

ПРОГРАММА-МИНИМУМ

кандидатского экзамена по специальности

25.00.05 «Минералогия, кристаллография»

по физико-математическим, географическим

и геолого-минералогическим наукам

Программа-минимум
содержит 16 стр.

Введение

Настоящая программа охватывает основные разделы минералогии и кристаллографии для геолого-минералогических наук: основные этапы истории и направления их современного развития, применяемые методы исследований, связи с другими геологическими науками, научное и практическое значения, а также базовые сведения по физике кристаллов.

Программа разработана экспертным советом Высшей аттестационной комиссии по наукам о Земле при участии МГУ им. М.В. Ломоносова и Санкт-Петербургского государственного горного института.

1. Кристаллография и кристаллохимия

Геометрическая кристаллография

Пространственная решетка как фундамент геометрической теории строения кристаллов. Основные законы кристаллографии в свете решетчатого строения кристаллов.

Операции и элементы симметрии I-го и II-го рода. Осевая теорема Эйлера, ее обобщенное представление и частные случаи, и ее использование при выводе групп симметрии. Различные способы представления симметрических операций - модельный, координатный, матричный. Алгоритм вывода 32-х точечных групп симметрии.

Кристаллографические координатные системы, категории, сингонии. Распределение 32-х кристаллографических классов по 6-ти сингониям и 3-м категориям. Международная символика (символика Германа-Могена) точечных групп симметрии.

Морфология кристаллов. Простые формы кристаллов, их характеристики. Понятия «облик» и «габитус» кристалла. Символы граней и ребер кристаллов, их определение и взаимосвязь. Закон Вейса (закон зон) и его использование при определении символов ребер и граней кристаллов. Симметрия и форма реальных кристаллов. Принцип Кюри. Геометрический

отбор. Закономерные и закономерные срастания кристаллов. Использование микрорельефа граней, фигур травления для уточнения точечной группы кристалла.

Физические свойства кристаллов: скалярные, векторные, тензорные. Структурно-чувствительные свойства кристаллов.

Типы решеток Браве, их вывод. Понятие "элементарная ячейка". Симметрия решеток Браве. Трансляционные элементы симметрии.

Пространственные (федоровские) группы симметрии, их обозначения. Принципы вывода и построения графиков пространственных групп. Группы симморфные, асимморфные, гемисимморфные. Генетическая связь между федоровскими группами различных сингоний.

Правильные системы точек, их основные характеристики.

Преобразование кристаллографических координатных систем, символов граней и координат точек (атомов).

Группы антисимметрии - группы черно-белой симметрии, принципы их вывода. 58 точечных групп антисимметрии, их применение при описании двойников кристаллов.

Квазикристаллы. Фуллерены. Нанотрубки.

Основные положения теоретической кристаллохимии.

Основные и промежуточные типы химической связи. Потенциальная кривая химической связи. Классификация кристаллических структур по типам химической связи и структурным группировкам. Принципы теории плотнейшей упаковки. Изображение структурных типов с помощью полиэдров. Основные структурные типы.

Орбитальные радиусы атомов и ионов. Радиусы ионов в кристаллах. Потенциалы ионизации и сродство к электрону. Электроотрицательность. Кислотно-основные свойства атомов и ионов.

Электронная структура переходных элементов. Расщепление энергии d- и f-уровней в кристаллическом поле различной симметрии. Понятие об энергии предпочтения координации.

Основной закон кристаллохимии Гольдшмидта. Критерии устойчивости структурного типа. Правила Полинга для ионных кристаллов. Правила устойчивости структурных типов ковалентных и существенно ковалентных кристаллов. Правило октета. Правило Юм-Розери. Правила Партэ. Числовые законы строения сульфидов и сульфосолей (по Н.В. Белову).

Структурная гомология. Гомологические ряды. Производные и вырожденные структуры. Фазы вычитания и внедрения.

Полиморфизм как общее свойство кристаллических веществ. История открытия полиморфизма как явления. Классификация полиморфизма. Полиморфные переходы первого и второго рода. Структурные аспекты явления полиморфизма.

Политипия. Отличие политипии от полиморфизма. Способы описания политипных структур.

Изоморфизм. Изоморфизм и изоструктурность. Изодиморфизм. Классификация изоморфизма. Его соотношение с твердыми растворами. Классические правила изоморфизма Гольдшмидта-Ферсмана. Основы количественной теории изоморфизма.

