

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт геологии и геохронологии докембрия
Российской академии наук (ИГГД РАН)


«УТВЕРЖДАЮ»
Директор ИГГД РАН
член-корреспондент РАН
А.Б. Кузнецов
«ОДОБРЕНО»
Ученым советом ИГГД РАН
Протокол №2026/2 от 17.03.2026

ПРОГРАММА КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА

По специальности: 1.6.4 «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых»

1.6. Науки о Земле и окружающей среде

Санкт-Петербург

2026

ВВЕДЕНИЕ

Программа кандидатского экзамена регламентирует цель, задачи, содержание и структуру кандидатского экзамена, порядок оценки уровня знаний соискателя ученой степени кандидата наук, и включает перечень вопросов, выносимых на кандидатский экзамен, рекомендации по подготовке к кандидатскому экзамену, в том числе перечень литературы, необходимых для подготовки к кандидатскому экзамену. Кандидатские экзамены представляют собой форму оценки степени подготовленности соискателя ученой степени кандидата наук (аспиранта/прикрепленного лица) к проведению научных исследований по конкретной научной специальности и отрасли науки, по которой подготавливается или подготовлена диссертация.

Кандидатский экзамен состоит из ответов на вопросы из настоящей Программы на основе билетов. В каждом билете содержится по три вопроса. Члены экзаменационной комиссии вправе задать аспиранту (соискателю) дополнительные вопросы. Кандидатский экзамен проводится очно в устной форме. Уровень знаний аспиранта (соискателя) оценивается по пятибалльной шкале: 0-2 балла – «неудовлетворительно», 3 балла – «удовлетворительно», 4 балла – «хорошо», 5 баллов – «отлично».

Результаты проведенного испытания оформляются протоколом, в котором фиксируются вопросы экзаменаторов к аспиранту (соискателю). На каждого экзаменуемого ведется отдельный протокол. Протоколы приема кандидатского экзамена после утверждения хранятся в личном деле аспиранта (соискателя).

Программа кандидатского экзамена по специальности 1.6.4 «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых» состоит из двух разделов. В основу первого раздела настоящей программы положены следующие дисциплины: общая геохимии, геохимия отдельных элементов, физическая геохимия, геохимия изотопов и геохронология, геохимические методы поисков и разведки полезных ископаемых, экологическая геохимия, методы геохимических исследований. Второй раздел охватывает основные разделы минералогии и кристаллографии: 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.

На кандидатском экзамене соискатель ученой степени должен продемонстрировать знания вопросов, заложенных в программе кандидатского экзамена по специальности 1.6.4 «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых», а также ответить на ряд дополнительных вопросов, которые соответствуют дисциплине по выбору соискателя.

1. Геохимия

1.1 Общие вопросы

Определение геохимии. Атомы химических элементов в природе, основные проблемы геохимии: распространенность химических элементов и распределение их в природе. Возникновение геохимии. основополагающие работы Ф.У. Кларка, В.И. Вернадского, В.М. Гольдшмидта, А.Е. Ферсмана. Основные труды по геохимии.

Место геохимии в системе наук о Земле.

1.2 Методы геохимических исследований (аналитическая геохимия)

Химико-аналитические, физико-химические и физические методы изучения содержания и состояния элементов в природных объектах.

Применение методов термодинамики и физико-химии в геохимии. Роль физико-химического эксперимента.

Математические методы обработки геохимических данных и численное моделирование.

1.3 Проблема распространенности химических элементов в природе

Определение понятия распространенности элемента; способы выражения распространенности. Понятие о содержании элемента в объекте как случайной величине; вид функций распределения содержания элементов в объектах, понятие о среднем содержании и дисперсии содержаний в однородных объектах. «Случайное» (стохастическое) и пространственно упорядоченное (детерминированное) распределение элементов.

Основные формы состояния вещества во Вселенной: звезды, рассеянная материя, холодные тела, излучения, проблема «скрытой массы» галактик.

Основные закономерности распространенности нуклидов в зависимости от атомного номера. Процессы нуклеосинтеза и основные типы ядерных реакций. Радиоактивные ядра. Понятие о возрасте химических элементов. Эволюция звезд и их химический состав.

Минеральный (фазовый) состав метеоритов; классификация метеоритов; проблема среднего состава метеоритного вещества. Основные закономерности распространенности элементов в хондритах; сравнение метеоритной и солнечной кривых

распространенности элементов – сходства и различия. Работы В.М. Гольдшмидта, А.П. Виноградова.

Метеориты как геохимическая система и представление о твердой фракции первичного протопланетного вещества; закономерности его состава. Идея о фракционировании элементов в протопланетном облаке и ее физико-химические основания.

Основополагающая гипотеза об аналогии химического состава твердого вещества планет и состава метеоритов. Две группы планет Солнечной системы; различия в их строении и составе.

Данные о планетах земной группы; средняя плотность планет и ее интерпретация; роль металлических ядер в сложении планет. Идея о фракционировании элементов в процессе аккреции.

Методы оценки среднего химического состава земной коры. Современные представления о структуре земной коры; типы земной коры. Масса коры и отдельных ее структурных единиц; оценка масс различных генетических групп пород в земной коре. Современные оценки распространенности элементов в земной коре; основные закономерности распространенности элементов в земной коре.

Принципиальное отличие состава коры Земли, Луны, Венеры, Марса от состава исходного (солнечно-метеоритного) вещества.

