

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»
Геологический факультет**



УТВЕРЖДАЮ

и.о. декана
геологического факультета МГУ,
член-корреспондент РАН
Н.Н. Еремин

« 09 » июня 2022 г.

ПРОГРАММА-МИНИМУМ

кандидатского экзамена по специальности

Шифр и название специальности: - 1.6.4. Минералогия, кристаллография.

Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых

Шифр и наименование области науки: **1. Естественные науки.**

1.6. Науки о Земле и окружающей среде.

Наименование отраслей науки, по которым присуждаются ученые степени:

геолого-минералогические науки

Москва 2022

I. Описание программы:

Настоящая программа охватывает основополагающие разделы и области знания современной кристаллографии, кристаллохимии, минералогии, онтогении, физики минералов и методов их исследования, геохимии и геохимических методов поисков полезных ископаемых, изотопной геохимии, геохимии эндогенных и экзогенных процессов.

II. Основные разделы и вопросы к экзамену:

1. МИНЕРАЛОГИЯ

1.1. 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 газовой-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.

Метеориты. Основы современной классификации метеоритов, их возраст и происхождение. Досолнечные минеральные зерна. Лунные и марсианские метеориты. Современные представления о минеральном составе планет Солнечной системы, их спутников, комет и астероидов. Космическая пыль. Тектиты.

Минералогия и материаловедение. Основные проблемы и современные тенденции в развитии материаловедения и производства материалов нового поколения. Понятие пьезоэлектричества. Пьезоэлектрические свойства кварца. Понятие керамики и технологии их получения. Основные технологические свойства керамических материалов. Основные типы сырья, применяемые в производстве керамики. Применение графита и графитоподобных материалов. Понятие «ионообменный материал». Особенности кристаллических структур-ионообменников. Основные технологические свойства сорбентов. Понятие термоэлектричества. Особенности материалов, обладающих термоэлектрическими свойствами. Проблемы создания материалов-термоэлектриков. Понятие сверхпроводимости. Два типа материалов-сверхпроводников. Особенности кристаллической структуры высоко-

температурных сверхпроводников. Проблемы создания материалов-сверхпроводников. Основные проблемы захоронения радиоактивных отходов. Типы радиоактивных отходов. Возможные матрицы для иммобилизации радиоактивных отходов. Методы их получения.

Щелочной магматизм Земли и связанные с ним месторождения стратегических металлов.

1.2. 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, «камастит», тэнит. Интерметаллиды. 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: арсентит, акантит, халькозин, галенит, сфалерит, вюртцит, киноварь, пентландит, троилит, пирротин, никелин, антимонит, висмутин, аурипигмент, молибденит, реальгар, скуттерудит. 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, якобит, франклинит, титаномагнетит), ильменит, перовскит, минералы группы танталониобатов (пирохлор, колумбит, танталит, самарскит, эшинит).

Гидроксиды: брусит, гидраргиллит, диаспор, бемит, гетит, лепидокрокит, манганит, псиломелан; сложные минеральные смеси: лимониты, бокситы, вады.

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: термонаитрит, 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, туюмунит).

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

Нитраты. Общая характеристика и условия образования в природе. Нитратин.

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 об 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: фенацит, 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, пьомонтит, везувиан. 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, дикцит, накрит, галлуазит, минералы группы серпентина (антигорит, лизардит, хризотил). Силикаты с трехслойным пакетом: тальк, пирофиллит, 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 - отоклаз, микроклин, адуляр, санидин; плагиоклазы — альбит, олигоклаз, андезин, лабрадор, битовнит, анортит; бариевые полевые шпаты - цельзиан, гялофан), 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, анальцим, шабазит, стильбит (=десмин), гейландит, клиноптилозит, морденит.

Общая характеристика литофильных редких элементов в геохимико-генетическом аспекте. Общие особенности поведения и механизмы накопления лития в минералообразующих системах. Особенности кристаллохимии бериллия, причины его кристаллохимической индивидуальности. Бериллиевая минерализация и ее эволюция. Основные принципы структурной химии бора, причины его кристаллохимической индивидуальности, разнообразия и своеобразия борных минералов. Типы боратных и боросиликатных анио-

нов. Сравнительная кристаллохимия цезия в концентрированном и рассеянном состояниях, структурные особенности собственных минералов цезия. Механизмы концентрирования рубидия и отделения его от калия. Главные особенности структурной химии REE. Редкоземельная минерализация в магматических породах нормального ряда, в гранитных пегматитах, в жилах альпийского типа, в комплексах пород щелочной формации: щелочных гранитах; щелочных сиенитах и их производных; карбонатитах; фенитах; агпайтовых породах и их дифференциатах. Общие особенности кристаллохимии и минералогии циркония и гафния. Генетическая кристаллохимия силикатов с Zr. Сходство и различия в кристаллохимии и минералогии ниобия и тантала.