Изоморфизм как функция температуры и давления. Распад изоморфных смесей при понижении температуры и повышении давления.

Рост и морфология кристаллов

Кристаллообразование в гомогенных средах. Фазовые равновесия и переходы. Кристаллизация как фазовый переход. Диаграммы состояния систем. Поверхностная энергия. Движущая сила кристаллизации и способы ее выражения. Работа, необходимая для формирования кристаллической фазы. Энергия активации. Флуктуационная природа зародышеобразования и его особенности в парах и конденсированных средах. Геометрическая модель образования зародышей.

Механизм роста совершенных кристаллов. Кристаллизация в гетерогенных средах. Двумерные зародыши. Их размер и форма. Эпитаксия.

Анизотропия поверхностной энергии. Структура границы раздела фаз. Адсорбционный слой. Нормальный и послойный рост кристаллов. Условия их реализации. Анизотропия скоростей послойного роста грани.

Тепло- и массоперенос при кристаллизации. Диффузионные и поверхностные процессы. Кинетический и диффузионный режим кристаллизации. *Внешняя форма и однородность реальных кристаллов.* Кристаллохимически обусловленная форма кристалла. Метод ПЦС Хартмана. Типы граней кристаллов. Современная трактовка равновесной формы. Метод средних работ отрыва Странского и Каишева. Формы роста. Корреляция между теоретически возможными, равновесными формами и формами роста кристаллов. Скелетные формы. Нитевидные кристаллы. Расщепление кристаллов. Сферолиты. Ортотропизм. Ритмический рост. Геометрический отбор.

Влияние точечных дефектов на рост и морфологию кристаллов. Физическая и химическая адсорбция примесей. Гомогенный и гетерогенный захват. Равновесное и неравновесное распределение примесей при кристаллизации. Эффективные коэффициенты распределения. Концентрационное переохлаждение. Секториальное и зонарное строение кристаллов. Дислокации как источники слоев роста. Формирование двойников. Дефекты упаковки. Границы блоков. Температурные напряжения. Гетерогенные включения маточной среды и посторонних частиц.

Общая характеристика методов искусственного получения кристаллов. РТХ-диаграммы состояния систем. Условия управляемой кристаллизации. Критерии выбора и общая классификация методов выращивания кристаллов.

Выращивание кристаллов из растворов. Типы растворителей. Фазовые диаграммы и кривые растворимости. Разновидности методов.

Раствор-расплавная кристаллизация, ее возможности и разновидности. Расплавы-растворители. Разбавленные и высококонцентрированные

системы. Основные модификации, технические приемы и перспективы развития.

Гидротермальный синтез. Свойства гидротермальных растворов. Выращивание кристаллов при температурном градиенте, другие методы. *Кристаллизация при обычном давлении и умеренной температуре (до 100°C).* Приемы изменения температуры раствора. Методы температурного перепада. Рост кристаллов при вынужденной конвекции раствора. Испарение растворителя. Кристаллизация при постоянной температуре и постоянном пересыщении. Использование возможностей химических и электрохимических реакций. Методы со встречной диффузией. Кристаллизация в гелях.

Выращивание кристаллов из газовой (паровой) среды. Физическая конденсация. Химические транспортные реакции. Представление о ПЖК-механизме кристаллизации. Особенности получения объемных, нитевидных кристаллов и эпитаксиальных пленок.

Сравнительная морфология минералов и их синтетических аналогов. Общие и отличительные признаки минералов и искусственных кристаллов. Структурные и механические примеси в минералах и их влияние на внешнюю и внутреннюю морфологию. Включения: твердые, жидкие, однофазные, двухфазные, трехфазные и более сложные. "Минералы-узники". Примеры генетической интерпретации экспериментальных данных.

Рентгенография минералов и рентгено-структурный анализ

Физические основы рентгенографии кристаллов. Открытие и свойства рентгеновских лучей. Сплошной и характеристический спектры. Рентгеновские трубки. Поглощение рентгеновских лучей и выбор рентгеновского излучения. Применение фильтров для монохроматизации рентгеновских лучей.

Дифракция рентгеновских лучей в кристаллах. Модель дифракции как отражение рентгеновских лучей от атомных плоскостей. Уравнение Брэгга-Вульфа.

Подходы к решению задач в процессе рентгенографического исследования минералов. Применение рентгенографии для исследования микронапряжений в кристаллах и определения размеров частиц в образце.