Представление об атмосферах и гидросферах планет как геохимических системах.

Геофизические данные о строении Земли. Земная кора, мантия, ядро. Способы оценки среднего состава оболочек и ядра Земли. Полиморфизм и состояние вещества в глубинных сферах Земли.

Современные данные о химическом составе мантии Земли; проблема геохимической гетерогенности мантии.

Общие закономерности распределения элементов по оболочкам Земли, сопоставление с метеоритами. Классические представления В.М. Гольдшмидта и А.Е. Ферсмана о первичной дифференциации планетного вещества.

Закономерности фракционирования элементов в ходе дифференциации планетного вещества.

Энергетика планет: роль радиогенного тепла, другие виды энергии (гравитационная и др.).

1.4 Геохимическая классификация элементов

Задача классификации. Периодический закон Д.И. Менделеева и классификация элементов. Классификация В.И. Вернадского; другие классификации.

Идея классификации В.М. Гольдшмидта. Распределение элементов по принципиальным фазам метеоритного (протопланетного) вещества; термодинамические основания этого распределения. Связь с положением в таблице Д.И. Менделеева и на кривой атомных объемов. Распространенность элементов и принцип классификации.

1.5 Состояние (формы нахождения) элементов в природе

Минералы – продукты природных химических реакций. Направленность реакций; критерий минимума свободной энергии. Представление о геохимических буферных системах. Ограниченность числа минеральных видов; обменные реакции, буферные равновесия, изоморфизм как факторы, ограничивающий число минеральных видов. Дифференциация элементов в геохимических процессах и число минеральных видов.

Рассеяние элементов в природе. Термодинамические основания рассеяния; закон В.И. Вернадского. Формы рассеяния элементов.

Явление изоморфизма атомов в кристаллах и его геохимическое значение. Термодинамические основания явления изоморфизма (образования твердых фаз переменного состава). Два главных вопроса теории изоморфизма: стабильность изоморфных смесей и ее зависимость от термодинамических условий; поведение изоморфных смесей в различных фазовых равновесиях. Понятие о термодинамических функциях смешения, их связь с кристаллохимией.

Основные типы изоморфизма: изовалентный, гетеровалентный и др. Эмпирические правила изоморфизма: правило 15 %, правило «захвата» и «допуска» В.М. Гольдшмидта. Изоморфизм и ассоциации элементов в природе; изоморфные ряды В.И. Вернадского; диагональные ряды А.Е. Ферсмана. Изоморфизм как механизм рассеяния, концентрирования и разделения элементов.

Представления об ассоциациях химических элементов в природе.

1.6 Физико-химические основы геохимии (физическая геохимия)

Основы термодинамики природных систем. Основные понятия термодинамики (системы, фазы, компоненты, параметры состояния, 1-й и 2-й законы термодинамики. Условия равновесия. Правило фаз Гиббса. Термодинамические потенциалы систем. Закон дифференциальной подвижности компонентов Д.С. Коржинского. Термодинамика систем с вполне подвижными компонентами (термодинамические потенциалы, правило фаз и др.).

Уравнение смещенного равновесия и вытекающие из него законы (закон действующих масс, уравнения Клапейрона, Вант—Гоффа и др.). Способы термодинамического расчета фазовых равновесий.

Диаграммы состояния конденсированных систем. Диаграммы состояния систем с летучими и другими вполне подвижными компонентами. Буферные системы и их геохимическое значение.

Распределение химических элементов между фазами в условиях равновесия. Закон Генри и др. Понятие коэффициента распределения, зависимость от температуры и давления; представление о геотермометрах и геобарометрах.

Термодинамика водных растворов. Формы нахождения элементов в растворах, активности и концентрации компонентов. Закон Дебая-Хюккеля. Растворение, перенос компонентов, комплексообразование и причины осаждения. Кислотно-основные и окислительно-восстановительные реакции, диаграммы Eh-pH. Представления о геохимических барьерах.

Основные представления о диффузии и конвекции как механизмах массопереноса и дифференциации в геохимии. Влияние проницаемости среды и фазового состояния подвижной фазы, фильтрационный эффект. Роль кинетических факторов в реакциях минералообразования. Понятие о динамике процессов и динамических физико-химических моделях природных процессов.

Понятие о миграции элементов. Явления концентрации и рассеяния. Основные разделительные процессы в земной коре: при дифференциации расплавов, при взаимодействии фильтрующихся вод с породами. Термодинамические законы разделения элементов и изотопов в гомогенных системах: гравитационное равновесие, термодиффузия; термодинамические законы разделения элементов и изотопов в гетерогенных системах (распределение по фазам): равновесия кристаллизации, ликвации, равновесия газ – расплав, равновесие твердая фаза – водный раствор. Свойства соединений элементов, предопределяющие их разделение: парциальные молярные энтальпии, энтропии, объемы, теплоемкости в твердых и жидких фазах, изменение этих величин при фазовых переходах; их связь с коэффициентами распределения.

Элементарные свойства атомов и ионов, определяющие свойства их соединений: геометрические – понятие об атомных и ионных радиусах, современные представления о размерах атомов и ионов; валентность и эффективный заряд атомов и ионов; свойства связи – представления о характере строения электронных оболочек и важнейших типах химической связи в соединениях: понятия поляризации и электроотрицательности; характер связи в основных группах минералов (силикатах, солях кислородных кислот, оксидах, гидроксидах, галогенидах, сульфидах, металлах). Фундаментальное значение отношения заряда иона к его размеру; понятие ионного потенциала; диаграмма ионных потенциалов.