1.3. 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 грейзенов. Понятия «альбитит» и «грейзен». Физико-химические условия образования. Геохимическая и минералогическая характеристика. Зональность грейзеновых 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.

Минералогия гидротермальных систем морского дна и осадочных бассейнов. Минералы курильщиков.

Минералогия месторождений Арктической зоны России и перспективы их комплексного освоения.

1.4. Современные методы исследования минералов

Электронно-зондовые методы исследования минералов, ЭДС, ВДС, физические основы метода и области применения; сканирующая электронная микроскопия; протонный микрозондовый анализ, физические основы метода и области применения; оптическая и колебательная спектроскопия, физические основы методов, область применения; рентгенофлуоресцентный анализ, возможности и области применения; нейтронноактивационный анализ, физические основы метода и области применения; масспектрометрия, возможности и области применения; устройство и принципы работы масс-спектрометра, области применения ионного микрозонда; масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой ICP-MS, LA ICP-MS и другие.

2. КРИСТАЛЛОГРАФИЯ

2.1. Геометрическая кристаллография

Пространственная решетка. Операции и элементы симметрии I и II-родов. Кристаллографические координатные системы, категории, сингонии.

Морфология кристаллов. Понятие «простая форма».

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 построения графиков, правильные системы точек, генетическая связь между группами различных сингоний.

Группы антисимметрии и многоцветной симметрии и их применение для решения некоторых вопросов кристаллофизики.

2.2. Основные положения теоретической кристаллохимии

Зарождение основных идей (XVI - XVII вв.). Химическая кристаллография (конец XVIII - начало XX вв.). Основные задачи кристаллохимии и ее роль в решении минералогических и геохимических проблем.

Пространственная решетка. 14 типов ячеек Браве, пространственные группы симметрии Е. С. Федорова. Плотнейшие шаровые упаковки. Координационный полиэдр и координационное число. Структурные единицы кристалла, мотив структуры. Полиэдрическое изображение кристаллических структур (метод Полинга-Белова). Структурный тип, понятия изоструктурности, антиизоструктурности, изотипности, гомеотипности, структурный класс. Кристаллохимические формулы.

Свойства атомов, важные для кристаллохимии. Строение электронных оболочек,

их форма и протяженность. Электронные конфигурации элементов и Периодическая система элементов Менделеева. Орбитальные радиусы атомов и ионов. Потенциалы ионизации и сродство к электрону. Валентное состояние и гибридизация орбиталей. Орбитальные электроотрицательности, Поляризуемость атомов и ионов. Магнитные свойства атомов и ионов. Кислотно-основные свойства атомов и ионов.

Химическая связь в кристаллах. Основные типы химической связи: ионная, ковалентная, металлическая, вандерваальсова, водородная.

Структуры типичных ионных кристаллов. Основы теории кристаллического поля. Электронная структура переходных элементов. Расщепление энергии d- и f-уровней в кристаллическом поле различной симметрии. Понятие об энергии предпочтения координации. Ковалентная связь и типичные ковалентные структуры. Связи, промежуточные между ионными и ковалентными. Степень ионности связи и ее структурное влияние. Зонная энергетическая структура кристалла: диэлектрики, полупроводники, и металлы.

Металлическая связь и ее структурные свойства. Переход от металлической к ковалентной связи и «переходные» структуры. Остаточная (Ван-дер-ваальсова) связь. Диполь-дипольные и ион-дипольные взаимодействия. Слоистые структуры. Водородная связь. Общий взгляд на природу химической связи в кристаллах.

Размеры и форма атомов в кристаллах. Атомные (металлические и ковалентные) радиусы. Ван-дер-ваальсовы (межмолекулярные) радиусы. Ионные радиусы. Геометрические пределы устойчивости ионных структур. Зависимость ионных радиусов от заряда, координационного числа и спинowego состояния. Распределение электронной плотности и «кристаллические» радиусы атомов. Понятие об эффективных зарядах атомов в кристаллах и методах их определения. Поляризуемость ионов в кристалле.

Химический состав и структура кристалла. Основные категории теоретической кристаллохимии и соотношения между ними. Критерии устойчивости структурного типа для ионных кристаллов. Правила Полинга для ионных кристаллов. Фактор толерантности и модельные структуры Гольдшмидта. Критерии устойчивости структурного типа для существенно ковалентных кристаллов. Правило октета. Правило Юм-Розери. Правила Партэ. Числовые законы строения сульфидов и сульфосолей Н.В. Белова. Обобщение понятия морфотропии на примере кристаллохимии силикатов. Основной закон кристаллохимии Гольдшмидта.

Основные категории кристаллохимии – морфотропия, полиморфизм, изоморфизм и структурная гомология. Изоморфизм - причина ограничения числа минеральных видов.

Порядок-беспорядок в кристаллических структурах. Понятие о ближнем и дальнем порядках. Процессы внутрикристаллического упорядочения как геотермометры и геобарометры.

