

Проект

**Министерство образования Российской Федерации**

Одобрено

Утверждаю

**ПРИМЕРНАЯ ПРОГРАММА СПЕЦИАЛЬНЫХ ДИСЦИПЛИН**

**для научной специальности 25.00.09 Геохимия,  
геохимические методы поисков полезных ископаемых  
(«геолого-минералогические науки»)**

Москва 2000

## **ПРИМЕРНАЯ ПРОГРАММА СПЕЦИАЛЬНЫХ ДИСЦИПЛИН**

### **для научной специальности 25.00.09 Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых («геолого-минералогические науки»)**

#### **Пояснительная записка.**

Независимо от темы кандидатской диссертации и отрасли науки, по которой будет защищаться кандидатская диссертация, аспирант должен сдать основную часть кандидатского экзамена по следующей примерной программе-минимуму специальных дисциплин, соответствующих общим курсам геохимии и геохимических методов поисков полезных ископаемых. Предлагаемая программа обеспечивает восстановление и расширение вузовских знаний указанных общих курсов или возможность самостоятельного изучения аспирантом (соискателем) основ теории, методологии, принципов интерпретации и областей применения основных геохимических методов с целью поисков полезных ископаемых и решения эколого-геохимических задач.

Основываясь на настоящей примерной программе каждое учебное заведение или научная организация, где имеются аспирантура и Совет по защитах кандидатских диссертаций, утверждают программу дополнительной части кандидатского экзамена, отражающую специфику учебно-научных направлений деятельности организации.

#### **Методические указания**

В соответствии с ГОС ППО по отрасли 25.00.00 Науки о Земле могут предусматриваться различные формы подготовки аспиранта по специальным дисциплинам: лекции, семинары, самостоятельная работа по заданию научного руководителя, написание рефератов. Соотношение указанных форм подготовки определяется индивидуальным учебным планом аспиранта, утвержденным кафедрой (научной организацией)

#### **Содержание программы**

##### **ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ГЕОХИМИИ**

Определение геохимии. Атомы химических элементов в природе, основные проблемы геохимии: распространенность химических элементов и распределение химических элементов в природе. Возникновение геохимии. основополагающие работы Ф.У.КЛАРКА, В.И.ВЕРНАДСКОГО, В.М.ГОЛЬДШМИДТА, А.Е.ФЕРСМАНА. Основные тенденции развития геохимии в XX веке.

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

Значение и соотношение методов термодинамики (физической химии) и кристаллохимии (физики твердого тела) в геохимии. Роль физико-химического эксперимента. Роль математических методов обработки данных и моделирования.

Место геохимии в системе наук о Земле.

##### **ПРОБЛЕМА РАСПРОСТРАНЕННОСТИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРИРОДЕ**

Определение понятия распространенность элемента; способы выражения распространенности. Понятие о содержании элемента в объекте как случайной величине; вид функций рас-

предела содержания элементов в объектах, понятие о среднем содержании и дисперсии содержания в однородных объектах. "Случайное" (стохастическое) и пространственно упорядоченное (детерминированное) распределение элементов.

Основные формы состояния вещества во Вселенной - звезды, рассеянная материя, холодные тела, излучения, проблема "скрытой массы" галактик.

**Понятие "космической" распространенности элементов.** Распространенность элементов на Солнце. Методы оценки. Основные закономерности распространенности нуклидов в зависимости от атомного номера. Процессы нуклеосинтеза и основные типы ядерных реакций. Радиоактивные ядра. Понятие о возрасте химических элементов. Эволюция звезд и их химический состав.

**Распространенность элементов в метеоритах.** Минеральный (фазовый) состав метеоритов; классификация метеоритов; проблема среднего состава метеоритного вещества. Основные закономерности распространенности элементов в хондритах; сравнение метеоритной и солнечной кривых распространенности элементов - сходства и различия. Работы В.М.ГОЛЬДШМИДТА, А.П.ВИНОГРАДОВА.

Метеориты как геохимическая система и представление о твердой фракции первичного протопланетного вещества; закономерности его состава.

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

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

**Строение Земли и других планет земного типа, состав и происхождение ядра оболочек.** Геофизические данные о строении Земли. Земная кора, мантия, ядро. Способы оценки среднего состава оболочек и ядра Земли. Полиморфизм и состояние вещества в глубинных сферах Земли. Современные данные о химическом составе мантии Земли; проблема геохимической гетерогенности мантии.