Прецизионное определение параметров элементарных ячеек. Причины небольших изменений параметров элементарной ячейки. Влияние примесей на изменение параметров. Установление связи параметр - состав. Зависимость изменения параметров ячейки от условий кристаллизации. Линейный регрессионный анализ изменений параметров.

Определение состава и структурных особенностей минералов по рентгенографическим данным (отношение S/As в арсенопирите и его типоморфная роль; оценка содержания различных металлов в пирротине; изоморфизм в кварце и его петрогенетическое значение и др.). Исследование изоморфизма, полиморфизма и политипии в минералах (на примере представителей глин и полевых шпатов) и его петрогенетическое значение.

Применение рентгенографии для решения задач качественного и количественного анализа кристаллов. Диагностика мономинеральных фаз и качественный рентгенофазовый анализ смесей химических соединений и минералов. Определители фаз. Базы рентгеновских данных (программа “minerals”). Индексирование рентгеновских спектров (программы “XLAT”, “ind”, “krist”).

Количественный фазовый анализ. Факторы, влияющие на соотношение интенсивностей рефлексов в полифазном образце. Определение соотношения фаз в двухкомпонентной смеси.

Применение рентгеновской дифракции для решения современных проблем структурной минералогии: а) кристаллохимической систематики минералов; б) изучения структурных перестроек в глубинных геосферах; в) исследования важнейших явлений в реальной структуре минералов - изоморфизма, полиморфизма, политипии, модуляции и др.

Структура и свойства кристаллов

Окраска кристаллов. Избирательное поглощение, как причина появления окраски. Интерпретация природы окраски минералов в рамках зонной теории, теории молекулярных орбиталей и теории кристаллического поля.

Оптические свойства кристаллов. Природа световых лучей и основные понятия кристаллооптики. Связь поляризуемости атомов с величиной показателя преломления. Влияние структурных особенностей на оптические свойства кристаллов. Жидкие кристаллы: природа анизотропии их свойств.

Особенности состава и строения люминесцентных и лазерных кристаллов.

Магнитные свойства кристаллов. Магнитный момент электрона и атома. Особенности магнитных свойств кристаллов (диамагнетики, парамагнетики, ферромагнетики, антиферромагнетики, ферримагнетики). Магнитная симметрия кристаллов.

Сегнетоэлектрические свойства кристаллов. Поляризация кристаллов. Линейные пьезоэлектрики, сегнетоэлектрики, антисегнетоэлектрики. Симметрия полярных кристаллов. Связь полупроводниковых свойств с кристаллической структурой.

Сверхпроводимость кристаллов. Структурные особенности оксидных сверхпроводников нового поколения.

2. Минералогия

Общая часть

Современная минералогия как наука, ее содержание и задачи. Понятие о минерале. Основные этапы истории развития минералогии. Связь минералогии с другими науками. Основные направления в современной минералогии. Научное и практическое значение современной минералогии.

Морфология минералов и минеральных агрегатов. Облик и габитус кристаллов. Скрытокристаллические агрегаты, конкреции, секреции и др.

Твердые и газОВО-жидкие включения в минералах. Псевдоморфозы. Понятие об онтогении минералов.

Физические свойства минералов. Цвет, черта, блеск, прозрачность, твердость, спайность, удельный вес, магнитность, электропроводность, люминесценция, радиоактивность и др. Связь физических свойств с составом, структурой и условиями образования минералов (типоморфизм). Природа окраски минералов.

Химический состав минералов. Минералы как многокомпонентные системы переменного состава. Типы химической связи в минералах (ионная, ковалентная, металлическая, межмолекулярная). Атомные и ионные радиусы. Координационные числа и координационные многогранники. Изоморфизм. Типы изоморфных замещений. Структурное упорядочение. Твердые растворы и их распад. Полиморфизм. Политипия. Смешанослойные структуры. Метамиктные минералы. Аморфное, стеклообразное и коллоидное состояние вещества. Расчет кристаллохимических формул минералов. Изображение многокомпонентных систем на плоскости.

Происхождение и изменение минералов в природе. Понятие о процессах минералообразования: магматическом: пегматитовом, пневматолитовом, гидротермальном, метаморфическом (в том числе ударном), метасоматическом, гипергенном. Распространенность минералов в земной коре и мантии. Подразделение минералов на породообразующие, акцессорные, рудные, редкие и вторичные.

Современные *методы исследования* состава и структуры минералов: методы спектроскопии твердого тела, рентгенофазового, рентгеноспектрального и рентгеноструктурного анализов, электронной микроскопии высокого разрешения и др. Полевые методы диагностики минералов.