Симметричные и геометрические ограничения существования кристаллической структуры. Конструирование пробных кристаллических структур заданного состава. Принципы полного и локального валентного и координационного баланса. Современный метод валентности связи (МВС).

Возможные методы уточнения пробной структуры кристалла. Компьютерное моделирование с использованием атомистических потенциалов межатомного взаимодействия. Квантовохимические расчеты (ab-initio).

2.3. Рост и морфология кристаллов

Кристаллообразование в гомогенных средах. Фазовые равновесия и переходы. Кристаллизация как фазовый переход. Диаграммы состояния систем. Однокомпонентные и двухкомпонентные системы. Анализ диаграмм плавкости. 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.

Механизм роста совершенных кристаллов. Кристаллизация в гетерогенных средах.

Двумерные зародыши. Их размер и форма. Эпитаксия. Нормальный и послойный рост кристаллов. Условия их реализации.

Внешняя форма и однородность реальных кристаллов. Кристаллохимически обусловленная форма кристалла. Формы роста. Корреляция между теоретически возможными, равновесными формами и формами роста кристаллов.

Эффект грани. Условия перехода от многогранника к дендриту. 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 расплава. Методы Киропулоса, Чохральского, Степанова, Бриджмена-Стокбаргера, Вернейля.

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

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

Практика выращивания технических монокристаллов. Классификация выращиваемых кристаллов: химическая, кристаллохимическая, генетическая, функциональная.

2.4. Рентгенография минералов и рентгеноструктурный анализ

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.

Когерентное и некогерентное рассеяние. Изменение длины волны при неупругом рассеянии рентгеновских лучей. Рассеяние электроном поляризованного излучения. Рассеяние электроном неполяризованного излучения. Поляризационный фактор. Рассеяние рентгеновских лучей атомом. Атомный фактор рассеяния. Рассеяние рентгеновских лучей кристаллом. Структурная амплитуда. Фаза волны, рассеянной элементарной ячейкой. Понятие обратной решетки. Вывод квадратичных формул. Модель дифракции с использованием представлений о сфере Эвальда. Фактор Лоренца. Фактор повторяемости. Рассеяние рентгеновских лучей системой атомов. Закономерные погасания рефлексов. Вывод правил погасаний для разных типов ячеек и элементов симметрии. Определение пространственных групп.

Применение рентгенографии для исследования микронапряжений в кристаллах и определения размеров частиц в образце. Интегральная ширина пика, поправка на междублетное расщепление.

Современные рентгеновские аппараты и дифрактометры. Основные принципы работы автоматического порошкового дифрактометра STOE STADI-MP с позиционно-чувствительным детектором.

Диагностика мономинеральных фаз и качественный рентгенофазовый анализ смесей химических соединений и минералов. Определители фаз. Базы данных.

Количественный фазовый анализ. Факторы, влияющие на соотношение интенсивностей рефлексов в полифазном образце. Определение соотношения фаз в двухкомпонентной смеси. Методы коэффициентов и внутреннего стандарта в количественном анализе.

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.

Структурные типы простых веществ и самородных металлов. Наиболее распространенные структурные типы металлов. Плотнейшие упаковки в структурах металлов. Природные интерметаллиды. Структуры неметаллов и полуметаллов IV-VII групп.

Основные структурные типы галогенидов. Оксиды, гидроксиды и их структурное подобие с галогенидами. Кристаллохимия минералов железо-марганцевых конкреций. Структурные типы, устойчивые в глубинных оболочках Земли.

Кристаллохимическая классификация сульфидов. Сульфиды с тетраэдрическими структурами. Структуры дисульфидов. Кластерные структуры сульфидов. Сульфиды не-полновалентных элементов.

Сульфосоли с тетраэдрическими структурами и с сульфосолевыми нитями.

Структурные принципы силикатов. Главная концепция кристаллохимии силикатов. Основные подразделения структурной систематики силикатов. Рентгенографическая диагностика слоистых силикатов.

Структурное состояние полевых шпатов и рентгеновские методы его определения. Силикаты глубинных геосфер.

Генетическая кристаллохимия фосфатов.

Кристаллохимическая систематика карбонатов и сульфатов. Смешанные комплексы в их структурах.

Кристаллохимия боратов. Структуры с анионными комплексами из В-треугольников, В-тетраэдров и обоими типами BO_n -полиэдров.

Новые полиморфные модификации породообразующих минералов: оливин, волластонит, пироксены, оксид титана и другие.

Водосодержащие минералы мантии Земли.

Минералогия ядра Земли.

Новые возможности рентгеноструктурного анализа минералов. Использование синхротронного излучения. Дифракция при высоких давлениях. Состав верхней мантии. Состав мантии ниже границы 670 км.

Применение метода Ритвельда в рентгеноструктурном анализе.

2.5. Компьютерная кристаллография

Основные способы описания и изображения внешней формы кристалла. Реализация принципа Кюри-Вульфа при построении комбинационного многогранника. Рисование монокристаллов и двойников. Особенности программ Shape, Kristall2000. Их отличия.

