

# ПРОГРАММА КУРСА «МИНЕРАЛОГИЯ»

## Раздел 1: Вводная часть

### **1. Понятие «минерал». Минералогия как фундаментальная геологическая наука.**

Определение понятия «минерал». Содержание минералогии как науки. Объекты минералогии. Основные направления минералогии: систематическая, структурная минералогия, генетическая минералогия, прикладная минералогия (поисковая, технологическая, техническая, минералогическое материаловедение, геммология, камень в произведениях искусства, археоминералогия), экспериментальная минералогия, биоминералогия и органическая минералогия, минералогия окружающей среды, космическая минералогия. Связь минералогии с другими науками.

Основные этапы развития минералогии.

### **2. Конституция минералов.**

Электронное строение атомов как фундамент их химических свойств, конфигурация электронных оболочек, строение внешней (валентной) электронной оболочки, определяющей свойства атомов и тип химических связей. Основное состояние атомов (одиночный атом). Стабильное состояние атомов, как причина появления химических связей. Возбужденное (валентное) состояние атомов. Типы химической связи. Ионная связь. Свойства соединений с ионной связью. Ковалентная связь. Поделенные электронные пары. Главные типы гибридизации электронных орбиталей. Неподеленные электронные пары. Донорно-акцепторная связь. Степень ионности-ковалентности химических связей. Свойства веществ с ковалентной связью. Металлическая связь. Свойства веществ с металлической связью. Межмолекулярная или вандерваальсовая связь. Водородная связь. Свойства веществ с межмолекулярной и/или водородной связями. Гомо- и гетеродесмичные соединения.

Радиусы атомов и ионов в кристаллах. Закономерности изменения размеров атомов в таблице Менделеева. Правила Гольдшмидта – Шеннона – Прюитта.

Координационное число. Геометрия координационных полиэдров. Плотнейшая упаковка атомов, ее типы, геометрия и соотношение размеров межатомных пустот, принцип плотнейшей упаковки, свойства веществ с плотнейшей упаковкой. Типы кристаллических структур. Гомогенные и гетерогенные структуры (изолированные – нольмерные, одномерные – цепочки, ленты; двумерные – слои, трехмерные – каркасы). Способы изображения кристаллических структур. Полиморфизм минералов.

### **3. Химический состав минералов.**

Связь количества минералов с химическим составом Земной коры. Закономерности распространенности минералов разных химических элементов.

Формулы минералов: идеальные (упрощенные) и реальные. Правила написания химических формул.

Минералы постоянного и переменного состава. Понятие изоморфизма, межатомный и блочный (кластерный) изоморфизм, твердые растворы, условия реализации межатомного изоморфизма, типы изоморфизма по характеру компенсации валентности, количеству участвующих атомов, степени совершенства. Изоморфные ряды (диагональный и вертикальный). Полярный изоморфизм. Геологические факторы, контролирующие изоморфные замещения.

Представления химического состава минералов: бинарные и тройные диаграммы. Минеральные индивиды и виды. Границы минеральных видов. Разновидности минералов по химическому составу, особенностям структуры, физическим свойствам.

Роль воды в минералах: конституционная, кристаллизационная, адсорбированная, цеолитная вода.

#### **4. Морфология кристаллов минералов и их агрегатов.**

Размеры минеральных индивидов. Граничные размеры, для микро-, мелко-, средне-, крупно- и гигантозернистых кристаллов/пород. Минерал как кристалл, законы симметрии, характеризующие внешний вид кристалла, 32 вида симметрии. Зависимости морфологии кристалла от геометрии кристаллической решетки. Габитус и облик кристаллов. Искажение формы кристаллов за счет условий образования. Расщепленные, блочные кристаллы, сферолиты, скелетные кристаллы, дендриты. Псевдоморфозы.

Агрегаты минералов. Закономерные (двойники, эпитаксичные сростки). Незакономерные: друзы, щетки, параллельно-шестоватые агрегаты, секрции, конкреции, оолиты, натечные агрегаты, зернистые агрегаты (идиоморфные, гипидиоморфные, ксеноморфные зерна минералов). Значение морфологии индивидов и агрегатов как индикаторов происхождения пород и месторождений.

#### **5. Физические свойства минералов.**

Оптические свойства минералов: блеск, цвет, прозрачность минералов. Взаимосвязь оптических свойств. Блеск и цвет минерала как диагностические свойства. Типы окрасок минералов: собственная, чужая, ложная. Природа собственной окраски минералов. Зонная теория строения кристаллов, зоны валентная, проводимости, запрещенная, зависимость энергетической ширины запрещенной зоны от типа химических связей. Природа окраски у минералов с металлической, ковалентной и ионной типами химических связи. Элементы-хромофоры, природа окраски для элементов-хромофоров, расщепление d-орбиталей, зависимости окраски хромофоров от типа элемента, его валентного состояния, координационного числа, расстояния катион-анион. Окраска, вызванная переносом зарядов. Окраска, обусловленная дефектами кристаллической решетки. Цвет черты минералов.