Общие закономерности распределения элементов по оболочкам Земли, сопоставление с метеоритами. Принцип выплавления и дегазации. Классические представления В.М.ГОЛЬДШМИДТА и А.Е.ФЕРСМАНА о первичной дифференциации планетного вещества; гипотезы выплавления; гипотеза А.П.ВИНОГРАДОВА об аналогии процесса выплавления и дегазации механизму зонного плавления и ее физико-химического основания.

Представление о корах планет как геохимической системе. Принципиальное отличие состава коры Земли, Луны, Венеры, Марса от состава исходного (солнечно-метеоритного) вещества. Данные о строении Луны и составе пород ее коры; оценка состава пород Венеры и Марса; сопоставление с метеоритами.

Представление об атмосферах и гидросферах планет как геохимических системах. Два типа атмосфер планет. Геохимические признаки "холодного" происхождения планет. Работы А.П.ВИНОГРАДОВА.

Энергетика планет: роль радиогенного тепла, другие виды энергии (гравитационная и др.). Соотношение внешнего и внутренних источников энергии, проблема захоронения энергии Солнца в коре Земли.

**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. Современные представления о структуре земной коры; типы земной коры. Масса коры и отдельных ее структурных единиц; оценка масс различных генетических групп пород в земной коре. Работы А.ПОЛДЕРВААРТА, А.Б.РОНОВА, А.А.БЕУСА, С.Р.ТЕЙЛОРА. Современные оценки распространенности элементов в земной коре; основные закономерности распространенности элементов в земной коре.

Задача классификации. Периодический закон Д.И.МЕНДЕЛЕЕВА и классификация элементов. Классификация В.И.ВЕРНАДСКОГО; другие классификации.

Идея классификации В.М.ГОЛЬДШМИДТА. Распределение элементов по принципиальным фазам метеоритного (протопланетного) вещества; термодинамические основания этого распределения. Связь с положением в таблице Д.И.МЕНДЕЛЕЕВА. Распространенность элементов и принцип классификации.

## СОСТОЯНИЕ (ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ) ЭЛЕМЕНТОВ В ПРИРОДЕ

Минералы - продукты природных химических реакций. Ограниченность числа минеральных видов; обменные реакции, буферные равновесия, изоморфизм как факторы, ограничивающий число минеральных видов. Дифференциация элементов в геохимических процессах и число минеральных видов.

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

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

Основные типы изоморфизма: изовалентный, гетеровалентный и др. Эмпирические правила изоморфизма В.М.ГОЛЬДШМИДТА: правило "5 %", правило "захвата" и "допуска". Изоморфизм и ассоциации элементов в природе; изоморфные ряды В.И.ВЕРНАДСКОГО; диагональные ряды А.Е.ФЕРСМАНА. Изоморфизм как механизм рассеяния, концентрирования и разделения элементов.

Представления об ассоциациях химических элементов в природе.

## ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОХИМИЯ

### (ОСНОВЫ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ПОВЕДЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ)

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

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

Уравнение смещенного равновесия и вытекающие из него законы (закон действующих масс, уравнения КЛАПЕЙРОНА, ВАНТ-ГОФФА и др.). Способы термодинамического расчета фазовых равновесий.

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

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

Термодинамика водных растворов. Формы нахождения элементов в растворах, активности и концентрации компонентов. Уравнение ДЕБАЯ-ХЮККЕЛЯ. Растворение, перенос компонентов, комплексобразование и причины осаждения. Кислотно-основные и окислительно-восстановительные реакции, диаграммы Eh-pH.

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

Понятие о миграции элементов. Явления концентрации и рассеяния. Основные разделительные процессы в земной коре: при дифференциации расплавов, при взаимодействии фильтрующихся вод с породами, механическая дифференциация. Представление о геохимических барьерах.

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. Термодинамические параметры соединений элементов, предопределяющие их разделение, связь с коэффициентами распределения.

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

Стабильные изотопы; изотопные стандарты, вариации изотопного состава в природе, изотопные отношения как индикаторы геохимических процессов. Изотопные геотермометры. Изотопные отношения как индикаторы источников вещества.

Радиоактивные изотопы. Типы радиоактивности. Закон радиоактивного распада, основные уравнения изотопной геохронологии. Основные методы изотопной геохронологии, особенности интерпретации данных.

## ГЕОХИМИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

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

Физико-химические закономерности кристаллизации породобразующих силикатов и поведение элементов-примесей в этом процессе. Работы Н.Л.БОУЭНА и В.М.ГОЛЬДШМИДТА. Сопоставление закономерностей поведения элементов в процессе магматической эволюции с результатами физико-химического анализа; идея об основополагающей роли кристаллизационной дифференциации как механизма разделения элементов в магматическом процессе. Другие механизмы дифференциации магмы (ликвация, газовый перенос, гравитационная диффузия), их роль.