Основные способы описания и изображения кристаллических структур минералов, кластеров и поверхности кристалла. Особенности программ Atoms, Vesta, Diamond. Их отличия.

Основные базы данных - ICSD (Findit), American Mineralogist Crystal structure database, Минкрист. Особенности работы в них.

Иерархия современных методов кристаллохимического прогноза. Возможные методы уточнения пробной структуры кристалла. Компьютерное моделирование структур и свойств кристаллов. Программы DLS, BondVal, GULP, Metadise, QE- особенности и границы применимости. Эволюционные подходы в структурном моделировании. Программный комплекс USPEX.

3. ГЕОХИМИЯ

3.1. Предмет и методы геохимии. История геохимии.

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

Химико-аналитические, физико-химические и физические методы изучения содержания и состояния элементов в природных объектах. Роль физико-химического эксперимента. Роль математических методов обработки и моделирования.

3.2. Распространенность элементов в природе.

Определение понятия распространенность элемента; способы выражения распространенности. "Космическая" распространенность элементов; распространенность элементов на Солнце, в метеоритах и планетах, корах планет, в атмосферах и гидросферах.

Представление о корах планет как геохимической системе. 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. Полиморфизм и состояние вещества в глубинных сферах Земли.

Геохимические признаки "холодного" происхождения планет; принцип выплавления и дегазации вещества коры, гидросферы и атмосферы; работы А.П.Виноградова.

Периодический закон Д.И.Менделеева и классификация элементов. Классификация В.И.Вернадского. Классификация В.М.Гольдшмидта. Закономерности распределения элементов в метеоритах; термодинамические основания; связь с положением в таблице Д.И.Менделеева и на кривой атомных объемов Л.Мейера. Другие классификации.

Минералы - продукты природных химических реакций. Направленность реакций; критерий минимума свободной энергии. Рассеяние элементов в природе. Термодинамические основания рассеяния; закон В.И.Вернадского. Формы рассеяния элементов. Явление изоморфизма атомов в кристаллах и его геохимическое значение. Эмпирические правила изоморфизма: правило "15%", правила "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. Состояние химических элементов в подвижных фазах (расплавах, водных растворах, газах).

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, равновесие газ-расплав, равновесие твердая фаза-водный раствор; понятие о коэффициентах распределения.

Представление о диффузии и конвекции как механизмах массопереноса и дифференциации в геохимии. Понятие о динамике процессов и динамических физико-химических моделях природных процессов.

Элементарные свойства атомов и ионов: геометрические - понятие об атомных и ионных радиусах; валентность и эффективный заряд атомов и ионов; свойства связи - представления о характере строения электронных оболочек и важнейших типах химической связи в соединениях. Значение отношения заряда иона к его размеру; понятие ионного потенциала; диаграмма ионных потенциалов.

3.3. Основы изотопной геохимии.

Радиогенные изотопы. Главное уравнение изотопной геологии. Изохронные методы (рубий - стронциевый, самарий - неодимовый методы). Уран - свинцовый метод. Калий - аргоновый метод, проблема потери аргона. Радиогенные изотопы как генетические индикаторы (гелий, стронций, неодим). Геохимия стабильных изотопов легких элементов. Методы представления изотопного состава. Изотопные стандарты. Геологические термометры, основанные на распределении стабильных изотопов легких элементов. Процессы разделения стабильных изотопов легких элементов в природе.

3.4. Геохимия эндогенных процессов

Распространенность элементов в земной коре; методы оценки среднего химического состава земной коры. Работы Ф.У.Кларка, В.И.Вернадского, И.и В.Ноддаков, В.М.Гольдшмидта, А.Е.Ферсмана, А.П.Виноградова, А.Полдерваарта, А.Б.Ронова.

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. Относительная распространенность типов магматических пород. Физико-химические закономерности кристаллизации породообразующих силикатов и поведение элементов-примесей в этом процессе. Работы Н.Л.Боуэна и В.М.Гольдшмидта; идея об основополагающей роли кристаллизационной дифференциации как механизма разделения элементов в магматическом процессе. Физико-химическая оценка других гипотез дифференциации магмы (ликвация, газовый перенос, гравитационная диффузия).

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. Типы магматических рудных месторождений. Процесс дифференциации магмы как процесс рудообразования. Физико-химические особенности силикатных систем с летучими компонентами. Геохимия пегматитов щелочных и других типов пород. Типы руд, связанных с пегматитами.

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

Геохимия грейзенов и пневматолитов. Ассоциация элементов грейзеновых образований. Признаки высокотемпературных реакций газов с породами; роль фтора, а также хлора, бора, серы и др. Типы месторождений, связанных с грейзенами.

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.

Геохимия гидротермально-метасоматических процессов. Ассоциация элементов в гидротермально-метасоматических образованиях. Типы гидротермальных сульфидных месторождений и соответствующие им ассоциации рудных элементов.

Метасоматические и аутометасоматические образования: щелочные метасоматиты, зоны пропилитизации, доломитизации, вторичные кварциты, продукты серпентинизации ультраосновных пород, альбитизации гранитоидов и др.; соответствующие им ассоциации рудных элементов.

Термодинамические условия гидротермально-метасоматических процессов. Данные о составе гидротермальных растворов, о температуре и давлении процессов. Особенности современного гидротермального рудообразования. Источники вещества, способы переноса и способы отложения элементов в гидротермально-метасоматических процессах. физико-химические факторы растворения, переноса и отложения рудных элементов; роль взаимодействия растворов с породами как фактор рудоотложения. Основы физико-

химической динамики гидротермально-метасоматических процессов. Зональность гидротермально-метасоматических образований как отражение гидротермально-метасоматической дифференциации элементов. Работы Д.С.Коржинского.

3.5. Геохимия экзогенных процессов

Геохимия процессов выветривания и осадкообразования. 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. Специфика физико-химических условий процессов выветривания, сноса, осадконакопления, диагенеза; связь с геолого-тектоническими и климатическими условиями. Особенности современных процессов осадкообразования. Работы Н.М.Страхова и А.П.Лисицына.

Типы осадочных рудных месторождений. Осадочная дифференциация как рудообразующий процесс.

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

Масса и химический состав вод гидросферы; сопоставление состава морских и континентальных вод; устойчивость состава солевой массы океана; колебания солености морских вод. Малые компоненты гидросферы; жизнь и органическое вещество морских вод. Работы А.П.Виноградова, М.Г.Валяшко. Физико-химические факторы, определяющие состав вод гидросферы. Океан как динамическая система. Соотношение процессов поступления материала в океан и осадконакопления; круговорот воды.

Источник вещества гидросферы; геохимический баланс процесса осадкообразования и представление об "избыточных летучих"; источники летучих на поверхности Земли. Работы В.М.Гольдшмидта. Формирование и эволюция солевой массы океана.

Состав атмосферы; строение атмосферы и распределение ее компонентов по высоте. Факторы, контролируемые 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.

Подземные атмосферы; их состав и классификация. Геохимические признаки происхождения газов подземных атмосфер. Работы В.В.Белоусова.

Определение В.И.Вернадского биосферы и живого вещества. Живое вещество; его количество и химический состав, 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.

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

Круговорот вещества в земной коре и представление о малом и большом геохими-

ческих циклах. Энергетика геохимических процессов; движущие силы геохимического круговорота. Идея о геохимическом балансе процессов преобразования вещества в ходе кругооборота. Работы Ф.У.Кларка, В.М. Гольдшмидта, Р.М.Гаррелса.

III. Критерии оценивания

Критерии и показатели оценивания ответа на экзамене			
1	2	3	4
Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Отлично
Фрагментарные знания актуальных проблем и тенденций в развитии минералогии, кристаллографии, геохимии и геохимических методов поисков полезных ископаемых	Неполные знания актуальных проблем и тенденций в развитии минералогии, кристаллографии, геохимии и геохимических методов поисков полезных ископаемых	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания актуальных проблем и тенденций в развитии минералогии, кристаллографии, геохимии и геохимических методов поисков полезных ископаемых	Сформированные и систематические знания актуальных проблем и тенденций в развитии минералогии, кристаллографии, геохимии и геохимических методов поисков полезных ископаемых

IV. Рекомендуемая основная литература:

1. Бетехтин А.Г. Курс минералогии. М.КДУ. 2007.
2. Булах А.Г., Кривовичев В.Г., Золотарев А.А. Общая минералогия, СПб, 2008.
3. Власов Е.А., Кошуг Д.Г., Посухова Т.В. Методы исследования минералов. Растровая и просвечивающая электронная микроскопия и электронно-зондовый микроанализ. Учебное пособие, М., 2009, 99 с.
4. Гаранин В.К., Криулина Г.Ю., Гаранин К.В., Самосоров Г.Г. Архангельские алмазы. Новые данные. 2018. М.: Скорыходов, ISBN 978-5-6040412-0-8, 232 с.
5. Годовиков А.А. Минералогия. М., Недра, Изд.: Мин. Музей. 1998. 162 с.
6. Григорьев Д.П., Жабин А.Г. Онтогенез минералов. М.: Наук. 1975.
7. Кононов О.В., Устинов И.Д. Тырныауз. Технологическая минералогия. М.: Либри. 2018. 326 с.
8. Кошуг Д.Г., Кротова О.Д. Физика минералов. 2017. ИНФРА-М Москва, ISBN 978-5-16-012173-4. 348 с.
9. Кривовичев В.Г. Минералогический словарь. Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2008. 556 с. ISBN: 978-5-288-04863-0.
10. Марфуни А.С. Введение в физику минералов. М., Недра, 1974.
11. Миловский А.В., Кононов О.В. Минералогия. М., МГУ, 1982.
12. Минералы. Справочник. Т.1 – Т. V. 1960 – 2003.
13. Наноминералогия. Ультра- и микродисперсное состояние минерального вещества. СПб. Наука. 2005. 581с.
14. Пеков И.В., Подлесный А.С. Минералогия Кукисвумчоррского месторождения (щелочные пегматиты и гидротермалиты). М., ТО «Земля», 2004, 172 с.
15. Пеков И.В., Турчкова А.Г., Ловская Е.В., Чуканов Н.В. Цеолиты щелочных массивов.