Понятие энергии кристаллической решетки. Геохимическое значение энергии кристаллической решетки. Связь кристаллохимического и термодинамического подходов в геохимии.

Изотопы химических элементов. Разница масс атомов как причина разделения изотопов легких элементов в физических и физико-химических процессах, представления о термодинамических и кинетических изотопных эффектах. Коэффициенты фракционирования, их зависимость от температуры и давления. Динамика фракционирования изотопов в закрытых и открытых системах.

Стабильные и нестабильные изотопы, явление радиоактивности, радиогенные изотопы. Типы радиоактивности. Закон радиоактивного распада, понятия константы распада и периода полураспада. Принципы изотопной геохронологии. Метод изохрон.

1.7 Геохимия геологических процессов

Геохимия магматического процесса

Химический состав и классификация магматических пород. Распространенность элементов в магматических породах; закономерности изменения распространенности в зависимости от содержания кремнезема. Ассоциации элементов ультраосновных, основных, кислых и щелочных пород. Представление о дифференцированных сериях магматических пород. Относительная распространенность различных типов магматических пород.

Физико-химические закономерности кристаллизации породообразующих силикатов и поведение элементов-примесей в этом процессе.

Представление о «первичных магмах»; условия формирования магм в земной коре и верхней мантии, состав «первичных» магм. Геохимия кристаллизационной дифференциации; элементы протокристаллизации, главного этапа кристаллизации, остаточных расплавов. Геохимия ультраосновных пород, базальтов, щелочных пород, карбонатитов; геохимические признаки их глубинного (мантийного) происхождения. Граниты; их химический и изотопный состав; проблема формирования гранитного вещества в земной коре; представления о явлениях гранитизации.

Типы магматических рудных месторождений. Процесс дифференциации магмы как процесс рудообразования; роль кристаллизационной дифференциации.

Представление о пегматитах как остаточных геохимических системах. Особенности структуры и состава пегматитов в сопоставлении с составом материнских пород. Геохимия гранитных пегматитов; особенности строения, классификации, последовательность формирования. Работы А.Е. Ферсмана. Гипотезы о механизме формирования пегматитов; физико-химические особенности силикатных систем с

летучими компонентами. Геохимия пегматитов щелочных и других типов пород. Типы руд, связанных с пегматитами.

Состав вулканических газов; закономерности изменения состава водных источников и газов вулканических областей в ходе вулканического процесса. Газы ювенильные и возрожденные; геохимические признаки происхождения вулканических газов.

Физико-химические закономерности растворимости газов в силикатных расплавах; эволюция состава газовой фазы в зависимости от температуры и давления. Сопоставление с природными данными.

Ассоциация элементов в гидротермально-метасоматических образованиях; корреляция ассоциаций элементов с геологическими условиями формирования месторождений.

Метасоматические и аутометасоматические образования: пропилиты, вторичные кварциты, березиты, щелочные метасоматиты, гумбеиты, аргиллизиты, продукты доломитизации, серпентинизации ультраосновных пород, альбитизации гранитоидов и др.; их геохимические особенности и соответствующие им ассоциации рудных элементов.

Особенности современного гидротермального рудообразования.

Происхождение основных компонентов гидротермальных растворов (магматогенные, метаморфогенные воды, захороненные воды осадочных пород); факты и гипотезы. Происхождение рудных компонентов гидротермальных растворов; магматогенная и осадочно-метаморфогенная гипотезы; данные по изотопному составу свинца, серы, кислорода. Состояние элементов в гидротермальных растворах; физико-химические факторы, способствующие растворению и переносу рудных элементов. Факторы отложения и концентрирования рудных элементов из растворов; фундаментальная роль взаимодействия растворов с породами как фактора рудоотложения.

Основы физико-химической динамики гидротермально-метасоматических процессов. Теория метасоматической зональности, Д.С. Коржинского. Зональность и стадийность гидротермально-метасоматических образований как отражение гидротермально-метасоматической дифференциации элементов. Факторы и механизмы гидротермально-метасоматической дифференциации; роль изменения температуры, давления; значение процессов фильтрации и взаимодействия растворов с породами, смешение растворов. Единство зонального ряда отложения металлов. Многообразие условий формирования гидротермальных растворов как фактор многообразия типов гидротермально-метасоматических месторождений.

Геохимическая (Гольдшмидтовская) классификация осадочных образований. Химический состав и ассоциации элементов различных типов осадочных пород. Относительная распространенность различных типов осадочных пород.

Физико-химические факторы осадочной дифференциации. Роль температуры, давления, состава атмосферы и вод; значение активности живых организмов и органического вещества осадков. Кислотность и окислительно-восстановительный потенциал растворов как факторы разделения и концентрирования элементов; диаграммы Eh–pH. Специфика физико-химических условий процессов выветривания и почвообразования, сноса, осадконакопления, диагенеза; связь с геолого-тектоническими и климатическими условиями; типы бассейнов осадконакопления. Особенности современных процессов осадкообразования: геохимия кор выветривания и почв континентов; особенности процессов формирования континентального стока, средний состав жидкого и твердого стока, другие механизмы поставки материала, их количественные оценки; динамика седиментации в бассейнах осадконакопления, геотектонические и фациальные закономерности отложения терригенного, биогенного и хемогенного материала; геохимия диагенеза.