Механические свойства минералов. Плотность и удельный вес, зависимость от химического состава и кристаллической структуры. Твердость и ее зависимость от химического состава, типа химических связей. Спайность и ее характеристики: зависимость от кристаллической структуры, кристаллографическая ориентировка, степень совершенства. Отдельность. Излом.

Магнитные, электрические свойства.

Анизотропия физических свойств.

## **6. Образование (генезис) минералов.**

Минерал как продукт геохимических процессов. Три главных подхода к изучению генезиса минералов: а) механизмы роста кристаллов и их агрегатов, б) образование минералов как физико-химический процесс, зависящий от температуры, давления, химизма окружающей среды, в) геологические процессы образования минералов.

Физико-химические причины образования кристалла: пересыщение за счет а) охлаждения, б) испарения, в) снятия давления, г) протекания химических реакций (смешения растворов, удаления газовой фазы, изменения рН и окислительно-восстановительных процессов). Среда образования минерала: кристаллизация из газовой фазы, остывание расплава, кристаллизация из раствора (магматического и гидротермального), кристаллизация в твердой среде (полиморфные переходы, распад твердого раствора). Биохимические реакции минералообразования, реакции фотосинтеза. Скорость роста кристаллов. Роль экспериментов в познании минералообразования.

Генерации минералов. Минеральные ассоциации и парагенетические минеральные ассоциации. Типоморфизм минералов. Минеральные месторождения. Месторождения полезных ископаемых. Геологические типы минеральных месторождений.

Магматические минеральные месторождения. Классификация магматических пород и их минеральный состав: породы (интрузивные, эффузивные) нормального и щелочного рядов: ультраосновные, основные, средние, кислые. Происхождение магм различного химического и минерального составов. Дифференциация магм. Месторождения, связанные с магматическими породами: ультраосновные породы (алмаз, хром, платина), основные (платина, медь, никель, титан), средние (титан), щелочные (фосфор, редкоземельные элементы, тантал, ниобий).

Пегматиты. Условия образования. Классификация: а) К–В – керамических, слюдоносных, редкоземельных; б) Na–Li – редкометалльных; и) F–Be – камерных, хрусталеносных. Минеральный состав. Индикаторные признаки. Полезные ископаемые.

Скарны. Условия образования. Понятие о метасоматозе. Классификация: а) известковые скарны, б) магнезиальные скарны. Минеральный состав. Индикаторные признаки. Полезные ископаемые.

Гидротермальные месторождения. Происхождение гидротермальных растворов, источники и способы обогащения их рудными элементами, механизмы переноса и условия отложения вещества. Классификация гидротермальных месторождений по геологическим обстановкам: вулканогенные, плутогенные (жильные и грейзены), метаморфогенные, амагматические (в осадочных толщах). Классификация месторождения по температурам отложения рудного вещества: высоко-, средне- и низкотемпературные месторождения, минералы как индикаторы температур рудоотложения. Гидротермальные жилы секретинного и метасоматического типов. Гидротермально-осадочные месторождения.

Осадочный процесс как совокупность явлений, происходящих в коре выветривания (и зоне окисления), переносе вещества (в форме раствора, коллоида, взвеси, биогенных формах),

осаждения вещества (хемогенные, обломочные, биогенные отложения). Зона окисления сульфидных месторождений. Формирование россыпных месторождений.

Метаморфогенные месторождения. Определение метаморфизма. Характер увеличения температуры и давления с глубиной. Морфологические особенности метаморфических пород и слагающих их минералов. Контактный и региональный метаморфизм. Метаморфизм погружения и динамотермальный метаморфизм в областях повышенного теплового потока. Понятие о метаморфических фациях. Импактный метаморфизм.

## **Раздел 2: Систематическая минералогия**

**Принципы классификации минералов.** Понятие минерального вида как основы классификации минералов. Минеральные виды и разновидности минералов, химические и структурные разновидности минералов. Правило 50 % для выделения минеральных видов в изоморфных смесях. Принципы современной классификации минералов. Критерии объединения минералов в типы, классы, подклассы, группы.

### **ТИП I. ПРОСТЫЕ ВЕЩЕСТВА (САМОРОДНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ)**

Общая характеристика: химические элементы, встречающиеся в виде простых веществ, их кристаллические структуры, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства и их связь со структурой и составом, условия образования и генетические типы месторождений. Простые вещества как полезные ископаемые. Классификация простых веществ.

#### **Класс 1. Металлы**

*Группа меди:* медь, серебро, золото. Кристаллическая структура, химический состав, физические свойства, морфология кристаллов и агрегатов. Условия образований и генетические типы месторождений.

*Группа железа:* феррит, тэнит. Химический состав и условия образования.

*Группа платины:* платина, осмий, иридий. Химический состав и условия образования.

#### **Класс 2. Неметаллы**

*Группа углерода:* графит, алмаз. Кристаллическая структура, химический состав и типы химических связей в минералах, физические свойства и их связь со структурой, морфология кристаллов и агрегатов. Полиморфный переход алмаз ↔ графит – физико-химические условия протекания и геологическая обстановка реализации. Генетические типы месторождений. Кимберлиты как главный тип коренных месторождений алмазов.