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

Состав вулканических газов; газы ювенильные и возрожденные; геохимические признаки происхождения вулканических газов. Физико-химические закономерности растворимости газов в силикатных расплавах; эволюция состава газовой фазы в зависимости от температуры и давления. Сопоставление с природными данными.

Типы магматических рудных месторождений. Процесс дифференциации магмы как процесс рудообразования; роль кристаллизационной дифференциации. Проблема связи магматизма с постмагматическим рудообразованием.

**Геохимия пегматитов.** Представление о пегматитах как остаточных геохимических системах. Особенности структуры и состава пегматитов в сопоставлении с составом материнских пород. Геохимия гранитных пегматитов; особенности строения, классификации, последовательность формирования. Работы А.Е.ФЕРСМАНА. Гипотезы о механизме формирования пегматитов; физико-химические особенности силикатных систем с летучими компонентами. Геохимия пегматитов щелочных и других типов пород. Типы руд, связанных с пегматитами.

**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.

**Геохимия гидротермально-метасоматических процессов.** Термодинамические условия гидротермально-метасоматических процессов. Данные о составе гидротермальных растворов, о температуре и давлении процессов. Современное гидротермальное рудообразование.

Три основные проблемы гидротермально-метасоматических процессов: источник вещества, способы переноса и способы отложения - и их решение на основе идеи о взаимодействии вод с магмами и горными породами. Источники вещества гидротермального процесса, геохимические критерии их выявления. Состояние элементов в гидротермальных растворах; физико-химические факторы, способствующие растворению и переносу рудных элементов. Факторы отложения и концентрирования рудных элементов из растворов; гидротермально-метасоматические и гидротермально-осадочные месторождения.

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

Ассоциации элементов в гидротермально-метасоматических образованиях.

Сульфидная линия процесса. Типы гидротермальных сульфидных месторождений и соответствующие им ассоциации рудных элементов.

Контактные процессы. Типы контактных образований; скарны, фениты и др.; соответствующие им ассоциации рудных элементов.

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

**Геохимия процессов выветривания и осадкообразования.** Геохимическая классификация осадочных образований В.М.Гольдшмидта. Химический состав и ассоциации элементов различных типов осадочных пород. Относительная распространенность различных типов осадочных пород.

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 параметры условий разделения и концентрирования элементов; диаграммы Eh-pH. Специфика физико-химических условий процессов выветривания и почвообразования, сноса, осадконакопления, диагенеза; связь с геолого-тектоническими и климатическими условиями; типы бассейнов осадконакопления. Со-

временные процессы осадкообразования: геохимия кор выветривания и почв континентов; особенности процессов формирования континентального стока, средний состав жидкого и твердого стока, другие механизмы поставки материала, их количественные оценки; динамика седиментации в бассейнах осадконакопления, геотектонические и фациальные закономерности отложения терригенного, биогенного и хемогенного материала. Зональность (циркумконтинентальная и климатическая) осадочных образований. Связь геохимического разнообразия осадков со скоростью седиментации. Осадкообразование как фактор самоочищения водоемов. Работы Н.М.СТРАХОВА, А.П.ЛИСИЦЫНА, А.Б.РОНОВА, Р.М.ГАРРЕЛСА.

Диagenез: источники энергии, главные химические и биогеохимические реакции, преобразование минерального состава осадков, роль поровых растворов. Геохимические различия диagenеза морских и пресноводных осадков.

Типы осадочных рудных месторождений и месторождений кор выветривания. Осадочная дифференциация как рудообразующий процесс.

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

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

**Геохимия метаморфического процесса.** Химические типы метаморфических пород, соответствующие им ассоциации элементов. Зависимость минерального и геохимического состава метаморфических пород от условий метаморфизма, метаморфические фации. Ультраморфизм и гранитизация.

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

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

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

**Геохимия гидросферы.** Строение гидросферы, круговорот воды. Масса гидросферы. Основные компоненты химического состава природных вод. Растворимость природных соединений как фактор, ограничивающий разнообразие составов природных вод. Работы М.Г.Валаяшко. Понятие о морской и континентальной ветвях вод.

Океан как динамическая система, Соотношение процессов поступления вещества в океан и осадкообразования. Понятие о среднем времени пребывания элементов в океанической воде. Проблема постоянства состава океана в пространстве и геологической истории, геохимические критерии. Микроэлементы в морской воде, роль биогеохимических процессов. Влияние воды океана на состав вод суши. Галогенез, его геохимические закономерности.