- М., Экост, 2004, 168 с.
16. Станкеев Е.А. Генетическая минералогия. М., Недра, 1986.
 17. Marfunin A.S. Advanced mineralogy: Vol. 1. Methods and instrumentations. Berlin, Springer, 1994: XXVII, 551 p.
 18. Marfunin A.S. Advanced mineralogy Vol. 2. Composition, structure and properties of mineral matter. 1995. XXI, 441 p.
 19. Fleischer's Glossary of Mineral Species 2018. 12th edition. 424 p.
 20. Егоров-Тисменко Ю.К. «Кристаллография и кристаллохимия», М, изд-во Книжный дом «Университет», 2005, с.520.
 21. Егоров-Тисменко Ю.К. «Руководство к практическим занятиям по кристаллографии», М, Изд-во МГУ, 2010, 208 стр.
 22. Егоров-Тисменко Ю.К., Литвинская Г.П., Загальская Ю.Г. «Кристаллография», М., изд-во МГУ, 1992, 288 стр.
 23. Урусов В.С., Еремин Н.Н. «Кристаллохимия. Краткий курс» М., Изд-во МГУ, 2010, 258 стр.
 24. Загальская Ю.Г., Литвинская Г.П., Егоров-Тисменко Ю. К. Геометрическая кристаллография, 2-е изд., М., изд-во МГУ, 1986, 166 стр.
 25. Загальская Ю.Г., Литвинская Г.П., Егоров-Тисменко Ю.К. Руководство к практическим занятиям по кристаллохимии, М. изд-во МГУ, 1983, 167 стр.
 26. Егоров-Тисменко Ю.К., Литвинская Г.П. Теория симметрии кристаллов. М. изд-во ГЕОС, 2000, 394 стр.
 27. Еремин Н.Н., Еремина Т.А.. Неорганическая кристаллохимия. Книга 1. М.: КДУ, 394 с., ISBN 978-5-91304-763-2, 2018.
 28. Урусов В.С. Теоретическая кристаллохимия. М., МГУ, 1987.
 29. Урусов В.С., Еремин Н.Н. «Кристаллохимия. Краткий курс» М., Изд-во МГУ, 2010, 258 стр.
 30. Бокий Г.Б. Кристаллохимия. М., Наука, 1973.
 31. Белов Н.В. Очерки по структурной минералогии. М., Недра, 1976.
 32. Еремин Н.Н., Еремина Т.А., Марченко Е.И. Отдельные главы структурной химии - электронная версия М.; КДУ, 2018 ISBN 978-5-7913-1078-1, 268 с
 33. Н.И. Леонюк, В.В. Мальцев. Монокристаллы тугоплавких боратов. М.: «ГЕОС», 2017, 446с.
 34. Н.И. Леонюк, Е.В. Копорулина, Е.А. Волкова, В.В. Мальцев. Кристаллография: зарождение, рост и морфология кристаллов. 2017, М: «ЮРАЙТ», 154с.
 35. Н.И. Леонюк, Е.В. Копорулина, Е.А. Волкова, В.В. Мальцев. Рост кристаллов. Лабораторный практикум с основами теории. М.: «ГЕОС», 2014, 142с.
 36. Н.И. Леонюк, В.В. Мальцев. Кристаллогенезис в многокомпонентных расплавах. М.: «ГЕОС», 2014, 391с.
 37. Н.И. Леонюк, Е.В. Копорулина, Е.А. Волкова, В.В. Мальцев. Зарождение, рост и морфология кристаллов. М: «МАКС Прес», 2010, 143с.
 38. Н.И. Леонюк, В.И. Лютин, В.В. Мальцев. Выращивание монокристаллов и моделирование процессов минералообразования. М: Изд. МГУ, 2005, 103с.
 39. Синтез минералов. В 3-х томах. Александров, ВНИИСИМС, 2000.
 40. Краснова Н.И., Петров Т.Г. Генезис минеральных индивидов и агрегатов. С.-Петербург: Изд. «Невский курьер», 1997, 228 с.
 41. Современная кристаллография. Т.3. Образование кристаллов. М.: Изд. «Наука», 1980, 430с.
 42. Пущаровский Д.Ю. Рентгенография минералов. М.-«Геоинформмарк», 2000, 292 с.
 43. Crystal structure analysis. Principles and practice. 2-nd edition. ed. W. Clegg. Oxford Univ. press, 2009, 387 p.
 44. Jenny Pickworth Glusker, Kenneth N. Trueblood. Crystal structure analysis. A Primer. 3-rd edition, 2010, 276 p.