Типы осадочных рудных месторождений и месторождений кор выветривания. Осадочная дифференциация как рудообразующий процесс; динамические модели осадочной дифференциации и анализ факторов концентрирования рудных элементов в этом процессе.

Эпигенетические процессы в осадочных породах и их роль в концентрировании металлов; характерные ассоциации элементов эпигенетических руд в осадочных породах.

Оценка общей массы осадочных пород и интенсивности поверхностных процессов в геологической истории; роль осадочно-вулканогенных пород в глубоком докембрии и специфика их химического состава.

Геохимия метаморфического процесса. Химические типы метаморфических пород, соответствующие им ассоциации элементов. Зависимость состава метаморфических пород от условий метаморфизма. Ультраметаморфизм и гранитизация.

Роль метаморфических пород в сложении земной коры. Оценка общей массы метаморфических пород; средний химический состав древних метаморфических пород и проблема его отличия от состава фанерозойских осадков.

Физико-химические факторы метаморфизма. Принцип метаморфических фаций и основная физико-химическая направленность прогрессивного метаморфозам; подвижность элементов при метаморфизме. Факторы формирования химического состава метаморфических пород: состав исходных (метаморфизующихся) пород и химическая направленность привноса и выноса. Представление о метаморфической дифференциации.

Типы рудных месторождений, связанных с метаморфическими породами; оценка роли процессов метаморфической дифференциации в формировании собственно метаморфических месторождений.

Масса и химический состав вод гидросферы; сопоставление состава морских и континентальных вод; устойчивость состава солевой массы океана; колебания солёности

морских вод. Малые компоненты гидросферы; жизнь и органическое вещество морских вод.

Физико-химические факторы, определяющие состав вод гидросферы; понятие о морской и континентальной ветвях вод; идея об определяющей роли взаимодействия вод с породами земной коры и атмосферой как фактора, контролирующего химический состав гидросферы. Океан как динамическая система. Соотношение процессов поступления материала в океан и осадконакопления; круговорот воды. Понятие о среднем времени пребывания элементов в океанической воде; время пребывания элементов (примеры).

Источник вещества гидросферы; геохимический баланс процесса осадкообразования и представление об «избыточно летучих»; источники летучих на поверхности Земли. Формирование солевой массы океана.

Проблема эволюции состава гидросферы в ходе геологической истории. Факты, свидетельствующие об эволюции; факторы, вызывающие эволюцию, и факторы, стабилизирующие состав океана. Идея постоянства состава океанических вод в течение существенной части геологической истории. Гипотезы о составе древнейшей гидросферы.

Состав атмосферы; строение атмосферы и распределение ее компонентов по высоте. Факторы, контролирующие химический состав атмосферы. Атмосфера как динамическая система и геохимические циклы газов атмосферы. Инертные газы.

Происхождение и эволюция атмосферы. Источник газов на поверхности Земли; проблема потери газов Землей; геохимические признаки отсутствия на Земле древней плотной атмосферы.

Определение В.И. Вернадского биосферы и живого вещества. Живое вещество; его количество и химический состав, ассоциации элементов живого вещества (биофильные элементы). Энергия и активность живого вещества. Понятие о биогеохимических процессах; прямое и косвенное влияние организмов на геологические процессы; геохимические функции организмов; организмы-концентраторы. Живое вещество как мощный геологический фактор в истории земной коры; понятие о ноосфере. Работы В.И. Вернадского.

Органическое вещество в геохимии. Распространенность и формы накопления органического вещества. Состав органического вещества осадков и осадочных пород; ассоциации элементов, накапливающихся в связи с органическим веществом; органическое вещество как фактор концентрирования элементов. Разложение органического вещества в почвах и осадках, и влияние этого процесса на физико-химические параметры геохимических процессов. Геохимия нефти и угля.

Биогеохимические провинции. Связь условий жизнедеятельности организмов с химическим составом среды; понятие эндемии. Факторы формирования биогеохимических провинций. Значение биогеохимических провинций в хозяйственной деятельности человека.

Круговорот химических элементов в земной коре, геохимические циклы. Круговорот вещества в земной коре и представление о малом и большом геохимических циклах, биогеохимические циклы. Энергетика геохимических процессов; движущие силы геохимического цикла. Динамика большого геохимического цикла; оценка темпа кругооборота вещества в геологической истории. Идея о геохимическом балансе процессов преобразования вещества в ходе кругооборота. Работы Ф.У.Кларка, В.М. Гольдшмидта, Р.М. Гаррелса. Роль процессов магматизма, осадкообразования и метаморфизма в формировании современной структуры земной коры. Проблема эволюции земной коры и законы геохимического круговорота.

1.8 Прикладная геохимия

Учение о геохимических поисках месторождений полезных ископаемых как самостоятельный раздел геологических наук. Роль и место геохимических методов на этапах и стадиях геологоразведочного процесса.

Понятия о геохимическом поле, местном геохимическом фоне, «явных» и слабых геохимических аномалиях; месторождение полезного ископаемого как частный случай геохимической аномалии. Первичный ореол месторождения. Гипергенное поле рассеяния; вторичные ореолы и потоки рассеяния полезных ископаемых в геосферах.

Параметры геохимического поля, критерии выделения слабых аномалий. Понятие о параметрических и непараметрических геохимических показателях. Случайные (стохастические) и пространственно-упорядоченные (детерминированные) распределения химических элементов в геологических образованиях. Показатель площадной продуктивности геохимической аномалии, его независимость от масштаба съемки. Пропорциональность количественных показателей гипергенных геохимических аномалий своему коренному оруденению.

Десятичная классификация месторождений полезных ископаемых по запасам, соотношение между численностью месторождений различных классов крупности. Принцип геометрического и геохимического подобия генетически однотипных объектов различных классов крупности. Зависимость между кларками элементов в литосфере и промышленными запасами в месторождениях одинаковой крупности.

Взаимосвязанность и взаимообусловленность геохимических аномалий в геосферах. Последовательность этих связей и преимущества литохимического метода поисков.

Классификация ландшафтов на основе биоклиматической зональности. Коэффициенты водной миграции и талассофильности элементов, элементы с контрастной миграционной характеристикой. Типы геохимических барьеров и их роль в образовании геохимических аномалий.

Потоки рассеяния рудных месторождений

Вторичные ореолы рассеяния. Стадии выветривания горных пород и профиль рыхлых образований; генетическая классификация рыхлых образований. Классификация вторичных ореолов рассеяния по фазе, генезису и признаку доступности для обнаружения.

Первичные ореолы рудных месторождений. Поиски слепых рудных тел по первичным ореолам на флангах и глубоких горизонтах разведываемых и эксплуатируемых месторождений. Ряды зонального отложения элементов типоморфного комплекса и методы их выявления.

Методы анализа, применяемые при литохимических поисках.

Гидрохимические поиски рудных месторождений по катионам металлов и по сульфат-иону путем опробования поверхностных водных потоков. Писки погребенных месторождений в закрытых районах при наличии водоносного горизонта. Методы анализа, применяемые при гидрохимических поисках.

Образование газовых ореолов рассеяния путем эффузии и диффузии газов через горные породы. Влияние природных факторов на концентрацию газов в перекрывающих отложениях и в приземной атмосфере. Газы нефтяных и угольных месторождений, газы рудных месторождений. Типы и виды газовых съемок: гелиевая, газортутные съемки. Методика и техника отбора газов при разных видах съемки. Аэрогазовые съемки. Принципы хроматографического анализа газовых смесей.

Биогеохимический и геоботанический методы поисков. Коэффициент биогенного поглощения элементов, биогеохимические барьеры. Методика и техника биогеохимических съемок в закрытых районах; области эффективного применения биогеохимического метода поисков.

1.9 Экологическая геохимия

Учение В.И. Вернадского о биосфере. Понятие «техногенез». Технофильность химических элементов. Окружающая среда и ее компоненты.

Техногенные геохимические аномалии в горно-рудных районах. Рудные месторождения как источники загрязнения окружающей среды. Основные источники техногенных геохимических аномалий при проведении геолого-разведочных работ, формы нахождения химических элементов и техногенная геохимическая миграция. Параметры и характеристики техногенных геохимических аномалий в горнорудных районах. Количественные показатели и характеристики для оценки геохимического загрязнения. Природноохранные мероприятия.

Воздействие на окружающую среду при промышленной отработке месторождений. Типовой состав горно-обогатительного комплекса и геохимические цепи воздействия горно-рудной промышленности на окружающую среду; выбросы в атмосферу, накопление в хвостах, потери при транспортировке, промышленные стоки.

Параметры и характеристики техногенных геохимических аномалий в районах горно-рудного производства и критерии оценки состояния окружающей среды.

Геохимическое загрязнение городов и урбанизированных территорий. Глобальный характер воздействия на окружающую среду урбанизированных территорий. Виды и основные источники загрязнений окружающей среды в городах, цепи распространения загрязняющих веществ; промышленные, коммунальные и бытовые отходы. Аэрогенные аномалии, выпадение твердых осадков на поверхность, жидкие стоки. Состав элементов-загрязнителей сточных вод различных видов производства. Характеристики техногенного загрязнения поверхностных и подземных вод промышленными стоками. Пути уменьшения воздействия от выбросов и очистка стоков. Геохимическая оценка нагрузки на окружающую среду в городах.

Геохимическое загрязнение сельскохозяйственных территорий. Агрогенное и техногенное воздействие на сельскохозяйственные территории. Агротехническая обработка, мелиорация, геохимическое загрязнение при использовании минеральных удобрений и пестицидов. Особенности миграции элементов в агроландшафтах. Влияние урбанизированных территорий на агропромышленное производство.

Виды и масштабы эколого-геохимических съемок. Связь между источниками загрязнений, средой опробования и масштабом съемок. Наземные, воздушные, подземные, наводные, подводные, снеговые съемки. Опробование почв. Опробование поверхностных и подземных вод, режимные гидрологические, гидрогеологические и гидрохимические наблюдения. Опробование снегового покрова. Проведение пылевых смывов с растительности. Особенности эколого-геохимического изучения различных типов территорий и ландшафтов.

Геохимический мониторинг окружающей среды.

Многоцелевое геохимическое картирование. Геохимическая карта как основа прогноза загрязнения окружающей среды.

Методы анализа геохимических проб. Современные методы определения содержания химических элементов и различных их форм нахождения.

Токсичность и классы опасности химических элементов. Предельно допустимые концентрации химических элементов (ПДК); ориентировочно допустимые концентрации химических элементов и ориентировочно безопасные уровни воздействия загрязняющих веществ.

Количественные геохимические показатели, используемые при оценке компонентов окружающей среды: среднеаномальные содержания, кларк концентрации, площадь загрязнения, количество металла в загрязняющем слое.

Суммарный показатель загрязнения почв, снегового покрова, растительности, донных отложений и вод. Уровни загрязнения компонентов окружающей среды.

Понятие оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС). Цели, задачи, принципы и область применения ОВОС. Государственная экологическая экспертиза.

2.1 Минералогия, кристаллография

2.1.1 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. Теорема Эйлера для вывода 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.

Типы решеток Бравэ, их вывод. Понятие "элементарная ячейка". Симметрия решеток Бравэ. Трансляционные элементы симметрии. Пространственные (федоровские) группы симметрии, их обозначения. Принципы вывода пространственных групп. Группы симморфные, асимморфные, гемисимморфные. Генетическая связь между федоровскими группами различных сингоний. 58 точечных групп антисимметрии, принципы их вывода и применение при описании двойников кристаллов.

Морфология и габитус кристаллов. Простые формы кристаллов, их характеристики. Символы граней и ребер кристаллов, их определение и взаимосвязь. Симметрия и форма кристаллов. Принцип Кюри. Геометрический отбор. Закономерные и не закономерные сростания кристаллов. Использование микрорельефа граней, фигур травления для уточнения симметрии кристалла.

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

Жидкие кристаллы. Квазикристаллы. Фуллерены. Нанотрубки.

2.1.2 Основные положения теоретической кристаллохимии

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

Основной закон кристаллохимии – закон Гольдшмидта. Критерии устойчивости структурного типа. Правила Полинга для ионных кристаллов. Правила устойчивости структурных типов ковалентных и существенно ковалентных кристаллов. Правило октета.

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.

Полиптипия, Отличие полиптипии от полиморфизма. Способы описания полиптипных 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.

2.1.3 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 образования кристаллической фазы. Энергия активации. Флуктуационная природа зародышеобразования, особенности зародышеобразования в парах и конденсированных средах. Геометрическая модель образования зародышей.

Механизм роста совершенных кристаллов. Кристаллизация в гетерогенных средах. Двумерные зародыши. Их размер и форма. Анизотропия поверхностной энергии. Структура границы раздела фаз. Адсорбционный слой. Явление эпитаксии.

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. 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 примесей. Равновесное и неравновесное распределение примесей при кристаллизации. Эффективные коэффициенты распределения. Концентрационное переохлаждение. Секториальное и зональное строение кристаллов. Дислокации как источники слоев роста. Формирование двойников. Дефекты упаковки. Границы блоков. Температурные напряжения. Включения кристаллообразующей 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 °С). 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 морфологию и внутреннее строение индивидов. Включения: твердые, жидкие, газообразные и смешанного типа. Примеры

генетической интерпретации экспериментальных данных.

2.1.4 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 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. Исследование изоморфизма, полиморфизма и политипии в минералах и его генетическое значение.

Применение рентгенографии для решения задач качественного и количественного анализа кристаллов. Диагностика минеральных фаз и качественный рентгенофазовый анализ смесей химических соединений и минералов. Определители фаз. Базы рентгеновских данных (программа "Minerals"). Индексирование рентгеновских спектров (программы "XLAT" и "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) кристаллохимическая систематика минералов; б) изучение структурных преобразований; в) исследование структур минералов - изоморфизма, полиморфизма, политипии, модуляции и т.д.

2.1.5 Структура и свойства кристаллов

Окраска кристаллов. Избирательное поглощение, как причина появления окраски.

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 оптических свойств.

Особенности состава и строения кристаллов, используемых для лазерных и люминесцентных приборов. Магнитные свойства кристаллов. Магнитная симметрия кристаллов. Различия магнитных свойств кристаллов (диамагнетики, парамагнетики, ферромагнетики, антиферромагнетики, ферримагнетики).

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

Сверхпроводимость кристаллов. Структурные особенности сверхпроводников нового поколения.

2.2 Минералогия

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. Габитус кристаллов. Скрытокристаллические минеральные формы, агрегаты, конкреции, секретиции и др. Твердые, жидкие 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. 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.

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.

2.2.1 Описание минералов

Принципы, лежащие в основах современных классификаций минералов. Кристаллохимическая систематика минералов. Минеральные виды и разновидности. Общая характеристика и условия образования в природе: самородных элементов, сульфидов и их аналогов, оксидов и гидроксидов, галогенидов, карбонатов, сульфатов, фосфатов, арсенатов и ванадатов, вольфраматов, молибдатов и хроматов, боратов, силикатов (цепочечных силикатов, ленточных силикатов, слоистых силикатов и алюмосиликатов, каркасных силикатов).

2.2.2 Природные ассоциации минералов

Магматические минеральные ассоциации. Минеральные ассоциации метасоматитов. Гидротермальные минеральные ассоциации. Минеральные ассоциации метаморфических образований. Минеральные ассоциации импактитов. Ассоциации минералов осадочного происхождения.

Рекомендуемая литература. Раздел Геохимия

Браунлоу А.Х. Геохимия. М.: Недра, 1984.

Войткевич Г.В. Проблемы космохимии. Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовск.ун-та, 1987.

Гавриленко в.в., Сахоненок В.В. Основы геохимии редких литофильных металлов. Л.: Изд-во ЛГУ, 1986.

- Гавриленко В.В., Сорокина Н.А. Геохимические циклы токсичных элементов. Л.: Изд-во ЛГУ, 1988.
- Гаррелс Р.М., Крайст Ч.Л. Растворы, минералы, равновесия // Науки о Земле. Фундаментальные труды зарубежных ученых по геологии, геофизике и геохимии. Т.5. М.: Мир, 1968.
- Жариков В.А. Основы физико-химической петрологии. М.: Изд-во МГУ, 1976.
- Мейсон Б. Основы геохимии. М.: Недра, 1971.
- Мияке Я. Основы геохимии. М.: Недра, 1969.
- Перельман А.И. Геохимия. 2-е изд. М.: Высш. шк., 1989.
- Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Саэт, Б.А. Ревич, Е.П. Янин и др. М.: Недра, 1990.
- Сауков А.А. Геохимия. 4-е изд. М.: Наука, 1975.
- Соловов А.П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. М.: Недра, 1985.
- Соловов А.П., Матвеев А.А. Геохимические методы поисков рудных месторождений. 2-е изд. М.: Изд-во МГУ, 1985.
- Файф У. Введение в геохимию твердого тела. М.: Мир, 1967.
- Фор Г. Основы изотопной геологии. М.: Мир, 1989.
- Хендерсон П. Неорганическая геохимия. М.: Мир, 1985.
- Шоу Д.М. Геохимия микроэлементов кристаллических пород. Л.: Недра, 1969.
- Щербина В.В. Основы геохимии. М.: Недра, 1972.
- Справочник по геохимии / Г.В. Войткевич, А.В. Кокин, А.Е. Мирошников, В.Г. Прохоров. М.: Недра, 1990.
- Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов: Справочник. В 6 кн. М.: Недра, 1994-1997.
- Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых / Под ред. А.П. Соловова. М.: Недра, 1990.

Дополнительная литература. Раздел Геохимия

- Белоусов В.В. Очерки геохимии природных газов. Л.: Химтеоретиздат, 1937.
- Беус А.А. Геохимия литоферы. 2-е изд. М.: Недра, 1981.
- Боуэн Н.Л. Эволюция изверженных пород. М.–Л.: Госгеолнефтиздат, 1934.
- Будыко М.И., Ронов А.Б., Яншин А.Л. История атмосферы. Л.: Гидрометеоздат, 1985.
- Валяшко М.Г. Основы геохимии природных вод // Геохимия. 1967. № 11.
- Вернадский В.И. Очерки геохимии. 8-е изд. // Библиотека трудов академика В.И.Вернадского. Труды по геохимии. М.: Наука, 1994.
- Вернадский В.И. Биосфера. 5-е изд. // Библиотека трудов академика В.И.Вернадского. Живое вещество и биосфера. М.: Наука, 1994.
- Вернадский В.И. Проблемы биогеохимии. Тр. биогеохимической лаборатории ГЕОХИ АН СССР. Т.16. М.: Наука, 1980.
- Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения.– 2-е изд. М.: Наука, 1987.
- Закономерности распределения химических элементов в земной коре // А.П. Виноградов. Избранные труды. Проблемы геохимии и космохимии. М.: Наука, 1988.
- Виноградов А.П. Атомные распространенности химических элементов Солнца и каменных метеоритов // Там же. С. 91-97.

- Виноградов А.П. Химическая эволюция Земли // Там же. С. 118–143.
- Виноградов А.П. Атмосферы планет солнечной системы // Там же. С.172-181.
- Введение в геохимию океана // А.П.Виноградов. Избранные труды. Геохимия океана. М.: Наука, 1989. С.36–216.
- Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах. 2-е изд. М.: Изд-во АН СССР, 1957.
- Виноградов А.П. Биогеохимические провинции // А.П.Виноградов. Избранные труды. Геохимия изотопов и проблемы биогеохимии. М.: Наука, 1993. С.145–166.
- Виноградов А.П. Биогеохимические провинции и их роль в органической эволюции // А.П.Виноградов. Избранные труды. Геохимия изотопов и проблемы биогеохимии. М.: Наука, 1993.С.166–179.
- Гаррелс Р., Маккензи Ф. Эволюция осадочных пород. М.: Мир, 1974.
- Гаррелс Р.М. Круговорот углерода, кислорода и серы в течение геологического времени. М.: Наука, 1975.
- Гольдшмидт В.М. Геохимические законы распределения и частота элементов в космосе // Основные идеи геохимии. Вып. 1. / Под ред. А.Е. Ферсмана. Л.: Госхимтехиздат, Ленингр.отд., 1933. С.250–276.
- Гольдшмидт В.М. Основы количественной геохимии // Успехи химии. 1934. Т.3. Вып.3. С. 448–483.
- Гольдшмидт В.М. Геохимические принципы распределения редких элементов // Редкие элементы в изверженных горных породах и минералах / Ред.В.В. Щербина. М.: Изд-во иностранной литературы, 1952. С. 9-16.
- Гольдшмидт В.М. Сборник статей по геохимии редких элементов. М.–Л.: ГОНТИ, 1938.
- Кабата-Пендиас, Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989.
- Коржинский Д.С. Теория метасоматической зональности. М.: Наука, 1969.
- Крайнов С.Р., Швецов В.М. Гидрогеохимия. М.: Недра, 1992.
- Лисицын А.П. Осадкообразование в океанах. М.: Наука, 1974.
- Лисицын А.П. Процессы океанской седиментации. Литология и геохимия. М.: Наука, 1978.
- Метасоматизм и метасоматические породы / Под ред. В.А. Жарикова, В.Л. Русинова. М.: Научный мир, 1998.
- Ноддак И. и В. Частота химических элементов // Основные идеи геохимии. Вып. 2. / Под ред. А.Е. Ферсмана. Л.: Химтеоретиздат, 1935. С.5–22.
- Полдерваарт А. Химия земной коры // Земная кора. М.: Изд-во иностр. лит., 1957. С. 130–157.
- Ронов А.Б. Стратисфера или осадочная оболочка Земли (количественное исследование). М.: Наука, 1993.
- Ронов А.Б., Ярошевский А.А., Мигдисов А.А. Химическое строение земной коры и геохимический баланс главных элементов. М.: Наука, 1990.
- Руби В.В. Эволюция гидросферы и атмосферы в связи со специальным рассмотрением вероятного состава древней атмосферы // Земная кора. М.: Изд-во иностр. лит., 1957. С. 650–671.
- Рябчиков И.Д. Термодинамический анализ поведения малых элементов при кристаллизации силикатных расплавов. М.: Наука, 1965.
- Рябчиков И.Д. Термодинамика флюидной фазы гранитоидных магм. Наука, 1975.
- Рябчиков И.Д. Рябчиков И.Д. Геохимическая эволюция мантии Земли. М.: Наука, 1988.

- Сафронов Н.И. Основы геохимических методов поисков рудных месторождений. Л.: Недра, 1971.
- Страхов Н.М. Типы литогенеза и их эволюция в истории Земли. М.: Госгеолтехиздат, 1963.
- Страхов Н.М. Проблемы геохимии современного океанского литогенеза. М.: Наука, 1976.
- Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М. Континентальная кора. Ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988.
- Файф У., Прайс Н., Томпсон А.. Флюиды в земной коре. М.: Мир, 1981.
- Ферсман А.Е. Избранные труды. М.: Изд-во АН СССР. Т. 3. 1956. С.9–791; Т. 4. 1957. С. 3–581; Т.5. 1959. С. 3–414.
- Ферсман А.Е. Пегматиты. Т.1. Гранитные пегматиты. В книге: А.Е. Ферсман. Избранные труды. Т. VI. М.: Изд-во АН СССР, 1960, С.5–739.
- Холланд Х.. Химическая эволюция океанов и атмосферы. М.: Мир, 1989.
- Юдович Я.Э., Кетрис. Курс геохимии осадочных пород. Сыктывкарский гос.ун-т, 2001.
- Clarke F.W. The date of geochemistry // U.S. Geol. Surv. Bull. 1924.No.770. (Washington).
- Goldschmidt V.M. Geochemistry. Oxford: Clarendon Press, 1954.

Рекомендуемая литература. Раздел Минералогия и Кристаллография

- Барабанов В.Ф. Генетическая минералогия. Л.: Недра. 1977. 327 с.
- Белов Н.В. Очерки по структурной минералогии. М.: Недра, 1976.
- Бетехтин А.Г. Курс минералогии. М.: Недра, 1961.
- Булах А.Г. Общая минералогия. СПб: Изд-во СПбГУ. 1999. 231 с.
- Булах А.Г., Кривовичев В.Г., Золотарев А.А. Структура, изоморфизм, формулы, классификация минералов. СПб: Изд-во СПбГУ. 2014. 131 с.
- Гликин А.Э. Полиминерально-метасоматический кристаллогенез. СПб: Изд. Журнал Нева, 2004. 318 с.
- Григорьев Д.П., Жабин А.Г. Онтогенез минералов. М.: Наука. 1975.
- Егоров-Тисменко Ю.К., Литвинская Г.П. Теория симметрии кристаллов. М.: Изд. ГЕОС. 2000.
- Краснова Н.И., Петров Т.Г. Генезис минеральных индивидов и агрегатов. СПб: Изд. Невский курьер, 1997. 228 с.
- Марфунин А.С. Введение в физику минералов. М.: Недра, 1974.
- Нардов В.В. Практическое руководство по геометрической кристаллографии. Л.: Ленинградский университет. 1974. 145 с.
- Пунин Ю.О., Штукенберг А.Г. Автодеформационные дефекты кристаллов. СПб: Изд-во СПбГУ. 2008. 317 с.
- Пушаровский Д.Ю. Рентгенография минералов. М.: Геоинформмарк. 2000. 296 с.
- Пушаровский Д.Ю., Урусов В.С. Структурные типы минералов. М.: МГУ. 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. Образование кристаллов. Под ред. А.А. Чернов, Е.И. Гиваргизов, Х.С. Багдасаров и др. М.: Наука. 1980.
- Урусов В.С. Теоретическая кристаллохимия. М.: МГУ. 1987.
- Урусов В.С. Теория изоморфной смесимости. М.: Наука, 1977. 251 с.
- Хисина Н.Р., Урусов В.С. Субсолидусные превращения твёрдых растворов породообразующих минералов. М.: Наука. 1987. 206 с.
- Филатов С.К., Авдонцева Е.Ю., Изатулина А.Р. Краткий курс кристаллооптики по В. Б. Татарскому: учебник. Под ред. И.В. Пекова. СПб: Скифия-принт. 2021. 113 с.
- Штукенберг А.Г., Пунин Ю.О. Оптические аномалии в кристаллах. СПб: Наука. 2004. 263 с.