Формирование химического состава вод суши. Химический состав речных вод, климатическая зональность, формы переноса элементов в речных водах. Химический состав подземных вод, формирующие его процессы. Главные генетические типы подземных вод. Геохимические индикаторы и критерии генезиса вод.

Происхождение гидросферы. Геохимический баланс процесса осадкообразования и представление об “избыточно летучих”; источники летучих компонентов на поверхности Земли. Работы В.М.ГОЛЬДШМИДТА, В.РУБИ. Проблема “ювенильных вод” и геохимических критериев их выявления. Проблема эволюции состава гидросферы в геологической истории: факты, свидетельствующие о эволюции, движущие силы эволюции. Гипотезы о составе древнейшей гидросферы. Работы Х.ХОЛЛАНДА.

**Геохимия атмосферы.** Состав и строение атмосферы. Факторы, контролирующие химический состав атмосферы. Атмосфера как динамическая система и геохимические циклы газов атмосферы. Фотохимические процессы в атмосфере, происхождение озона. Антропогенные изменения состава атмосферы, их возможные масштабы, проблема “парникового эффекта”.

Происхождение и эволюция атмосферы. Источник газов на поверхности Земли; проблема потери газов Землей; геохимические признаки отсутствия на Земле древней плотной атмосферы. Вулканические газы и гипотезы о так называемой “первичной” атмосфере; факторы эволюции атмосферы.

Подземные газы; их состав и классификация. Геохимические признаки происхождения подземных газов. Работы В.В.БЕЛОУСОВА.

**Геохимия биосферы.** Определения В.И.ВЕРНАДСКОГО понятий “биосфера” и “живое вещество”. Живое вещество; его количество и химический состав, ассоциации элементов живого вещества (биофильные элементы). Энергия и активность живого вещества. Понятие о биогеохимических процессах; прямое и косвенное влияние организмов на геологические процессы. Геохимические функции живого вещества: энергетическая, кинетическая, газовые, концентрационные, окислительно-восстановительные и др. Организмы-концентраторы. Основной биогеохимический цикл: фотосинтез - дыхание; принципиальное значение его неполной замкнутости. Геохимический баланс кислорода и углерода в биосфере. Автотрофные и гетеротрофные организмы. Сульфатредукция и метанообразование.

Живое вещество как геологический фактор в истории земной коры. Возраст жизни и возраст фотосинтеза. Деятельность живого вещества и эволюция поверхностных оболочек Земли. Работы В.И.ВЕРНАДСКОГО.

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

Биогеохимические провинции. Связь условий жизнедеятельности организмов с химическим составом среды; понятие эндемии. Факторы формирования биогеохимических провинций. Значение биогеохимических провинций в хозяйственной деятельности человека. Токсичность и толерантность, синергизм и антагонизм элементов в живых организмах. Биологическая доступность элементов и некоторые способы ее изменения. Работы А.П.ВИНОГРАДОВА, В.В.КОВАЛЬСКОГО.

Понятие о ноосфере.

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

## ГЕОХИМИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Для каждого химического элемента последовательно рассматриваются следующие вопросы: состояние в природе, типы соединений; кристаллохимические особенности, изоморфные отношения; минералогия; растворимость соединений и формы переноса в водных растворах; распространенность в природе; распределение в магматических породах, связь с другими элементами, поведение в магматических процессах, поведение в процессах формирования магматических руд; поведение в гидротермально-метасоматических процессах, типы concentra-



ций и ассоциации с другими элементами; поведение в процессах выветривания и осадкообразования, пути и механизмы концентрации в ходе формирования кор выветривания и осадкообразования; роль в биогеохимических процессах; масштабы техногенной миграции, экологически значимые соединения.; изотопы элемента и их геохимическое значение.

## ПРИКЛАДНАЯ ГЕОХИМИЯ

Учение о геохимических поисках месторождений полезных ископаемых как самостоятельный раздел геологических наук. Роль и место геохимических методов на этапах и стадиях геологоразведочного процесса. Работы Н.И.САФРОНОВА, А.П.СОЛОВОВА, В.А. СОКОЛОВА, А.И.ПЕРЕЛЬМАНА.

**Общие принципы геохимических методов поисков.** Понятия о геохимическом поле, местном геохимическом фоне, “явных” и слабых геохимических аномалиях; месторождение полезного ископаемого как частный случай геохимической аномалии. Первичный ореол месторождения. Гипергенное поле рассеяния; вторичные ореолы и потоки рассеяния полезных ископаемых в геосферах.

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

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

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

Учение Б.Б.ПОЛЫНОВА то геохимических ландшафтах. Элементарные ландшафты. Классификация ландшафтов на основе биоклиматической зональности. Коэффициенты водной миграции и талассофильности элементов, элементы с контрастной миграционной характеристикой. Типы геохимических барьеров и их роль в образовании геохимических аномалий.