*Группа серы:* ромбическая и моноклинная модификации серы. Кристаллическая структура, физические свойства, морфология кристаллов и агрегатов, условия образований и генетические типы месторождений. Сера в осадочных породах как продукт биогеохимических процессов. Сера как продукт вулканических эксгаляций (фумарол).

### **Класс 3. Интерметаллиды**

*Группа ферроплатины:* изоферроплатина, тетраферроплатина. Химический состав и условия образования.

## **ТИП 2. СЕРНИСТЫЕ СОЕДИНЕНИЯ И ИХ АНАЛОГИ**

Общая характеристика: сера как элемент переменной валентности, условия нахождения восстановленной формы серы, элементы-аналоги серы, химический состав сульфидов и их аналогов, особенности химических связей в сульфидах, типы кристаллических структур сульфидов, физические свойства сульфидов и их связь со структурой и составом, генетические типы месторождений. Сульфиды как индикаторы температуры образования минеральных месторождений. Сульфиды и их аналоги как полезные ископаемые. Классификация сульфидов.

### **Класс 1. Простые сульфиды**

*Группа халькозина:* халькозин. Физические свойства, морфология кристаллов и агрегатов. Генетические типы месторождений. Медистые песчаники: минеральный состав, условия залегания, генезис.

*Группа галенита:* галенит. Кристаллическая структура, тип химической связи, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства и их связь со структурой и составом, диагностические характеристики, условия образований и генетические типы месторождений.

*Группа сфалерита:* сфалерит, вюрцит. Кристаллическая структура, тип химической связи, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства и их связь со структурой и составом, условия образований и генетические типы месторождений.

*Группа пирротина:* троилит, пирротин, никелин. Кристаллическая структура, особенности химического состава, главные изоморфные замещения железа и их связь с кристаллической структурой и физическими свойствами, морфология кристаллов и агрегатов, условия образования и генетические типы месторождений. Магматические ликвационные месторождения: способы образования, минеральные ассоциации.

*Группа киновари:* киноварь. Химический состав, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, условия образований и генетические типы месторождений. Киноварь как индикатор низкотемпературных гидротермальных процессов.

*Группа стибнита:* стибнит, висмутин. Химический состав, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, условия образований и генетические типы месторождений. Стибнит как индикатор низкотемпературных гидротермальных процессов.

*Группа аурипегмента:* аурипегмент. Химический состав, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, условия образований и генетические типы месторождений. Аурипегмент как индикатор низких температур образования минеральных месторождений.

*Группа молибденита:* молибденит. Кристаллическая структура, химический состав, типы химических связей, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства и их связь со структурой и составом, условия образований и генетические типы месторождений. Молибденит как индикатор высоких температур образования минеральных месторождений.

*Группа реальгара:* реальгар. Кристаллическая структура, химический состав, тип химических связей, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства и их связь со структурой и химическим составом, условия образований и генетические типы месторождений. Реальгар как индикатор как низких температур образования минеральных месторождений.

## **Класс 2. Сложные сульфиды**

*Группа пентландита:* пентландит. Химический состав, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, условия образований и генетические типы месторождений. Магматические ликвационные месторождения: способы образования, минеральные ассоциации.

*Группа халькопирита:* халькопирит. Кристаллическая структура, химический состав, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, условия образований и генетические типы месторождений.

*Группа борнита:* борнит. Кристаллическая структура, химический состав, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, условия образований и генетические типы месторождений. Медистые песчаники: минеральный состав, условия залегания, способы образования. Зоны окисления сульфидных месторождений: строение, минеральный состав, процессы минералообразования, зона вторичного сульфидного обогащения.

*Группа ковеллина:* ковеллин. Кристаллическая структура, химический состав, физические свойства, условия образования.

## **Класс 3. Сульфосоли**

*Группа блеклых руд:* теннантит, тетраэдрит. Кристаллическая структура, химический состав и главные типы изоморфных замещений, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, условия образований и генетические типы месторождений. Блеклые руды как индикатор среднетемпературных гидротермальных процессов и как спутник золота.

#### **Класс 4. Персульфиды и их аналоги**

*Группа пирита:* пирит. Кристаллическая структура, химический состав и типы химических связей, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства и их связь со структурой, условия образований и генетические типы месторождений. Колчеданный тип гидротермально-осадочных месторождений: минеральный состав, условия нахождения в природе, способы образования, колчеданные месторождения как древние аналоги “черных курильщиков”. Пирит как индикатор восстановительных условий захоронения осадков, обогащенных органическим веществом, генезис пирита в “черных сланцах”.

*Группа марказита:* марказит, арсенопирит. Кристаллическая структура, химический состав, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, условия образований и генетические типы месторождений.

*Группа скуттерудита:* скуттерудит, никельскуттерудит. Кристаллическая структура, химический состав, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, условия образований и генетические типы месторождений.

### **ТИП 3. КИСЛОРОДНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ**

Общая характеристика: кислород как электроотрицательный элемент, отличие атомарного строения кислорода от серы, различное поведение кислорода и серы в природе; Классификация кислородных соединений.