*Описание минералов**

Принципы, лежащие в *основах современных классификаций минералов*. Кристаллохимическая систематика минералов. Минеральные виды и разновидности.

Самородные элементы. Общая характеристика и условия образования в природе. Металлы: медь, серебро, золото, элементы платиновой группы, самородное железо, камасит, тэнит. Полуметаллы: мышьяк, сурьма, висмут. Неметаллы: алмаз, графит, лонсдейлит, сера.

Сульфиды и их аналоги. Общая характеристика и условия образования в природе. Основы систематики сульфидов и их аналогов. Простые сульфиды и их аналоги: аргентит, акантит, халькозин, галенит, сфалерит, вюртцит, киноварь, пентландит, троилит, пирротин, никелин, антимонит, висмутин, аурипигмент, молибденит, реальгар, шмальтин. Двойные сульфиды: халькопирит, станнин, борнит, ковеллин. Дисульфиды и их аналоги: пирит, кобальтин, марказит, арсенопирит. Сложные сульфиды и их аналоги: блеклые руды, пираргирит, прустит, буланжерит, джемсонит.

Оксиды и гидроксиды. Общая характеристика и условия образования в природе. Основы систематики оксидов и гидроксидов. Простые оксиды: куприт, периклаз, вюстит, корунд, гематит, рутил, брукит, анатаз, касситерит, пиролюзит, уранинит, минералы группы кремнезема (кварц, тридимит, кристобалит, коэсит, стишовит, опал). Сложные оксиды: хризоберилл, минералы группы шпинели (шпинель, герцинит, ганит, магнетит, магнезиоферрит, яacobсит, франклинит, титаномагнетит), ильменит, перовскит, минералы группы танталониобатов (пироклор, колумбит, танталит, самарскит, эшинит). Гидроксиды: брусит, гидраргиллит, диаспор, бемит, гетит, лепидокрокит, манганит, псиломелан; сложные минеральные смеси - лимониты, бокситы, вады.

* При описании отдельных минералов указывается химический состав (формула и важнейшие примеси), особенности кристаллической структуры, форма выделения, главные физические свойства и диагностические признаки, условия нахождения в природе, практическое использование.

Галогениды. Общая характеристика и условия образования в природе. Флюорит, криолит, галит, сильвин, виллиомит, карналлит.

Карбонаты. Общая характеристика и условия образования в природе. Карбонаты без дополнительных анионов и кристаллизационной воды: кальцит, родохрозит, сидерит, магнезит, смитсонит, арагонит, стронцианит, витерит, церуссит, доломит, анкерит. Карбонаты с дополнительными анионами: малахит, азурит. Карбонаты с кристаллизационной водой: термонатрит, сода, трона.

Сульфаты. Общая характеристика и условия образования в природе. Сульфаты без дополнительных анионов и кристаллизационной воды: барит, целестин, англезит, ангидрит, тенардит. Сульфаты с дополнительными анионами: алунит, ярозит, брошантит. Сульфаты с кристаллизационной водой: гипс, мирабилит.

Фосфаты, арсенаты и ванадаты. Общая характеристика и условия образования в природе. Безводные фосфаты без дополнительных анионов: ксенотим, монацит. Безводные фосфаты, арсенаты и ванадаты с дополнительными анионами: апатит, пироморфит, ванадинит. Водные фосфаты, арсенаты и ванадаты: вивианит, эритрин, аннабергит, скородит, бирюза, минералы группы урановых слюдок (отенит, торбернит, карнотит, тюямунит).

Вольфраматы, молибдаты и хроматы. Общая характеристика и условия образования в природе. Шеелит, повеллит, вульфенит, минералы группы вольфрамит (гюбнерит-ферберит), ферримолибдит, крокоит.

Бораты. Общая характеристика и условия образования в природе. Типы анионных группировок и классификация боратов. Общая характеристика и условия образования в природе. Островные бораты: ашарит, людвигит, бура. Цепочечные бораты: гидроборацит, улексит, пандермит. Каркасные бораты: борацит.

Силикаты. Современное представление о структурных типах силикатов. Представление о алюмо-, боро-, берилло-, титано- и цирконосиликатах.