**Литохимические методы поисков.** *Потоки рассеяния рудных месторождений.* Ежегодный слой денудации; идеальный поток рассеяния в русле 1-го порядка. Продуктивность потока рассеяния; зависимость содержаний и продуктивности потока рассеяния от положения рудного объекта в бассейне водосбора; коэффициент пропорциональности. Динамика формирования потока рассеяния, влияние на состав аллювия материала ближайших склонов. “Кажущаяся” продуктивность потока рассеяния и оценка его истинной продуктивности. Оценка прогнозных ресурсов металлов категории  $P_3$  как критерий перехода к следующей стадии работ.

*Вторичные ореолы рассеяния.* Стадии выветривания горных пород и профиль рыхлых образований; генетическая классификация рыхлых образований. Классификация вторичных ореолов рассеяния по фазе, генезису и признаку доступности для обнаружения. Механический ореол рассеяния; три типа подвижности частиц в зоне выветривания; вывод функции рассеяния для тонкого рудного тела, параметры остаточного ореола  $M$  и  $\sigma$  и их геохимический смысл. Взаимоотношения между идеальными и реальными ореолами, коэффициент остаточной продуктивности и его зависимость от местных ландшафтно-геохимических условий; методы подсчета площадной продуктивности. Оценка прогнозных ресурсов рудных объектов по категориям  $P_2$  и  $P_1$ . Солевой ореол рассеяния сульфидного месторождения. Наложенные геохимические ореолы рассеяния; испарительная, сорбционная и биогенная аккумуляция рудных элементов у поверхности. Методы усиления слабых геохимических аномалий.

*Первичные ореолы рудных месторождений.* Поиски слепых рудных тел по первичным ореолам на флангах и глубоких горизонтах разведываемых и эксплуатируемых месторождений.

Ряды зонального отложения элементов типоморфного комплекса и методы их выявления. Исследование геохимической зональности рудных месторождений на ЭВМ. Генетически однотипные месторождения различной крупности как геометрические и геохимические фигуры подобия. Коэффициент подобия, методы его оценки. Соотношения между полными запасами, учет уровня эрозионного среза и доли забалансовых руд. Оценка слепых рудных тел по их надрудным первичным ореолам.

Методы анализа, применяемые при литохимических поисках.

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

**Атмохимические (газовые) методы поисков.** Образование газовых ореолов рассеяния путем эффузии и диффузии газов через горные породы. Влияние природных факторов на концентрацию газов в перекрывающих отложениях и в приземной атмосфере. Газы нефтяных и угольных месторождений, газы рудных месторождений. Типы и виды газовых съемок: гелиевая, газо-ртутные съемки. Методика и техника отбора газов при разных видах съемки. Аэрогазовые съемки.

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

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОХИМИЯ

Учение В.И.ВЕРНАДСКОГО о биосфере. Понятие “техногенез”. Технофильность химических элементов.

**Условия формирования, параметры и характеристики техногенных геохимических аномалий.** *Техногенные геохимические аномалии в горнорудных районах.* Рудные месторождения как источники загрязнения окружающей среды. Основные источники техногенных геохимических аномалий при проведении геологоразведочных работ, формы нахождения химических элементов и техногенная геохимическая миграция. Параметры и характеристики техногенных геохимических аномалий в горнорудных районах. Количественные показатели и характеристики для оценки геохимического загрязнения. Природоохранные мероприятия.

Воздействие на окружающую среду при промышленной отработке месторождений. Типовой состав горно-обогатительного комплекса и геохимические цепи воздействия горнорудной промышленности на окружающую среду; выбросы в атмосферу, накопление в хвостах, потери при транспортировке, промышленные стоки. Параметры и характеристики техногенных геохимических аномалий в районах горнорудного производства и критерии оценки состояния окружающей среды.

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

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

**Радионуклиды в биосфере.** Физические основы радиоактивности, методы измерения. Гигиенические аспекты воздействия радиоактивности на организм человека; понятия дозы, ПДК, природного фона.

Естественные радионуклиды. Первичные радионуклиды и природные ряды распада, их геохимические особенности в биосфере. Поведение естественных радионуклидов в различных природных экосистемах. Основные источники загрязнения биосферы естественными радионуклидами. Поведение естественных радионуклидов в антропогенно загрязненных экосистемах.

Искусственные радионуклиды, основные источники поступления в биосферу. Геохимические особенности наиболее экологически значимых искусственных радионуклидов, поведение в атмосфере, водных и наземных экосистемах. Воздействие радионуклидов на животные организмы. Экологический ущерб при загрязнении окружающей среды радионуклидами.