#### **Класс 1. Простые оксиды**

Общая характеристика: химический состав, особенности химических связей, типы кристаллических структур, физические свойства минералов их связь со структурой и составом, генетические типы месторождений. Оксиды как полезные ископаемые. Классификация оксидов.

*Группа куприта:* куприт. Химический состав, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, условия образований и генетические типы месторождений.

*Группа корунда:* корунд, гематит. Химический состав, кристаллическая структура, морфологией кристаллов и агрегатов, физические свойства и их связь со структурой и составом, условия образований и генетические типы месторождений. Вторичные кварциты: минеральные ассоциации, геологические условия залегания, условия образования.

*Группа кварца:* полиморфные модификации оксида кремния: высоко- и низкотемпературный кварц, тридимит, кристобалит, коэсит, стишовит и поля их устойчивости в координатах температура–давление. Химический состав, изоморфные примеси и их влияние на физические свойства, природа окраски цветных разновидностей кварца, кристаллическая структура высоко- и низкотемпературных модификаций кварца, энантиоморфные разновидности

низкотемпературного кварца, физические свойства; морфология кристаллов, двойников и агрегатов, скрытокристаллические и мелкозернистые агрегаты кварца (хальцедон, кварцин, агат, оникс, яшма), условия образований и генетические типы месторождений полиморфных модификаций оксида кремния. Жилы альпийского типа: минеральные ассоциации, геологические условия залегания, условия образования. Низкотемпературный кварц как полезное ископаемое.

*Группа рутила:* рутил, брукит, анатаз, касситерит, пиролюзит. Химический состав, кристаллическая структура, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, условия образований и генетические типы месторождений. Касситерит как индикатор высоких температур образования месторождений.

## **Класс 2. Сложные оксиды**

*Группа ильменита:* ильменит. Химический состав, кристаллическая структура, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, условия образований и генетические типы месторождений.

*Группа шпинели:* шпинель, магнетит, хромит, гаусманнит. Кристаллическая структура, шпинели нормальной и обращенной структуры, химический состав, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, условия образований и генетические типы месторождений. Шпинель как индикаторный минерал магнезиальных скарнов. Железистые кварциты: минеральные ассоциации, геологические условия залегания, условия образования, значение в глобальной эволюции Земли, VIF – формация. Хромитовые руды в ультраосновных породах.

*Группа перовскита:* перовскит, луешит, лопарит. Химический состав, кристаллическая структура, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, условия образований и генетические типы месторождений. Карбонатиты: минеральные ассоциации, геологические условия залегания, условия образования.

*Группа пирохлора:* пирохлор, микролит. Химический состав, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, условия образований и генетические типы месторождений.

*Группа вольфрамита:* ферберит, гюбнерит. Химический состав, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, условия образований и генетические типы месторождений. Вольфрамит как индикатор высоких температур образования минеральных месторождений.

## **Класс 3. Гидроксиды**

Общая характеристика: химический состав, особенности химических связей, типы кристаллических структур, физические свойства минералов их связь со структурой и составом, генетические типы месторождений, гидроксиды как полезные ископаемые. Классификация гидроксидов.



*Группа гидроксидов магния:* брусит. Химический состав, кристаллическая структура, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, условия образований и генетические типы месторождений.

*Группа гидроксидов алюминия:* гиббсит, бёмит, диаспор. Химический состав, кристаллические структуры, особенности химических связей и различное строение кислород-водородных пар, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства и их связь со структурой, условия образований и генетические типы месторождений. Бокситы: минеральные ассоциации, геологические условия залегания, условия образования.

*Группа гидроксидов железа:* гётит, лепидокрацит. Химический состав, кристаллическая структура, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства. условия образований и генетические типы месторождений. Лимонит: минеральные ассоциации, геологические условия залегания, условия образования.

*Группа гидроксидов марганца:* пирохроит, манганит, гроутит. Химический состав, кристаллическая структура, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, условия образований и генетические типы месторождений. Вад (псиломелан): минеральные ассоциации, геологические условия залегания, условия образования.

#### **Класс 4. Силикаты и их аналоги (алюмосиликаты, боросиликаты, бериллосиликаты, феррисиликаты).**

Общая характеристика: силикаты как главные минералы земной коры. Кремнекислородный тетраэдр как основной “строительный” полиэдр кристаллических структур силикатов. Структурные типы анионных групп в силикатах: островные, кольцевые, цепочечные, ленточные, слоистые силикаты, каркасные алюмосиликаты. Особенности химического состава силикатов разных структурных типов. Зависимость морфологии и физических свойств силикатов от их кристаллической структуры и химического состава. Силикаты как полезные ископаемые. Классификация силикатов.

##### **Подкласс 1. Алюмосиликаты каркасной структуры.**

Общая характеристика: кристаллические структуры, химический состав, физические свойства, условия образования и главные генетические типы месторождений.