45. “Руководство по рентгеновскому исследованию минералов”, под ред. В.А.Франк-Каменецкого. Л., “Недра”, 1976.
46. Ковба Л.М., Трунов В.К. “Рентгенофазовый анализ”, М., МГУ, 1976.
47. Липсон Г., Стипл Г. “Интерпретация порошковых рентгенограмм”, М., Мир, 1972.
48. Васильев Е.К., Нахмансон М.С. “Качественный рентгенофазовый анализ”, Новосибирск, “Наука”, СО РАН, 1986.
49. Пушаровский Д.Ю., Урусов В.С. “Структурные типы минералов”, М., МГУ, 1990.
50. Пушаровский Д.Ю. Структура и свойства кристаллов. – М.: ГЕОС, 2022. – 260 с.
51. Пушаровский Д. Ю. «Минералогическая кристаллография». Москва. Издательство ГЕОС. 2020. 341 с.
52. “Рентгенография основных типов породообразующих минералов”, под ред. В.А.Франк-Каменецкого. Л., “Недра”, 1983.
53. Крутова Г.И., Казаков В.И. “Методические указания по исследованию глинистых минералов методом дифрактометрии”, М., УДН, 1984.
54. Урусов В.С. Еремин Н.Н. Атомистическое моделирование кристаллических структур минералов их дефектов и твердых растворов. М, ГЕОС, 2011.
55. Oganov A.R., Ed. Modern Methods of Crystal Structure Prediction. WILEY-VCH, 2011, 274 p.
56. Урусов В.С., Еремин Н.Н. «Кристаллохимия. Краткий курс» М., Изд-во МГУ, 2010, 258 стр.
57. Лорд Э.Э., Маккей А.Л., Ранганатан С. «Новая геометрия для новых материалов». М, Физматлит, 2010, 264 стр.
58. Егоров-Тисменко Ю.К. «Кристаллография и кристаллохимия», М, изд-во Книжный дом «Университет», 2005, с.520
59. 7. Еремин Н.Н., Еремина Т.А., Марченко Е.И. Отдельные главы структурной химии - электронная версия М.; КДУ, 2018 ISBN 978-5-7913-1078-1, 268 с.
60. 8. Урусов В.С., Дубровинский Л.С. Конструирование вероятных кристаллических структур минералов. МГУ, 1990 г.
61. Перельман А.И. Геохимия. 3-е изд. М., ЛЕНАНД, 2016, 531 с.
62. Алексеенко В.А. Экологическая геохимия. М., Логос, 2000, 627 с.
63. Борисов М.В., Шваров Ю.В. Термодинамика геохимических процессов. М., Изд-во Московского ун-та, 1992, 256 с.
64. Браунлоу А.Х. Геохимия, М., Недра, 1984, 464 с.
65. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М., Наука, 2001, 375 с.
66. Гаррелс Р.М., Крайст Ч.Л. Растворы, минералы, равновесия. М., Мир, 1968, 368 с.
67. Жариков В.А. Основы физической геохимии. М., МГУ. 2005. 654 с.
68. Зверев В.П. Подземная гидросфера. Проблемы фундаментальной гидрогеологии. М., Научный мир, 2011, 260 с.
69. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов: Справочник. Книги 1 - 6. М., Недра, 1994-1997.
70. Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швеи В.М. Геохимия подземных вод. Теоретические прикладные и экологические аспекты. Изд. 2-е, доп. М., РАН, 2012, 677 с.
71. Ронов А.Б., Ярошевский А.А., Мигдисов А.А. Химическое строение земной коры и геохимический баланс главных элементов. М., Наука, 1990, 182 с.
72. Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых. Под ред. А.П.Соловова. М., Недра, 1990, 335 с.
73. Титаева Н.А. Ядерная геохимия. 2-е изд. М., Изд-во Моск. Ун-та, 2000, 336 с.
74. Хендерсон П. Неорганическая геохимия. М., Мир, 1985, 339 с.
75. Ярошевский А.А. Проблемы современной геохимии. Новосибирск, Новосиб. Гос. Ун-т, 2004, 194 с.

Периодические издания:

1. Записки Российского минералогического общества
2. Новые данные о минералах
3. American Mineralogist
4. Canadian Mineralogist
5. European Journal of Mineralogy
6. Mineralogical Magazine
7. Reviews in Mineralogy and Geochemistry
8. Journal of Crystal Growth
9. Acta Crystallographica A, B, C

V. Дополнительная литература:

1. Волошин А.В. (1993): Тантало-ниобаты: систематика, кристаллохимия и эволюция минералообразования в гранитных пегматитах. СПб., Наука, 297 с.
2. Волошин А.В., Пахомовский Я.А. (1988): Минералогия тантала и ниобия в редкометалльных пегматитах. Л., Наука. 239 с.
3. Воронков А.А., Шумяцкая Н.Г., Пятенко Ю.А. (1978): Кристаллохимия минералов циркония и их искусственных аналогов. М., Наука, 181 с.
4. Высоцкий В.С., Сытников В.Е., Илюшин К.В., Ковалёв Л.К., Ковалёв К.Л., Егошкина Л.А. (2005) Сверхпроводимость в электромеханике и электроэнергетике. Электричество. 7. 31-41.
5. Демянюк Д.Г., Долматов О.Ю., Исаченко Д.С., Кузнецов М.С., Семёнов А.О., Чурсин С.С. (2013) Современные методы получения матричных материалов для иммобилизации радиоактивных отходов. Известия высших учебных заведений. 56(4/2). 124-128.
6. Дятлова Е.М., Климош Ю.А. (2014) Химическая технология керамики и огнеупоров. Часть 1. Минск: БГТУ. 224 с.
7. Загорский В.Е., Макагон В.М., Шмакин Б.М., Макрыгина В.А., Кузнецова Л.Г. (1997): Гранитные пегматиты. Т. 2. Редкометальные пегматиты. Новосибирск: Наука. 285 с.
8. Зубакова Л.Б., Тевлина А.С., Даванков А.Б. (1978) Синтетические ионообменные материалы. М. Химия. 184 с.
9. Кэди У. (1949) Пьезоэлектричество и его практическое применение. Пер. с англ. М.: Издательство ин. лит.
10. Лайнс М., Гласс А. (1981) Сегнетоэлектрики и родственные им материалы. М.: Издательство «Мир»
11. Мнееян М.Г. (1991) Сверхпроводники в современном мире: Кн. Для учащихся. М.: Издательство «Просвещение»
12. Москальчук Л.Н., Баклай А.А., Леонтьева Т.Г., Стреленко Д.К. (2015) Сорбционные материалы на основе бентонитовой глины месторождения «Острожанское» для обеспечения безопасного обращения с радиоактивными отходами. Химия и технология неорганических веществ. 3. 70-77.
13. Нетрадиционные типы редкометалльного минерального сырья (1991). М., Недра, 248 с.
14. Пеков И.В., Кононкова Н.Н. (2010): Рубидиевая минерализация в редкометалльных гранитных пегматитах Вороньих тундр (Кольский полуостров, Россия) // Геохимия, 7, 741-760.
15. Пожидаев Ю.Н. (2014) Кремнийсодержащие сорбционные материалы: синтез, свойства, применение. Известия ВУЗов. Прикладная химия и биотехнология. 4(9). 7-37.
16. Пятенко Ю.А. (1990): Основные черты минералогической кристаллохимии лития // Изв. АН, сер. геол., 4, 67-74.

17. Пятенко Ю.А., Курова Т.А., Черницова Н.М., Пудовкина З.В., Блинов В.А., Максимова Н.В. (1999): Ниобий, тантал и цирконий в минералах. М.: Изд. ИМГРЭ, 213 с.
18. Пятенко Ю.А., Угрюмова Н.Г. (1988): Минералогическая кристаллохимия редкоземельных элементов // Изв. АН, сер.геол., 11, 75-86.
19. Садовский М.В. (2008) Высокотемпературная сверхпроводимость в слоистых соединениях на основе железа. Успехи физических наук. 178(12). 1243-1271.
20. Солодов Н.А., Балашов Л.С., Кременецкий А.А. (1980): Геохимия лития, рубидия и цезия. М.: Недра. 233 с.
21. Хомяков А.П. (1990): Минералогия ультраапатитовых щелочных пород. М., Наука, 196 с.
22. Чесноков Н.В., Кузнецов Б.Н., Микова Н.М. (2013) Углеродные и композиционные материалы из природных графитов. Журнал Сибирского федерального университета.
23. Попов Г.М., Шафрановский И.И. Кристаллография, 5-е изд., М., изд-во Высшая школа, 1972, 352 стр.
24. Ворошилов Ю.В. Павлишин В.И. «Основы кристаллографии и кристаллохимии. Рентгенография кристаллов» Киев, КНТ, 2011. 568 стр.
25. Тепло- и массообмен при получении монокристаллов / П.К. Конаков, Г.Е. Веревошкин, Л.А. Горяинов и др. М: Изд. «Металлургия», 1971.

VI. Авторы программы:

1. Ерёмин Н.Н., чл-корр. РАН, дхн
2. Шванская Л.В., дхн
3. Гурбанова О.А. кхн
4. Кошуг Д.Г. профессор, д ф-м н
5. Гриценко Ю.Д. к г-м н
6. Борисов М.В. профессор д г-м н
7. Бычков А.Ю. профессор д г-м н
8. Лубкова Т.Н. к г-м н