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

Геохимический мониторинг окружающей среды.

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

**Показатели, используемые при оценке загрязнения компонентов окружающей среды.** Токсичность и классы опасности химических элементов. Предельно допустимые концентрации химических элементов (ПДК); ориентировочно допустимые концентрации химических элементов и ориентировочно безопасные уровни воздействия загрязняющих веществ.

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

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

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

## УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- БРАУНЛОУ А.Х. *Геохимия*. М.: Недра, 1984, 460 стр.
- ВОЙТКЕВИЧ Г.В. *Проблемы космохимии*. Изд. Ростовского ун-та, 1987, 329 стр.
- ГАВРИЛЕНКО В.В., САХОНЕНОК В.В. *Основы геохимии редких литофильных металлов*. Л.: ЛГУ, 1986, 172 стр.
- ГАВРИЛЕНКО В.В., СОРОКИНА Н.А. *Геохимические циклы токсичных элементов*. Л.: ЛГУ, 1988, 84 стр.
- ГАРРЕЛС Р.М., КРАЙСТ Ч.Л. *Растворы, минералы, равновесия*. Науки о Земле. Фундаментальные труды зарубежных ученых по геологии, геофизике и геохимии, т.5. М.: Мир 1968, 367 стр.
- ЖАРИКОВ В.А. *Основы физико-химической петрологии*. Изд. Московского ун-та, 1976, 417 стр.
- МЕЙСОН Б. *Основы геохимии*. М.: Недра, 1971, 307 стр.
- МИЯКЕ Я. *Основы геохимии*. М.: Недра, 1969, 322 стр.
- ПЕРЕЛЬМАН А.И. *Геохимия*. 2-е изд. М.: Высшая школа, 1989, 420 стр.
- САЕТ Ю.Е., РЕВИЧ Б.А., ЯНИН Е.П. и др. *Геохимия окружающей среды*. М.: Недра, 1990, стр.
- САУКОВ А.А. *Геохимия*. 4-е изд. М.: Наука, 1975, 477 стр..
- СОЛОВОВ А.П. *Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых*. М.: Недра, 1985, 294 стр..
- ФАЙФ У. *Введение в геохимию твердого тела*. М.: Мир, 1967, 230 стр.
- ФОР Г. *Основы изотопной геологии*. М.: Мир, 1989, 589 стр.
- ХЕНДЕРСОН П. *Неорганическая геохимия*. М.: Мир, 1985, 338 стр.
- ШОУ Д.М. *Геохимия микроэлементов кристаллических пород*. Л.: Недра, Ленингр. отд., 1969, 204 стр.
- ЩЕРБИНА В.В. *Основы геохимии*. М.: Недра, 1972, 295 стр.

## СПРАВОЧНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ВОЙТКЕВИЧ Г.В., КОКИН А.В., МИРОШНИКОВ А.Е., ПРОХОРОВ В.Г. *Справочник по геохимии*. М.: Недра, 1990, 477 стр.
- ИВАНОВ В.В. *Экологическая геохимия элементов. Справочник*. В 6-ти книгах. М.: Недра, 1994-1997.
- Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых*. Ред. А.П.СОЛОВОВ. М.: Недра, 1990, 331 стр.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- БЕЛОУСОВ В.В. *Очерки геохимии природных газов*. Л.: Химтеоретиздат, 1937, 143 стр.
- БЕУС А.А. *Геохимия литосферы*. 2-е изд. М.: Недра, 1981, 334 стр.
- БОРИСОВ М.В., ШВАРОВ Ю.В. *Термодинамика геохимических процессов*. М., Изд-во Московского ун-та, 1992, 256 с.
- БОУЭН Н.Л. *Эволюция изверженных пород*. М.-Л.-Н.: Госгеолнефтиздат, 1934, 324 стр.
- БУДЬКО М.И., РОНОВ А.Б., ЯНШИН А.Л. *История атмосферы*. Л.: Гидрометеоздат, 1985, 207 стр.
- ВАЛЯШКО М.Г. *Единство природных вод и некоторые вопросы их геохимии*. // Вестник Московского университета, сер. геол., 1966, № 5, 34-52.
- ВЕРНАДСКИЙ В.И. *Очерки геохимии*. 8-е изд. В книге: *Библиотека трудов академика В.И.Вернадского. Труды по геохимии*. М.: Наука, 1994, стр. 159-468.
- ВЕРНАДСКИЙ В.И. *Биосфера*. 5-е изд. В книге: *Библиотека трудов академика В.И.Вернадского. Живое вещество и биосфера*. М.: Наука, 1994, стр. 315-401.
- ВЕРНАДСКИЙ В.И. *Проблемы биогеохимии. Тр. Биогеохимической лаборатории ГЕОХИ АН СССР, т.XVI*. М.: Наука, 1980, 320 стр.