##### **Простые каркасные алюмосиликаты**

*Группа полевых шпатов.* Кристаллическая структура, химический состав, морфология кристаллов, законы двойникования кристаллов, физические свойства, диагностические характеристики. Щелочные полевые шпаты (анортотлаз, санидин, ортоклаз, микроклин): упорядочение распределения алюминия в кристаллической структуре и связанное с этим изменение симметрии минералов; особенности изоморфных замещений между калием и натрием, распад твердых растворов, пертиты и антипертиты. Плагиноклазы (альбит, анортит и промежуточные члены изоморфного ряда): схема изоморфных замещений в ряду плагиноклазов,

понятие номер плагиоклаза, особенности распада твердых растворов в ряду плагиоклазов, иризирующие плагиоклазы. Условия образования и преобразований полевых шпатов. Калиевые полевые шпаты как геотермометры. Полевые шпаты как полезные ископаемые.

*Группа данбурита:* данбурит. Химический состав, условия образования.

*Группа лейцита:* лейцит. Химический состав, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, условия образования и генетические типы месторождений.

*Группа нефелина:* нефелин. Кристаллическая структура, химический состав, морфология кристаллов и агрегатов физические свойства, условия образования и генетические типы месторождений. Минеральные ассоциации нефелиновых сиенитов и их пегматитов.

*Каркасные алюмосиликаты с добавочными анионами*

*Группа скаполита:* мариалит и мейонит. Кристаллическая структура, химический состав и особенности изоморфных замещений элементов, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, условия образований и генетические типы месторождений. Генетическое родство скаполитов и плагиоклазов.

*Группа канкринита:* канкринит, вишневит. Кристаллическая структура и способ ее описания в терминах вторичных структурных единицах, химический состав, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, условия образования и генетические типы месторождений. Генетическое родство канкринита и нефелина.

*Группа содалита:* содалит, нозеан, гаюин, лазурит. Кристаллическая структура и способ ее описания в терминах вторичных структурных единицах, химический состав, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, условия образований и генетические типы месторождений. Генетическое родство содалита и нефелина. Лазурит как поделочный камень.

*Водные каркасные алюмосиликаты (семейство цеолитов)*

Особенности кристаллических структур цеолитов. Типы воды в цеолитах. Связь конституции цеолитов с условиями их образования, генетические типы месторождений цеолитов. Цеолиты как полезные ископаемые.

*Группа поллуцита:* поллуцит. Химический состав, морфология выделений, физические свойства, условия образования. Редкометальные Na–Li гранитные пегматиты: индикаторные минералы, условия образования, полезные ископаемые.

*Группа гейтландита:* гейтландит, стильбит. Химический состав, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства.

*Группа натролита:* натролит, сколецит. Кристаллическая структура, химический состав, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства.

*Группа анальцима:* анальцим. Кристаллическая структура, химический состав, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства.

*Группа шабазита:* шабазит. Химический состав, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства.

## Подкласс 2. Силикаты островной структуры.

Общая характеристика: кристаллические структуры, химический состав, физические свойства, условия образования и главные генетические типы месторождений.

*Группа оливина:* форстерит, фаялит, тефроит, монтчеллит. Кристаллическая структура, химический состав и ряды изоморфных замещений, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, условия образования и генетические типы месторождений.

*Группа циркона:* циркон. Кристаллическая структура, химический состав, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, условия образования и генетические типы месторождений. Типоморфные особенности циркона. Значение циркона для геологических исследований.

*Группа граната:* пироп, альмандин, спессартин, андрадит, гроссуляр, уваровит, шорломит. Кристаллическая структура, химический состав, главные изоморфные замещения, пределы изоморфных рядов, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, условия образования и генетические типы месторождений.

*Группа гумита:* норбергит, хондродит, гумит, клиногумит. Кристаллические структуры, химический состав и их взаимосвязь, модульный тип кристаллических структур, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, условия образования и генетические типы месторождений. Гумиты как индикаторы магнезиальных скарнов.

*Группа кианита:* кианит, андалузит, силлиманит. Кристаллические структуры, химический состав, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, условия образования и генетические типы месторождений. Метаморфические породы, глиноземистые гнейсы: минеральный состав, условия образования, полезные ископаемые.

*Группа ставролита:* ставролит. Химический состав, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, условия образования, минеральная ассоциация.

*Группа титанита:* титанит. Химический состав, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, условия образования и генетические типы месторождений.

*Группа хлоритоида:* хлоритоид. Кристаллическая структура, химический состав, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, условия образования и генетические типы месторождений.

*Группа везувиана:* везувиан. Химический состав, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, условия образования и генетические типы месторождений.

*Группа эпидота:* клиноцоизит, эпидот, алланит, пьмонтит. Кристаллическая структура, химический состав, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, условия образования и генетические типы месторождений.

*Группа гемиморфита:* гемиморфит. Кристаллическая структура, химический состав, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, условия образования и ассоциация.

### Подкласс 3. Силикаты кольцевой структуры.

Общая характеристика: основные типы кремнекислородных (анионных) радикалов, химический состав, морфология, физические свойства, условия образования и генетические типы месторождений.

*Группа берилла:* берилл. Кристаллическая структура, химический состав, главные типы изоморфных замещений, морфология кристаллов, физические свойства, диагностические характеристики, главные разновидности, условия образования и генетические типы месторождений, берилл как полезное ископаемое.

*Группа кордиерита:* кордиерит. Кристаллические структуры индиалита и кордиерита, химический состав кордиерита, морфология кристаллов, физические свойства, диагностические характеристики, условия образования, кордиерит как индикатор генезиса метаморфических пород.

*Группа диоптаза:* диоптаз. Кристаллическая структура, химический состав, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, условия образования и минеральные ассоциации, диоптаз и хризоколла.

*Группа турмалина.* Кристаллическая структура, химический состав, главные типы изоморфных замещений, главные минеральные виды: шерл, дравит, эльбаит, увит, бюргерит; морфология кристаллов, физические свойства и их связь со структурой и химическим составом, условия образования и генетические типы месторождений.

*Группа эвдиалита:* эвдиалит. Кристаллическая структура, химический состав, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, условия образования и минеральные ассоциации.

*Группа аксинита:* аксинит-(Fe). Кристаллическая структура, химический состав, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, условия образования и генетические типы месторождений.

### Подкласс 4. Силикаты цепочечной структуры.

Общая характеристика: основные типы кремнекислородных (анионных) радикалов, химический состав, морфология кристаллов, физические свойства, условия образования и генетические типы месторождений.

*Группа пироксенов.* Кристаллическая структура, химический состав, главные типы изоморфных замещений и принципы классификации пироксенов. Главные минеральные виды: а) Mg–Fe-пироксены: энстатит, ферросилит, клиноэнстатит, клиноферросилит, пижонит; б) Ca-пироксены: диопсид, геденбергит, йохансенит, авгит; в) Ca–Na-пироксены: омфациит, эгирин-авгит; г) Na-пироксены: эгирин, жадеит; д) Li-пироксены: сподумен. Морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства и их связь с кристаллической структурой и химическим составом, диагностические характеристики, условия образования и генетические типы месторождений.

*Группа волластонита:* волластонит. Кристаллическая структура, химический состав, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, диагностические характеристики, условия образования и генетические типы месторождений, волластонит как полезное ископаемое.

*Группа родонита:* родонит. Кристаллическая структура, химический состав, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, диагностические характеристики, условия образования и генетические типы месторождений, родонит как поделочный камень.

#### Подкласс 5. Силикаты ленточной структуры.

Общая характеристика: основные типы кремнекислородных (анионных) радикалов, химический состав, морфология кристаллов, условия образования и генетические типы месторождений.

*Группа амфиболов.* Кристаллическая структура, химический состав, главные типы изоморфных замещений и принципы классификации амфиболов. Главные минеральные виды: а) Mg–Fe–Li-амфиболы: антофиллит, ферроантофиллит, жедрит, холмквистит, клинохолмквистит, куммингтонит, грюнерит; б) Ca-амфиболы: тремолит, актинолит, эденит, гастингсит, магнезиогорнблендит, феррогорнблендит; в) Ca–Na-амфиболы: рихтерит, феррорихтерит; г) Na-амфиболы: глаукофан, ферроглаукофан, рибекит, арфведсонит. Роговая обманка как черный амфибол сложного химического состава. Морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства и их связь с кристаллической структурой и химическим составом, диагностические характеристики, условия образования и генетические типы месторождений.

*Группа астрофиллита:* астрофиллит. Кристаллическая структура, химический состав, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, диагностические характеристики, условия образования, минеральные ассоциации.

*Группа чароита:* чароит. Кристаллическая структура, химический состав, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, диагностические характеристики, условия образования, минеральные ассоциации.

#### Подкласс 6. Силикаты слоистой структуры.

Общая характеристика: основные типы кремнекислородных (анионных) радикалов, силикаты с простыми и сложными сетками кремнекислородных тетраэдров, химический состав, морфология кристаллов, физические свойства, принципы классификации слоистых силикатов, условия образования и главные генетические типы месторождений.

*Группа каолинита:* Кристаллическая структура, химический состав, главные минералы и различия между ними: каолинит, диккит, накрит, галлуазит; понятие политипия; морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства и их связь с кристаллической структурой минералов, методы диагностики, условия образования и генетические типы месторождений, каолинит как полезное ископаемое.

*Группа серпентина.* Кристаллическая структура, химический состав, главные минералы и различия между ними: хризотил, антигорит, лизардит, амезит; морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства и их связь с кристаллической структурой минералов, методы диагностики, условия образования и генетические типы месторождений, серпентины как полезное ископаемое.

*Группа пирофиллита:* пирофиллит. Кристаллическая структура, химический состав, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства и их связь с кристаллической структурой, методы диагностики, условия образования, пирофиллит как полезное ископаемое.

*Группа талька:* тальк. Кристаллическая структура, химический состав, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства и их связь с кристаллической структурой, методы диагностики, условия образования, тальк как полезное ископаемое.

*Группа смектитов:* монтмориллонит, бейделлит, нонтронит, сапонит. Кристаллическая структура, химический состав, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, методы диагностики, условия образования и генетические типы месторождений, смектиты как полезное ископаемое.

*Группа слюд.* Кристаллическая структура, химический состав, главные типы изоморфных замещений и принципы классификации слюд: а) собственно слюды: диоктаэдрические – мусковит, парагонит, селадонит; триоктаэдрические – флогопит, аннит, сидерофиллит, истонит, тетраферрифлогопит, тайниолит, полилитионит, трилитионит. Биотит как черная железосодержащая слюда, лепидолит как розово-фиолетовая литиевая слюда, циннвальдит как серебристая слюда литий-железистого состава. б) хрупкие слюды: диоктаэдрические – маргарит; в) слюды с дефицитом межслоевых катионов: диоктаэдрические – иллит, глауконит, триоктаэдрические – вермикулит. Морфология кристаллов и агрегатов слюд, физические свойства и их связь с кристаллической структурой и химическим составом, диагностические характеристики, условия образования и генетические типы месторождений. Слюды как полезные ископаемые.

*Группа хлорита:* клинохлор и шамозит. Кристаллическая структура, химический состав, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, методы диагностики, условия образования и генетические типы месторождений.

*Группа пренита:* пренит. Кристаллическая структура, химический состав, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, методы диагностики, условия образования и генетические типы месторождений.

*Группа датолита:* датолит. Кристаллическая структура, химический состав, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, методы диагностики, условия образования и генетические типы месторождений.

### **Класс 5. Фосфаты, арсенаты, ванадаты**

Общая характеристика: электронное строение и геометрическая конфигурация анионных группировок  $(\text{PO}_4)^{3-}$ ,  $(\text{VO}_4)^{3-}$  и  $(\text{AsO}_4)^{3-}$ , особенности кристаллических структур, химического состава, физические свойства, распространенность в природе и условия образования. Классификация минералов.

*Группа монацита:* монацит. Химический состав, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, условия образования и генетические типы месторождений.

*Группа апатита.* Кристаллическая структура, химический состав, главные типы изоморфных замещений и принципы классификации. Главные минеральные виды: фторапатит, хлорапатит, гидроксилapatит, пироморфит, ванадинит, миметезит. Морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, диагностические характеристики, условия образования и генетические типы месторождений, типоморфизм апатита. Апатит как биогенный минерал. Понятие о фосфоритах.

*Группа вивианита:* вивианит, эритрин, аннабергит. Химический состав, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, условия образования.

*Группа скородита:* скородит. Химический состав, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, условия образования.

*Группа урановых слюдок:* торбернит, отенит, тюямунит, карнотит. Химический состав, физические свойства, условия образования.

*Группа бирюза:* бирюза. Химический состав, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, условия образования и генетические типы месторождений. Бирюза как драгоценный камень.

## **Класс 6. Сульфаты**

Общая характеристика: валентные состояния серы, физико-химические и геологические условия перехода сульфид-ион  $\leftrightarrow$  сульфат-ион, электронное строение и геометрическая конфигурация анионной группировки  $(\text{SO}_4)^{2-}$ , особенности кристаллических структур, химического состава и физических свойств сульфатов, распространенность в природе и условия образования. Классификация минералов.

*Группа барита:* барит, целестин. Кристаллическая структура, химический состав, морфология кристаллов, физические свойства, диагностические характеристики, условия образования и генетические типы месторождений, барит и целестин как полезные ископаемые.

*Группа ангидрита:* ангидрит. Кристаллическая структура, химический состав, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, условия образования и генетические типы месторождений.

*Группа гипса:* гипс. Кристаллическая структура, химический состав, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, условия образования и генетические типы месторождений, Переход гипс  $\leftrightarrow$  ангидрит – физико-химические условия протекания и геологические обстановки реализации.

*Сульфаты натрия:* тенардит, мирабилит, блёдит. Химический состав. Условия образования.

*Сульфаты калия:* калиевые квасцы, алуни́т, ярозит. Химический состав. Условия образования.

*Сульфаты меди и железа:* эпсонит, мелантерит, бутит, халькантит, брошантит. Химический состав. Условия образования.

### **Класс 7. Хроматы, вольфраматы, молибдаты**

Общая характеристика: валентные состояния хрома, вольфрама и молибдена, электронное строение и геометрическая конфигурация анионных группировок  $(CrO_4)^{2-}$ ,  $(WO_4)^{2-}$  и  $(MoO_4)^{2-}$ , химический состав, физические свойства минералов, распространенность в природе и условия образования. Классификация минералов.

*Группа крокоита:* крокоит. Химический состав, морфология кристаллов, физические свойства, диагностические характеристики, условия образования.

*Группа шеелита:* шеелит, повелит, вульфенит. Кристаллическая структура шеелита. Химический состав минералов, морфология кристаллов, физические свойства, диагностические характеристики, условия образования и генетические типы месторождений.

### **Класс 8. Бораты**

Общая характеристика: электронное строение ионов бора, геометрическая конфигурация анионных группировок бора, особенности кристаллических структур, химического состава, физических свойств боратов, распространенность в природе и условия образования. Классификация минералов.

*Главные минералы:* людвигит, ссайбелиит, иньоит, бура, улесит, гидроборцит, колеманит. Химический состав, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, диагностические характеристики, условия образования и генетические типы месторождений. Бораты как полезные ископаемые.

### **Класс 9. Карбонаты**

Общая характеристика: валентные состояния углерода, физико-химические и геологические условия перехода углерод  $\leftrightarrow$  карбонат-ион, электронное строение и геометрическая конфигурация анионной группировки  $(CO_3)^{2-}$ , особенности кристаллических структур и химического состава, физические свойства, распространенность в природе и условия образования. Классификация минералов.

*Группа кальцита:* кальцит, магнезит, сидерит, родохрозит. Кристаллическая структура, химический состав и главные изоморфные ряды, морфология кристаллов и агрегатов, физические



свойства и их связь со структурой и составом, диагностические характеристики, условия образования и генетические типы месторождений. Кальцит как биогенный минерал.

*Группа доломита:* доломит, анкерит, кутногорит. Кристаллическая структура, химический состав, главные изоморфные ряды, морфология кристаллов, физические свойства, диагностические характеристики, условия образования и генетические типы месторождений.

*Группа арагонита:* арагонит, стронцианит, витерит, церуссит. Кристаллическая структура, химический состав, главные типы изоморфных замещений, морфология кристаллов, физические свойства, диагностические характеристики, условия образования и генетические типы месторождений. Полиморфный переход арагонит ↔ кальцит – физико-химические условия протекания и геологические обстановки реализации.

*Группа малахита:* малахит, азурит. Химический состав, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства, диагностические характеристики, условия образования. Малахит и азурит как полезные ископаемые.

*Карбонаты натрия:* натрон, термонатрит, натрит, нахколит. Химический состав, условия образования.

#### **ТИП IV. ГАЛОИДНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ**

Общая характеристика: химический состав, типы химических связей, типы кристаллических структур, физические свойства, распространенность в природе, условия образования и генетические типы месторождений. Галоидные соединения как полезные ископаемые. Классификация галоидных соединений.

##### **Класс 1. Фториды**

*Группа флюорита:* флюорит. Кристаллическая структура, химический состав и главные типы изоморфных замещения, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства и их связь с кристаллической структурой и составом, условия образования и генетические типы месторождений.

*Группа виллиомита:* виллиомит. Химический состав и условия образования.

*Группа криолита:* криолит. Химический состав и условия образования.

##### **Класс 2. Хлориды**

*Группа галита:* галит, сильвин. Кристаллическая структура, химический состав и главные типы изоморфных замещений, морфология кристаллов и агрегатов, физические свойства и их связь с кристаллической структурой и составом, условия образования и генетические типы месторождений. Эвапориты.

*Хлориты магния:* карналлит, бишофит. Химический состав и условия образования.

*Группа атакамита:* атакамит и паратакамит. Химический состав и условия образования.

## **ТИП V. ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ**

Общая характеристика: минералы как продукты биокосных взаимодействий, минералы в организме животных и человека, физиогенные и патогенные органно-минеральные агрегаты. Собственно органические минералы: оксалаты, ацетаты, углеводороды и др., химический состав и условия образования.

### **Раздел 3: Ассоциации минералов**

#### **в месторождениях различных генетических типов**

1. Минеральные ассоциации ультраосновных и основных магматических пород и связанных с ними руд алмазов, платины, хрома, титана, никеля и меди. Кимберлиты. Ликвационные руды.

2. Минеральные ассоциации щелочных магматических пород, связанные с ними пегматитов и руд фосфора, редкоземельных элементов, ниобия, циркония, железа. Карбонатиты.

3. Минеральные ассоциации гранитных пегматитов: а) К–В – керамических, слюдоносных, редкоземельных; б) Na–Li – редкометалльных; и) F–Be – камерных, хрусталеносных.

4. Минеральные ассоциации скарнов и связанных с ними руд железа, меди, свинца, цинка, олова, вольфрама, молибдена, флогопита, шпинели и лазурита: а) известковых скарнов, б) магнезиальных скарнов. Кальцифиры.

5. Минеральные ассоциации руд гидротермальных месторождений: а) высокотемпературных олова, вольфрама, молибдена, б) среднетемпературных меди, свинца, цинка, золота, серебра, никеля, кобальта, урана, в) низкотемпературных ртути, мышьяка, сурьмы, барита, флюорита. Грейзены. Колчеданные месторождения. Вторичные кварциты. Гидротермально-осадочные месторождения.

6. Минералы коры выветривания и зоны окисления: минералогический профиль латеритной коры выветривания, бокситы, минералы коры выветривания основных и ультраосновных пород, минералогия зоны окисления сульфидных месторождений, минералогия россыпных руд.

7. Минеральные ассоциации осадочных пород и связанных с ними пластовых руд: медистые песчаники, свинцово-цинковые руды, руды железа и марганца, фосфориты, бариты, эвапориты.

8. Минеральные ассоциации метаморфических пород и связанных с ними руд: зеленосланцевые породы и пропилиты, голубосланцевые породы, амфиболиты, глиноземистые сланцы и гнейсы, эклогиты, жилы альпийского типа, железистые кварциты.