсса). Связь между символами граней и ребер. Определение ребра как линии пересечения двух граней.

Раздел 4. Основы кристаллохимии. Симметрия кристаллических структур

Тема 1: Основной закон кристаллографии (связь симметрии кристалла с симметрией его атомного строения). Отличие точечной группы от пространственной.

Тема 2: Пространственные группы симметрии: общее понятие, как сочетаются трансляции и точечная симметрия. Базовые принципы международной записи ($P2_1/c$, $Fm-3m$ и др.).

Раздел 5. Атом и химическая связь в кристаллах

Тема 1: Типы химической связи в кристаллах (ионная, ковалентная, металлическая, ван-дер-ваальсова, водородная). Их основные характеристики и влияние на свойства (твёрдость, электропроводность).

Тема 2: Понятие эффективных ионных и атомных радиусов. Правило Полинга для определения радиусов. Зависимость радиуса от координационного числа и валентного состояния.

Раздел 6. Принципы формирования и описания кристаллических структур

Тема 1: Принцип плотнейших упаковок (ГПУ и ГЦК). Типы и количество пустот в них. Заполнение пустот - как основа формирования структур многих классов соединений.

Тема 2: Координационные полиэдры. Первое и второе правила Полинга (критерии формирования полиэдров и электростатическая валентность).

Раздел 7. Кристаллохимические явления

Тема 1: Полиморфизм и политипия: сходство и фундаментальные различия. Примеры (алмаз/графит/лонсдейлит vs политипы SiC , ZnS).

Тема 2: Изоморфизм. Размерный и энергетический критерии изоморфного замещения. Понятие о твердых растворах замещения. Примеры изоморфных рядов (оливины, плагиоклазы).

Раздел 8. Основы высокотемпературной и динамической кристаллохимии

Тема 1: Термическое расширение кристаллов: общие закономерности и аномалии (отрицательное термическое расширение). Связь характера расширения с типом химической связи и структурными особенностями.

Тема 2: Влияние высокого давления на кристаллическую структуру: общие тенденции (увеличение координационных чисел, уплотнение упаковки, фазовые переходы). Примеры (полиморфные переходы в SiO_2 , углероде).

Итоговое собеседование представляет собой индивидуальную работу студента по разбору современной научной статьи по кристаллографии или кристаллохимии его результатов в виде доклада с презентацией на семинаре анализа. Студент выбирает статью из рецензируемого журнала, проводит ее детальный разбор и готовит краткий доклад с презентацией. В выступлении необходимо раскрыть актуальность работы, используемые авторами методы, ключевые полученные результаты, описание кристаллической структуры. Презентация должна быть лаконичной и наглядной, содержать основные иллюстрации (кристаллические структуры, графики, таблицы с данными) и укладываться в регламент 7-10 минут. Основная цель - продемонстрировать не просто умение пересказать содержание, а способность к глубокому осмыслинию материала, владение профессиональной терминологией и понимание связей между структурой и свойствами кристаллов. Оценка (до 20 баллов) выставляется по совокупности критериев: глубины понимания материала, качества оформления и ясности презентации, навыков устного

выступления и способности аргументированно отвечать на вопросы по теме статьи.

Материалы для проведения текущего контроля знаний студентов:

№ п/н	Вид контроля	Контролируемые темы (разделы)	Индикаторы достижения компетенций (компоненты), которые контролируются
1	Собеседование	Раздел 1. Введение в кристаллографию. Симметрия кристаллов	ИД-1_ПК1 ИД-2_ПК1 ИД-2_ПК2 ИД-2_ПК3 ИД-2_ПК4
2	Собеседование	Раздел 2. Рост кристаллов. Кристаллогенезис	ИД-1_ПК1 ИД-2_ПК1 ИД-2_ПК2 ИД-1_ПК4 ИД-2_ПК4
3	Собеседование	Раздел 3. Символы граней и ребер кристаллов	ИД-1_ПК1 ИД-2_ПК1 ИД-1_ПК2 ИД-2_ПК2 ИД-2_ПК3 ИД-1_ПК4
4	Собеседование	Раздел 4. Основы кристаллохимии. Симметрия кристаллических структур	ИД-1_ПК1 ИД-2_ПК1 ИД-1_ПК2 ИД-2_ПК2 ИД-2_ПК3 ИД-1_ПК4 ИД-2_ПК4
5	Собеседование	Раздел 5. Атом и химическая связь в кристаллах	ИД-1_ПК1 ИД-2_ПК1 ИД-2_ПК2 ИД-1_ПК3 ИД-2_ПК3 ИД-1_ПК4 ИД-2_ПК4
6	Собеседование	Раздел 6. Принципы формирования и описания кристаллических структур	ИД-1_ПК1 ИД-2_ПК1 ИД-1_ПК2 ИД-2_ПК2 ИД-1_ПК3 ИД-2_ПК3 ИД-1_ПК4 ИД-2_ПК4
7	Собеседование	Раздел 7. Кристаллохимические явления. Систематика и номенклатура кристаллохимических явлений. Полиморфизм. Политипия. Изоморфизм. Морфотропия.	ИД-1_ПК1 ИД-2_ПК1 ИД-1_ПК2 ИД-2_ПК2 ИД-1_ПК3 ИД-2_ПК3 ИД-1_ПК4 ИД-2_ПК4
8	Собеседование	Раздел 8. Основы высокотемпературной и динамической кристаллохимии. Термические и барические деформации веществ.	ИД-1_ПК1 ИД-2_ПК1 ИД-1_ПК2 ИД-2_ПК2 ИД-1_ПК3 ИД-2_ПК3 ИД-1_ПК4 ИД-2_ПК4

8.2 Оценочные материалы для промежуточной аттестации

Спецификация тестовых заданий для промежуточной аттестации

Для проведения зачета по дисциплине «Кристаллография и кристаллохимия» используется комплект тестовых заданий, которые содержат 7 заданий базового уровня сложности, 3 задания повышенного уровня сложности, 2 задания высокого уровня сложности и направлены на оценку сформированности следующих компетенций (индикаторов достижения компетенций) ПК-1 (ИД-1пк₁, ИД-2пк₁), ПК-2 (ИД-1пк₂, ИД-2пк₂), ПК-3 (ИД-1пк₃, ИД-2пк₃), ПК-4 (ИД-1пк₄, ИД-2пк₄).

Для проведения экзамена по дисциплине «Кристаллография и кристаллохимия» используется комплект тестовых заданий, которые содержат 8 заданий базового уровня сложности, 4 задания повышенного уровня сложности, 4 задания высокого уровня сложности и направлены на оценку сформированности следующих компетенций (индикаторов достижения компетенций) ПК-1 (ИД-1пк₁, ИД-2пк₁), ПК-2 (ИД-1пк₂, ИД-2пк₂), ПК-3 (ИД-1пк₃, ИД-2пк₃), ПК-4 (ИД-1пк₄, ИД-2пк₄).

Время на выполнение тестовых заданий для зачета - 25 минут, для экзамена - 40 минут.

Максимальная сумма баллов за правильное выполнение всех тестовых заданий: для зачета - 29, для экзамена - 34.

№ тестового задания для проведения зачета	№ тестового задания для проведения экзамена	Тип тестового задания	Сценарий выполнения тестового задания	Уровень сложности	Контролируемый ИДК	Балл
1-5	1-5	Закрытого типа на выбор одного правильного ответа	Выбрать один правильный ответ из приведенных вариантов. Ответ записать в виде цифры в поле ответа.	Базовый	ИД-1пк ₁ ИД-2пк ₁ ИД-1пк ₂ ИД-2пк ₂ ИД-1пк ₃ ИД-2пк ₃ ИД-1пк ₄ ИД-2пк ₄	1
6, 7	6-8	Закрытого типа на выбор нескольких правильных ответов	Выбрать два или три правильных ответа из приведенных вариантов. Ответ записать в виде цифры в поле ответа.	Базовый	ИД-1пк ₁ ИД-2пк ₁ ИД-1пк ₂ ИД-2пк ₂ ИД-1пк ₃ ИД-2пк ₃ ИД-1пк ₄	2
8, 9	9, 10	Закрытого типа на установление соответствия	Установить соответствие между значениями в двух колонках Ответ записать в виде комбинации цифр и букв	Повышенный	ИД-1пк ₁ ИД-2пк ₁ ИД-1пк ₂ ИД-1пк ₃ ИД-2пк ₃ ИД-1пк ₄ ИД-2пк ₄	3
10	11, 12	Закрытого типа на установление последовательности	Установить правильную последовательность. Ответ запишите в виде последовательности цифр, соответствующих предложенным вариантам в поле ответов	Повышенный	ИД-1пк ₁ ИД-2пк ₁ ИД-1пк ₂ ИД-2пк ₂ ИД-1пк ₃	4

11, 12	13-16	Открытого типа с развернутым ответом	Сформулируйте ответ и запишите в поле ответа	Высокий	ИД-1пк1 ИД-2пк1 ИД-1пк2 ИД-2пк2 ИД-2пк3 ИД-1пк4 ИД-2пк4	5
--------	-------	--------------------------------------	--	---------	---	---

Для выполнения заданий в рамках промежуточной аттестации обучающимся могут быть предоставлены следующие дополнительные материалы: справочные и методические материалы (раздаются каждому студенту или предоставляются в аудитории), таблица кристаллографических точечных групп (классов) симметрии с указанием сингоний, международных и русских обозначений, таблица ионных радиусов Шеннона для основных катионов и анионов, периодическая система химических элементов Д.И. Менделеева.

Критерии оценивания:

Для зачета

Оценка	Суммарный балл за выполнение тестовых заданий
зачтено	20-29
незачтено	0-19

Для экзамена

Оценка	Суммарный балл за выполнение тестовых заданий
отлично	36-45
хорошо	29-35
удовлетворительно	23-28
неудовлетворительно	0-22

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЗАЧЕТА

Вариант 1

1. Кто впервые сформулировал закон постоянства углов в кристаллах?

- А. Рене Гаюи
- Б. Николай Стено
- В. Евграф Федоров
- Г. Огюст Браве

Ответ: _____

2. Какой элемент симметрии относится к I роду?

- А. Плоскость симметрии
- Б. Инверсионная ось
- В. Ось 4-го порядка
- Г. Скользящая плоскость

Ответ: _____

3. Какой параметр характеризует способность атома притягивать электроны в химической связи?

- А. Валентность
- Б. Электроотрицательность
- В. Радиус атома
- Г. Степень окисления

Ответ: _____

4. Какое явление характеризуется разными типами упаковки одинаковых слоев?

- А. Политипия
- Б. Морфотропия
- В. Антитипия
- Г. Гомеотипия

Ответ: _____

5. Почему ось 5-го порядка невозможна в кристаллах?

- А. Она не совместима с трансляционной симметрией
- Б. Она нарушает закон постоянства равных углов
- В. Она не описана в теории групп

Ответ: _____

6. Какие элементы симметрии II рода существуют в кристаллах? (Выберите 2 варианта)

- А. Зеркально-поворотная ось
- Б. Винтово-разворотная ось
- В. Центр антисимметрии
- Г. Плоскость скользящего отражения

Ответ: _____

7. Какие методы используются в рентгеновской кристаллографии? (Выберите 2 варианта)

- А. Метод Лауз
- Б. Метод Вернейля
- В. Метод Брэгга
- Г. Метод Чохральского

Ответ: _____

8. Установите соответствие между сингонией и её параметрами:

Сингония	Параметры ячейки
А. Триклинная	1. $a \neq b \neq c; \alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$
Б. Ромбическая	2. $a \neq b \neq c; \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
В. Гексагональная	3. $a = b \neq c; \alpha = \beta = 90^\circ; \gamma = 120^\circ$

Ответ:

A	B	C

9. Установите соответствие между типом связи и примером вещества:

- А. Ковалентная
Б. Ионная
В. Металлическая

1. Медь (Cu)
2. Хлорид натрия (NaCl)
3. Алмаз (C)

Ответ:

A	B	V

10. Расположите в хронологическом порядке развитие кристаллографии:

- А. Теория пространственных групп (Федоров)
Б. Открытие рентгеноструктурного анализа (Лауэ)
В. Закон постоянства углов (Стено)

Ответ:

11. Запишите символ Миллера для грани, отсекающей отрезки 1a, 1b, ∞ c.

Ответ:

12. Определите сингонию по параметрам ячейки: $a = b = c$; $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$.

Ответ:

Вариант 2

1. Кто впервые применил рентгеновские лучи для изучения кристаллов?

- А. Макс фон Лауэ
Б. Уильям Брэгг
В. Рене Жюст Гаюи
Г. Евграф Федоров

Ответ: _____

2. Какой элемент симметрии НЕ может существовать в кристаллической решетке?

- А. Ось 5-го порядка
Б. Ось 6-го порядка
В. Плоскость симметрии
Г. Центр симметрии

Ответ: _____

3. Какой тип плотнейшей упаковки имеет последовательность слоев АВАВ?

- А. Кубическая (ГЦК)

- Б. Гексагональная (ГПУ)
- В. Ромбоэдрическая
- Г. Примитивная

Ответ: _____

4. Какой тип изоморфизма возможен при разнице радиусов ионов до 15%?

- А. Блочный
- Б. Диагональный
- В. Полный
- Г. Ограниченный

Ответ: _____

5. Почему в плотнейших упаковках преобладают тетраэдрические и октаэдрические пустоты?

- А. Они имеют минимальную энергию
- Б. Они соответствуют наиболее компактному расположению атомов
- В. Они образуются только в металлах

Ответ: _____

6. Какие сингонии относятся к средней категории? (Выберите 2 варианта)

- А. Кубическая
- Б. Тетрагональная
- В. Гексагональная
- Г. Триclinная

Ответ: _____

7. Какие факторы влияют на величину ионного радиуса? (Выберите 2 варианта)

- А. Заряд ядра
- Б. Количество нейтронов на внешней оболочке
- В. Координационное число
- Г. Температура кристаллизации

Ответ: _____

8. Установите соответствие между методом выращивания кристаллов и его особенностью:

Метод	Особенность
А. Вернейля	1. Плавление порошка в кислородно-водородном пламени
Б. Чохральского	2. Вытягивание кристалла из расплава
В. Гидротермальный	3. Рост в водных растворах при высоком давлении

Ответ:

A	B	C

9. Установите соответствие между типом упаковки и примером вещества:

- | | |
|--------|---------------------------|
| А. ГПУ | 1. Железо (α -Fe) |
| Б. ГЦК | 2. Магний (Mg) |
| В. ОЦК | 3. Медь (Cu) |

Ответ:

A	B	V

10. Расположите этапы роста кристалла по мере их протекания:

- А. Образование зародышей
 Б. Нуклеация
 В. Рост граней
 Г. Формирование макроскопического кристалла

Ответ:

--	--	--	--

11. Какие параметры характеризуют триклинную сингонию?

Ответ:

12. К какой категории и сингонии относится пространственная группа R32?

Ответ:

КЛЮЧИ ПРАВИЛЬНЫХ ОТВЕТОВ К ТЕСТОВЫМ ЗАДАНИЯМ

Номер тестового задания	Правильные ответы	
	Вариант 1	Вариант 2
1	Б	А
2	В	А
3	Б	Б
4	А	В
5	А	Б
6	А, Г	Б, В
7	А, В	А, В
8	А1 Б2 В3	А1 Б2 В3
9	А3 Б2 В1	А2 Б3 В1
10	ВАБ	БАВГ
11	(1 1 0)	$a \neq b \neq c; \alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$
12	Кубическая	Средняя, тригональная

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКЗАМЕНА

Вариант 1

1. Кто впервые разработал метод выращивания монокристаллов путём вытягивания их вверх от свободной поверхности большого объёма расплава?

- А. Вернейль
- Б. Чохральский
- В. Бриджмен
- Г. Стокбаргер

Ответ: _____

2. Какая сингония относится к высшей категории симметрии?

- А. Триклинная
- Б. Кубическая
- В. Гексагональная
- Г. Ромбическая

Ответ: _____

3. Какие пустоты присутствуют в плотнейших упаковках?

- А. Тетраэдрические и октаэдрические
- Б. Кубические и гексагональные
- В. Тригональные и тетрагональные
- Г. Только октаэдрические

Ответ: _____

4. Что характеризует коэффициент термического расширения кристалла?

- А. Изменение объема при сдавливании
- Б. Относительное изменение параметров решетки при нагреве
- В. Скорость деформации под нагрузкой
- Г. Устойчивость к высоким давлениям

Ответ: _____

5. Почему графит и алмаз считаются полиморфными модификациями?

- А. Имеют разный химический состав
- Б. Обладают разными кристаллическими структурами при одинаковом составе
- В. Существуют при разных температурах

Ответ: _____

6. Какие факторы влияют на морфологию кристаллов? (Выберите 3 варианта)

- А. Цвет раствора
- Б. Отсутствие запаха
- В. Температура
- Г. Скорость роста
- Д. Наличие примесей

Ответ: _____

7. Какие факторы влияют на тип плотнейшей упаковки? (Выберите 2 варианта)

- А. Размер атомов
- Б. Цвет кристалла
- В. Химическая природа элементов
- Г. Температура плавления

Ответ: _____

8. Какие факторы влияют на полиморфные превращения? (Выберите 2 варианта)

- А. Магнитное поле
- Б. Температура
- В. Цвет кристалла
- Г. Давление

Ответ: _____

9. Установите соответствие между символом грани и её положением в кубической сингонии:

Символ	Положение
А. (100)	1. Грань, параллельная осям b и c
Б. (111)	2. Грань, равнонаклоненная к осям
В. (110)	3. Грань, пересекающая две оси под 90°

Ответ:

A	B	B

10. Установите соответствие между явлением и примером:

Явление	Пример
А. Полиморфизм	1. $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$ (оливин)
Б. Изоморфизм	2. Графит \rightleftharpoons алмаз
В. Морфотропия	3. $\text{NaCl} \rightarrow \text{CsCl}$ (при давлении)

Ответ:

A	B	B

11. Расположите этапы определения символа грани:

- А. Нахождение отрезков, отсекаемых на осях
- Б. Приведение к целым числам
- В. Взятие обратных величин
- Г. Запись индексов в круглых скобках

Ответ:

12. Расположите этапы термической деформации кристалла при нагреве:

- А. Увеличение амплитуды колебаний атомов
- Б. Изменение параметров решетки
- В. Фазовый переход (если есть)

Ответ:

--	--	--

13. Назовите два типа плотнейших упаковок.

Ответ:

14. Назовите элементы симметрии в группе $P6_3/mcm$

Ответ:

15. Сравните символы граней (123) и (246). В чём их различие?

Ответ:

16. Назовите координационное число для иона Na^+ в NaCl (структура типа галита).

Ответ:

Вариант 2

1. Какой тип связи преобладает в кристаллах NaCl ?

- А. Ковалентная
- Б. Ионная
- В. Металлическая
- Г. Ван-дер-ваальсова

Ответ: _____

2. Если грань отсекает на осях a , b , c отрезки $2:3:\infty$, её символ Миллера будет:

- А. (2 3 0)
- Б. (1 1.5 0)
- В. (6 4 0)
- Г. (3 2 0)

Ответ: _____

3. Какое явление описывает существование вещества в нескольких кристаллических формах?

- А. Политипия
- Б. Полиморфизм
- В. Изоморфизм
- Г. Морфотропия

Ответ: _____

4. Почему алмаз имеет высокую температуру плавления?

- А. Из-за металлической связи
- Б. Из-за ионной связи
- В. Из-за прочной ковалентной связи

Ответ: _____

5. Почему некоторые оксиды проявляют отрицательное термическое расширение?

- А. Из-за вращения полиэдров
- Б. Из-за увеличения межполиэдрических расстояний
- В. Из-за дислокационных движений полиэдров в отрицательном направлении

Ответ: _____

6. Какие типы дефектов встречаются в реальных кристаллах? (Выберите 2 варианта)

- А. Точечные (вакансии)
- Б. Идеальная псевдорешетка
- В. Дислокации
- Г. Аморфная структура

Ответ: _____

7. Какие свойства минералов зависят от типа упаковки? (Выберите 2 варианта)

- А. Твердость
- Б. Плотность
- В. Магнитные свойства
- Г. Прозрачность

Ответ: _____

8. Какие факторы влияют на термическое расширение кристаллов? (Выберите 2 варианта)

- А. Цвет кристалла
- Б. Магнитные свойства
- В. Тип химической связи
- Г. Координационное число

Ответ: _____

9. Установите соответствие между сингонией и её характеристиками:

- Сингония
А. Кубическая
Б. Гексагональная
В. Триclinная

- Элементы симметрии
1. Только центр симметрии
2. 4 оси 3-го порядка
3. 1 ось 6-го порядка

Ответ:

A	B	V

10. Установите соответствие между явлением и примером:

- | Явление | Пример |
|-----------------------------|---|
| А. Отрицательное расширение | 1. Цирконий-вольфрамат (ZrW_2O_8) |
| Б. Сдвиговая деформация | 2. Переход α -кварц \rightarrow β -кварц |
| В. Шарнирный механизм | 3. Деформация перовскитов |

Ответ:

A	B	V

11. Расположите этапы развития кристаллохимии в хронологическом порядке:

- А. Открытие дифракции рентгеновских лучей
Б. Формулировка закона постоянства углов
В. Создание теории пространственных групп

Ответ:

12. Расположите типы химических связей в порядке увеличения энергии связи:

- А. Водородная
Б. Ван-дер-ваальсова
В. Ионная
Г. Ковалентная

Ответ:

13. Что такое координационное число атома в кристаллической структуре?

Ответ:

14. Почему грань с символами (333) не используют в кристаллографии?

Ответ:

15. К какой категории и сингонии относится пространственная группа $P4_3$?

Ответ:

16. Назовите координационное число для иона Si^{4+} в SiO_4 (структура типа кварца).

Ответ:

КЛЮЧИ ПРАВИЛЬНЫХ ОТВЕТОВ К ТЕСТОВЫМ ЗАДАНИЯМ

Номер тестового задания	Правильные ответы	
	Вариант 1	Вариант 2
1	Б	Б
2	Б	Г
3	А	Б
4	Б	В
5	Б	А
6	ВГД	АВ
7	АВ	АБ
8	БГ	ВГ
9	А1 Б2 В3	А2 Б3 В1
10	А2 Б1 В3	А1 Б2 В3
11	АВБГ	БВА
12	АБВ	БАГВ
13	Гексагональная (или ГПУ), кубическая (или ГЦК)	Число ближайших соседних атомов/ионов вокруг центрального
14	Винтовая ось 6 ₃ , зеркальные плоскости, центр симметрии	Индексы должны быть приведены к наименьшим целым числам – правильная запись (111)
15	Это одна и та же грань, но (246) не приведена к наименьшим целым числам	Средняя, тетрагональная
16	6 (или октаэдр)	4 (или тетраэдр)

Автор-составитель рабочей программы:

С.н.с., к.г.-м.н. Канева Екатерина Владимировна

Настоящая программа, не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения отдела магистратуры и аспирантуры ИГХ СО РАН.