Основы современной кристаллохимической классификации силикатов. Островные силикаты. Общая характеристика и условия образования в природе. Островные силикаты с изолированными кремнекислородными тетраэдрами без добавочных анионов: фенакит, виллемит, минералы группы оливина (изоморфные ряды форстерит-фаялит-тефроит), минералы группы гранатов (пироп, альмандин, спессартин, гроссуляр, андрадит, уваровит, Ti- и Zr- содержащие гранаты - меланит, шорломит, кимцеит; гидрогранаты), циркон, торит, коффинит. Островные силикаты с изолированными кремнекислородными тетраэдрами и добавочными анионами: кианит, андалузит, силлиманит, ставролит, топаз, титанит, хлоритоид. Островные силикаты со сдвоенными кремнекислородными тетраэдрами (диортосиликаты) и добавочными анионами: ильваит, каламин, лампрофиллит. Островные силикаты с изолированными и сдвоенными кремнекислородными тетраэдрами, содержащими добавочные анионы: цоизит, эпидот, алланит, пьмонтит, везувиян. Островные силикаты кольцевого типа: берилл, кордиерит, диоптаз, турмалин, эвдиалит.

Цепочечные силикаты. Общая характеристика и условия образования в природе. Основы классификации пироксенов. Особенности кристаллических структур пироксенов и пироксеноидов. Вариации химических составов пироксенов; пироксеновая трапеция. Ромбические пироксены: минералы ряда энстатит-ферросилит. Моноклинные пироксены: минералы ряда клиноэнстатит-клиноферросилит, минералы ряда диопсид-геденбергит, авгит, омфацит, эгирин, жадеит, сподумен. Пироксеноиды: волластонит, родонит.

Ленточные силикаты. Общая характеристика и условия образования в природе. Подходы к современной классификации амфиболов. Ромбические амфиболы: антофиллит, жедрит. Моноклинные амфиболы: минералы ряда тремолит-актинолит, роговые обманки; амфиболовые асбесты.

Слоистые силикаты и алюмосиликаты, основы их классификации. Общая характеристика и условия образования в природе. Типы сеток в

структуре слоистых силикатов; смешанослойные силикаты. Силикаты с двухслойным пакетом: каолинит, диксит, накрит, галлуазит, минералы группы серпентина (антигорит, лизардит, хризотил). Силикаты с трехслойным пакетом: тальк, пиррофиллит, слюды (мусковит, парагонит, флогопит, биотит, лепидомелан, лепидолит, циннвальдит), хрупкие слюды (маргарит), гидрослюды (гидромусковит, вермикулит, глауконит), монтмориллонит, нонтронит, сапонит. Силикаты с четырехслойным пакетом: минералы группы хлоритов (пеннин, клинохлор, прохлорит, шамозит, кочубеит). Пренит, апофиллит.

Каркасные силикаты. Общая характеристика и условия образования в природе. Каркасные алюмосиликаты без добавочных анионов: полевые шпаты (калиевые полевые шпаты - ортоклаз, микроклин, адуляр, санидин; плагиоклазы - альбит, олигоклаз, андезин, лабрадор, битовнит, анортит; бариевые полевые шпаты - цельзиан, гиалофан), лейцит, поллуцит, нефелин. Каркасные алюмо- и бериллосиликаты с добавочными анионами: минералы группы скаполита (мейонит-мариалит), канкринит, содалит, лазурит, минералы группы гельвина (гельвин, даналит, гентгельвин). Водосодержащие каркасные алюмосиликаты без добавочных анионов (цеолиты): натролит, анальцит, шабазит, стильбит (=десмин), гейландит, клиноптилолит, морденит.

Природные ассоциации минералов

Магматические минеральные ассоциации. Понятие о магме, ее состав. Дифференциация магмы при ее остывании. Отделение летучих от магматического расплава. Ликвация и кристаллизационная дифференциация. Последовательность выделения главных силикатных минералов. Общие схемы отделения и концентрации рудных минералов при магматическом процессе. Типичные минеральные ассоциации, связанные с основным и ультраосновным типами магмы. Минеральные ассоциации в месторождениях алмаза, хромита, титаномагнетита, платиноидов, апатита. Понятие о карбонатитах, их минеральный состав и различные представления о генезисе.

Минеральные ассоциации пегматитов. Понятие "пегматит" и общая характеристика пегматитового процесса. Развитие учения о генезисе пегматитов в работах А.Е. Ферсмана, его последователей и оппонентов. Роль летучих при образовании пегматитов. Температурная градуировка пегматитового процесса. Изменение состава последовательно кристаллизующихся минералов в пегматитовых образованиях. Роль метасоматических процессов. Минеральный состав гранитных пегматитов. Типы структур и текстур; характеристика главных зон. Общая схема классификации гранитных пегматитов, характерные минеральные ассоциации, структурно-текстурные особенности и отдельные типы. Щелочные пегматиты - сиенитовые и нефелин-сиенитовые.