- ВЕРНАДСКИЙ В.И. *Химическое строение биосферы Земли и ее окружения*. 2-е изд. М.: Наука, 1987, 334 стр.
- ВИНОГРАДОВ А.П. Закономерности распределения химических элементов в земной коре. В книге: А.П.Виноградов. *Избранные труды. Проблемы геохимии и космохимии*. М.: Наука, 1988, стр.20-90.
- ВИНОГРАДОВ А.П. Атомные распространенности химических элементов Солнца и каменных метеоритов. В книге: А.П.Виноградов. *Избранные труды. Проблемы геохимии и космохимии*. М.: Наука, 1988, стр.91-97.
- ВИНОГРАДОВ А.П. *Химическая эволюция Земли*. В книге: А.П.Виноградов. *Избранные труды. Проблемы геохимии и космохимии*. М.: Наука, 1988, стр.118-143.
- ВИНОГРАДОВ А.П. Атмосферы планет солнечной системы. В книге: А.П.Виноградов. *Избранные труды. Проблемы геохимии и космохимии*. М.: Наука, 1988, стр.172-181.
- ВИНОГРАДОВ А.П. *Введение в геохимию океана*. В книге: А.П.Виноградов. *Избранные труды. Геохимия океана*. М.: Наука, 1989, стр.36-216.
- ВИНОГРАДОВ А.П. *Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах*. 2-е изд. М.: Изд-во АН СССР, 1957, 235 стр.
- ВИНОГРАДОВ А.П. Биогеохимические провинции. В книге: А.П.Виноградов. *Избранные труды. Геохимия изотопов и проблемы биогеохимии*. М.: Наука, 1993, стр.145-166.
- ВИНОГРАДОВ А.П. Биогеохимические провинции и их роль в органической эволюции. В книге: А.П.Виноградов. *Избранные труды. Геохимия изотопов и проблемы биогеохимии*. М.: Наука, 1993, стр.166-179.
- ГАРРЕЛС Р., МАККЕНЗИ Ф. *Эволюция осадочных пород*. М.: Мир, 1974, 271 стр.
- ГАРРЕЛС Р.М. *Круговорот углерода, кислорода и серы в течение геологического времени*. М.: Наука, 1975, 46 стр.
- Геохимия гидротермальных рудных месторождений*. Под ред. Х.Л.Барнса. М., Мир, 1982, 622 с.
- ГОЛЬДШМИДТ В.М. Геохимические законы распределения и частота элементов в космосе. В книге: *Основные идеи геохимии, вып. I*. Ред. А.Е.Ферсман. Л.: Госхимтехиздат, Ленингр. отд., 1933, стр.250-276.
- ГОЛЬДШМИДТ В.М. Основы количественной геохимии. *Успехи химии*, 1934, т. III, вып. 3, стр.448-483.
- ГОЛЬДШМИДТ В.М. Геохимические принципы распределения редких элементов. В книге: *Редкие элементы в изверженных горных породах и минералах*. Ред. В.В.Щербина. М.: Изд-во иностранной литературы, 1952, стр.9-16.
- ГОЛЬДШМИДТ В.М. *Сборник статей по геохимии редких элементов*. М.-Л.: ГОНТИ, 1938, 244 стр.
- ДОБРОВОЛЬСКИЙ В.В. *Основы биогеохимии*. М., Высшая школа, 1998, 413 с.
- КАБАТА-ПЕНДИАС А., ПЕНДИАС Х. *Микроэлементы в почвах и растениях*. М., Мир, 1989. 376 с.
- КОВАЛЬСКИЙ В.В. *Геохимическая экология*. М., Наука, 1974, 299 с.
- КОРЖИНСКИЙ Д.С. *Теория метасоматической зональности*. М.: Наука, 1969. 110 стр.
- КРАЙНОВ С.Р., ШВЕЦ В.М. *Гидрогеохимия*. М., Недра, 1992, 463 с.
- ЛИСИЦЫН А.П. *Осадкообразование в океанах*. М.: Наука, 1974, 440 стр.
- ЛИСИЦЫН А.П. *Процессы океанской седиментации. Литология и геохимия*. М.: Наука, 1978, 390 стр.
- Метасоматизм и метасоматические породы*. Ред. В.А.Жариков, В.Л.Русинов. М.: Научный мир, 1998, 489 стр.
- МУР Дж.В., РАМАМУРТИ С. *Тяжелые металлы в природных водах*. М., Мир, 1987.
- НОДДАК И. и В. Частота химических элементов. В книге: *Основные идеи геохимии, вып. II*. Ред. А.Е.Ферсман. Л.: Химтеоретиздат, 1935, стр.5-22.
- ПОЛДЕРВААРТ А. Химия земной коры. В книге: *Земная кора*. М.: Изд-во иностранной литературы, 1957, стр.130-157.
- Пути миграции искусственных радионуклидов в окружающей среде. Радиоэкология после Чернобыля*. Под ред. Ф.Уорнера и Р.Харрисона. М., Мир, 1999, 512 с.