Минеральные ассоциации скарнов. Общая характеристика контактово-метасоматических процессов минералообразования. Роль летучих, надкритических растворов и гидротермальных процессов. Различные типы минеральных образований при метасоматических процессах. Известковые и магнезиальные скарны. Образование минералов и минеральных ассоциаций в скарнах. Гидротермальные изменения скарновых минералов. Типичные для скарнов ассоциации рудных минералов.

Минеральные ассоциации альбититов и грейzenов. Понятия "альбитит" и "грейзен". Физико-химические условия образования. Геохимическая и минералогическая характеристика. Зональность грейzenовых и связь с гидротермальными ассоциациями.

Гидротермальные минеральные ассоциации. Связь гидротермальных растворов с магматическими очагами. Способы переноса и отложения вещества в гидротермальных растворах. Роль коллоидов в отложении минералов гидротермальных ассоциаций; признаки, указывающие на отложение минералов из коллоидных систем. Типичные минеральные ассоциации в гидротермальных образованиях. Типы минеральных ассоциаций и их связь с глубиной образования. Минеральные ассоциации безрудных гидротермальных образований (цеолитный процесс).

Минеральные ассоциации гипергенных процессов. Общие условия и факторы, определяющие характер гипергенных процессов. Условия и закономерности образования минералов при выветривании сульфидных минеральных ассоциаций. Зональность зоны окисления, причины зональности. Минеральный парагенезис окисления руд свинцово-цинковых и медных месторождений. Условия и закономерности образования минералов в коре выветривания пород. Стадийное гидрохимическое выветривание минералов. Минералы, образующиеся в коре выветривания и остаточные минералы. Профиль коры выветривания и характеристика минеральных ассоциаций в главных зонах на примере коры выветривания ультраосновных и глиноземистых пород. Латеритный тип выветривания (бокситизация). Механическая и гидрохимическая дифференциация вещества при минералообразовании в осадках. Россыпи и их главнейшие минеральные ассоциации. Минералы, образующиеся при биогенных процессах осадконакопления.

Минеральные ассоциации метаморфических образований. Краткая физико-химическая характеристика процессов образования минералов при региональном метаморфизме. Понятие о зонах глубинности. Особенности структур и минеральных агрегатов при метаморфизме. Типичные минеральные ассоциации в различных по исходному составу метаморфических породах. Примеры минеральной ассоциации в метаморфических месторождениях: железистые кварциты, силлиманит-дистеновые породы, месторождения наждака, корунда, графита, окисно-силикатных марганцевых руд. "Альпийские" жилы.

Ударный (импактный) процесс минералообразования. Фазы высокого давления.

Литература

Белов Н.В. Очерки по структурной минералогии. Недра, Москва, 1976.

- Бетехтин А.Г. Курс минералогии. М., Недра, 1961.
- Булах А.Г. Общая минералогия. СПб, 1999.
- Годовиков А.А. Минералогия. М., Недра, 1983.
- Григорьев Д.П., Жабин А.Г. Онтогения минералов. М., Наука, 1975.
- Егоров-Тисменко Ю.К., Литвинская Г.П., Загальская Ю.Г. Кристаллография. М. Изд. МГУ, 1992.
- Егоров-Тисменко Ю.К., Литвинская Г.П. Теория симметрии кристаллов. М. Изд. ГЕОС, 2000.
- Марфунин А.С. Введение в физику минералов. М., Недра, 1974.
- Пушаровский Д.Ю. Рентгенография минералов. М. Геоинформмарк, 2000, 296 с.
- Пушаровский Д.Ю., Урусов В.С. Структурные типы минералов. МГУ, Москва, 1990.
- Рентгенография основных типов породообразующих минералов. Под ред. В.А.Франк-Каменецкого. Л., "Недра", 1983.
- Синтез минералов. В 3-х томах. Александров, ВНИИСИМС, 2000.
- Современная кристаллография. Том 3 / А.А. Чернов, Е.И. Гиваргизов, Х.С. Багдасаров и др. Образование кристаллов. М. Наука, 1980.
- Урусов В.С. Теоретическая кристаллохимия. МГУ, Москва, 1987.
- Юшкин Н.П. Теория и методы минералогии. Л., Наука, 1977.