- РОНОВ А.Б. *Стратисфера или осадочная оболочка Земли (количественное исследование)*. М.: Наука, 1993, 143 стр.
- РОНОВ А.Б., ЯРОШЕВСКИЙ А.А., МИГДИСОВ А.А. *Химическое строение земной коры и геохимический баланс главных элементов*. М.: Наука, 1990, 180 стр.
- РУБИ В.В. Эволюция гидросферы и атмосферы в связи со специальным рассмотрением вероятного состава древней атмосферы. В книге: *Земная кора*. М.: Изд-во иностранной литературы, 1957, стр.650-671.
- РЯБЧИКОВ И.Д. *Термодинамический анализ поведения малых элементов при кристаллизации силикатных расплавов*. ИГЕМ АН СССР. М., Наука, 1965, 119 с.
- РЯБЧИКОВ И.Д. *Термодинамика флюидной фазы гранитоидных магм*. ИГЕМ АН СССР. М., Наука, 1975, 230 с.
- РЯБЧИКОВ И.Д. *Геохимическая эволюция мантии Земли*. ГЕОХИ АН СССР. М., Наука, 1988, 36 с.
- САФРОНОВ Н.И. *Основы геохимических методов поисков рудных месторождений*. Л.: Недра, 1971, 216 стр.
- СКУРЛАТОВ Ю.И., ДУКА Г.Г., МИЗИТИ А. *Введение в экологическую химию*. М., Высшая школа, 1994. 400 с.
- СОЛОВОВ А.П., МАТВЕЕВ А.А. *Геохимические методы поисков рудных месторождений*. Сборник задач. Изд. Московского ун-та, 1985, 232 стр..
- СТРАХОВ Н.М. *Типы литогенеза и их эволюция в истории Земли*. М.: Госгеолтехиздат, 1963, 530 стр.
- СТРАХОВ Н.М. *Проблемы геохимии современного океанского литогенеза*. М.: Наука, 1976, 293 стр.
- ТАРАН Ю.А. *Геохимия гидротермальных газов*. М., Наука, 1988, 184 с.
- ТЕЙЛОР С.Р., МАК-ЛЕННАН С.М. *Континентальная кора. Ее состав и эволюция*. М.: Мир, 1988, 376 стр.
- ТИТАЕВА Н.А. *Ядерная геохимия*. М., Изд-во Московского ун-та, 1992, 272 с.
- УРУСОВ В.С., ТАУСОН В.Л., АКИМОВ В.В. *Геохимия твердого тела*. М., Геос, 1997, 500с.
- ФАЙФ У., ПРАЙС Н., ТОМПСОН А. *Флюиды в земной коре*. М., Мир, 1981, 436 с.
- ФЕРСМАН А.Е. *Геохимия. Т.I-IV*. В книге: А.Е.Ферсман. *Избранные труды, т.III*. М.: Изд-во АН СССР, 1956, стр.9-791; *т.IV*. М.: Изд-во АН СССР, 1957, стр.3-581; *т.V*. М.: Изд-во АН СССР, 1959, стр.3-414.
- ФЕРСМАН А.Е. *Пегматиты. Т.I. Гранитные пегматиты*. В книге: А.Е.Ферсман. *Избранные труды, т.VI*. М.: Изд-во АН СССР, 1960, стр.5-739.
- ХОЛЛАНД Х.. *Химическая эволюция океанов и атмосферы*. М.: Мир, 1989, 551 стр.
- ШВАРЦЕВ С.Л. *Гидрогеохимия зоны гипергенеза*. 2-е изд. М., Недра, 1998, 366 с.
- ЮДОВИЧ Я.Э., КЕТРИС М.П. *Элементы-примеси в черных сланцах*. Екатеринбург, УИФ "Наука", 1994, 302 с.

Программу составили:

- Жариков В.А. – академик, профессор Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова
- Ярошевский А.А. – профессор Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова
- Гричук Д.В. – профессор Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова