

Геохимия

Составитель: академик Л.Н. Козарко

I. Предмет и разделы геохимии

История геохимии. Геохимические знания, полученные химиками и минералогами прошлых веков. Открытие химических элементов.

В.И.Вернадский и В.М.Гольдшмидт - основатели современной геохимии.

Определение геохимии как естественной истории химических элементов на Земле и в космосе.

Разделы геохимии по методам и объектам. Аналитическая геохимия, изотопная геохимия, физическая геохимия (теоретическая и экспериментальная). Геохимия магматизма, метаморфизма, гидротермального процесса, осадкообразования, гидрогеохимия, геохимия атмосферы, биогеохимия, космохимия, геохимические методы поисков месторождений, геохимия окружающей среды.

II. Основы аналитической геохимии

Определение содержаний элементов и форм их нахождения в геологических объектах - главная задача аналитической геохимии. Требования к объему и чистоте материала. Подготовка проб.

Аналитические методы, применяемые в геохимии. Методы элементного, изотопного, фазового анализа, определение форм нахождения.

Химический и физико-химический методы анализа (весовой и объемный методы, спектрофотометрия, потенциометрия и др.). Хроматография. Методы спектрального анализа: эмиссионная спектроскопия, атомно-абсорбционный анализ, рентгеноспектральный и рентгенорадиометрический методы. Методы локального микронзондового анализа. Нейтронно-активационный и другие ядерно-физические методы.

Рентгенофазовый анализ, инфракрасная спектроскопия, мессбауэровская спектроскопия, ЭПР, ЯМР. Возможности и ограничения методов.

Обработка аналитических данных. Компьютерные системы. Оценка представительности результатов. Оптимальный выбор методов исследования.

III. Происхождение и космическая распространенность элементов

Общие сведения о строении атомных ядер и их относительная устойчивость. Процессы нуклеосинтеза в звездах: водородное, гелиевое, углеродное и кислородное горение. E-процесс. s-процесс и r-процесс. Относительная распространенность элементов в солнечной атмосфере.

Типы метеоритов, их химический и минеральный состав. Хондриты и ахондриты. Углистые хондриты - вероятное недифференцированное вещество солнечной системы.

Сравнительная планетология. Строение и геологическая история тел солнечной системы. Состав и строение Земли. Хондритовая модель, примитивная мантия. Распределение элементов между оболочками. Геохимические классификации элементов.

III. Основы физической геохимии

Строение и свойства атомов. Зависимость свойств элементов от строения электронных орбит. Типы химической связи.

Агрегатные состояния вещества в природе. Газы, жидкости (вода и водные растворы, расплавы), надкритические флюиды. Плазма. Кристаллическое состояние.

Атомные и ионные радиусы. Изоморфизм, его главные типы. Эмпирические правила и ряды изоморфизма. Геохимическое значение изоморфизма.

Термодинамика природных систем, основные понятия (типы систем и термодинамических параметров). Законы термодинамики. Условия равновесия. Использование табулированных термодинамических величин: расчеты тепловых эффектов, приращений термодинамических потенциалов и констант реакций в зависимости от температуры и давления. Общие понятия термодинамики растворов: химические потенциалы, летучести, активности, идеальные и реальные растворы. Равновесия в водных растворах, уравнение Дебая-Хюккеля.

Общее понятие о термодинамике необратимых процессов. Скорости природных геохимических реакций.

Равновесия в многофазных системах. Правило фаз. Открытые системы с вполне подвижными компонентами. Минералогические правила фаз Гольдшмидта и Коржинского.

Основные типы диаграмм состояния: диаграммы состав-парагенезис, Т-Х диаграммы (плавкости и растворимости) двойных и тройных систем, диаграммы зависимости фазовых равновесий от интенсивных параметров (диаграммы температура - давление, диаграммы химических потенциалов, активностей и летучестей, Eh-pH). Распределение компонентов в гетерогенных системах. Компьютерные методы моделирования равновесия в многокомпонентных системах.

Экспериментальная геохимия. Основные типы аппаратуры. Изучение минеральных равновесий и кинетики природных процессов.

Компьютерное физико-химическое моделирование геохимических процессов.

V. Изотопная геохимия

Причины смещения изотопных отношений: разделение изотопов легких элементов в ходе физических и химических процессов; термодинамические и кинетические изотопные эффекты; процессы радиоактивного распада.

Физические основы изотопного анализа. Устройство масс-спектрометров. Газофазовый и твердофазовый изотопные анализы.

Изотопная геохронология. Основное уравнение радиоактивного распада. Используемые изотопные системы. Периоды полураспада. Радиоуглеродный метод.

Калий-аргоновый метод. Используемые минералы. Понятие геологического возраста. Учет потерь аргона (аргон-аргоновый метод).

Рубидий-стронциевый и самарий-неодимовый методы. Уравнение изохроны. Оценка начального изотопного состава. Используемые минералы. Причины искажения рассчитанных возрастов: миграция элементов изотопных систем, отсутствие гомогенности в исходном состоянии.

U-Pb и Th-Pb изотопные системы. Используемые минералы (цирконометрия). Методы учета примеси нерадиогенного свинца. Кривая согласованных возрастов. Методы учета потерь свинца. Pb-Pb метод. Возраста рудных свинцов.

Интерпретация геохронологических данных. Оценка скоростей геологических процессов. Возраст Земли и метеоритов.

Радиогенные изотопы как петрогенетические индикаторы. Различия изотопных отношений в земной коре и мантии. Учет наличия различных коровых (верхняя и нижняя кора) и мантийных (обедненная и обогащенная мантия) резервуаров. Изотопы как индикаторы геодинамических обстановок и вариаций тектонической активности (изотопный состав стронция морских карбонатов).

Геохимия изотопов легких элементов (H, O, S, C, N). Стандарты, методы представления данных. Межфазовое распределение изотопов. Влияние температуры, давления, окислительно-восстановительных условий. Изотопная термометрия. Влияние наложенных процессов. Влияние атмосферных процессов на изотопный состав метеорных вод. Колебания отношений изотопов H и O в океанской воде с течением геологического времени.

Изотопные критерии источников вещества рудных месторождений.

VI. Геохимия магматических процессов

Разделение элементов в процессах генерации и кристаллизации магм и других процессов фазового перехода (магматическая дистилляция, образование несмешивающихся расплавов). Фазовые диаграммы главных петрогенетических систем. Коэффициенты распределения элементов примесей. Поведение различных изоморфных примесей в ходе процессов частичного плавления и кристаллизации магм (равновесные и фракционные процессы). Источники информации о коэффициентах распределения. Элементы-примеси как индикаторы условий магматических процессов и источника магм.

Различные источники магматических расплавов: мантия, океаническая кора, континентальная кора. Причины процессов магмаобразования: адиабатическая декомпрессия в восходящих из глубин потоках и прогрев корового или литосферного вещества поднимающимся снизу горячим материалом. Распределение температур и давлений и состав плавящегося вещества в глубинах Земли.

Мантийный магматизм. Базальты срединных океанических хребтов - ведущий тип земных магм. Условия зарождения и ход кристаллизации в близповерхностных условиях (накопление железа). Элементы-примеси и

изотопные отношения как индикаторы состава мантийного источника (долговременное обеднение элементами с низкими коэффициентами распределения).

Щелочные базальты и родственные породы. Магмы океанических островов и областей континентального рифтогенеза. Формирование при низких степенях частичного плавления. Обогащенность элементами с низкими коэффициентами распределения. Особенности изотопного состава. Характеристика мантийных источников. Роль летучих компонентов. Пути кристаллизационной дифференциации. Появление магм с высокими концентрациями редких элементов на поздних стадиях (нефелиновые сиениты, карбонатиты).

Магмы континентальной литосферы. Близость составов минимумов плавкости для пород осадочного и магматического источника как причина конвергенции петрохимических характеристик гранитоидов. Различия минерального, химического и изотопного составов для гранитоидов различного типа. Накопление редких и летучих компонентов в ходе кристаллизации кислых магм. Пегматиты и редкометалльные граниты.

Магматизм областей сочленения океанов и континентов. Смешанный источник магм. Вторичное плавление измененной океанической коры, участие магм мантийного и континентально-корового источника. Высокая окисленность магм и раннее выделение магнетита. Известково-щелочные магматические серии. Быстрый рост содержаний SiO_2 . Особенности изотопного состава.

Полезные ископаемые, связанные с магматизмом. Магматические руды Cr, Cu, Ni, платиноидов, Ti в ассоциации с основными и ультраосновными магматическими породами. Минерализация в черных курильщиках, связанных с подводным вулканизмом. Месторождения фосфора, Nb, Zr и других редких элементов в щелочных породах и связанных с ними карбонатитах. Транспортировка алмазов кимберлитовыми магмами. Редкие элементы в поздних продуктах эволюции кислых магм (пегматиты, редкометалльные граниты, грейзены и другие типы пневмо-гидротермальных месторождений).

VII. Геохимия метаморфических процессов

Типы и фации метаморфизма. Физико-химические условия. Миграция летучих и редких элементов при различных метаморфических процессах. Геохимические признаки исходного состава метаморфических пород. Минералогические и изотопные геотермометры и геобарометры при изучении метаморфических комплексов.

VIII. Геохимия гидротермального процесса

Информация о составе, источнике и физико-химических параметрах гидротермальных растворов. Агрегатное состояние растворов, критические явления. Области сосуществования жидкости и газа в многокомпонентных системах.

Растворение твердых веществ и газов в гидротермальных растворах. Гидролитическая диссоциация, произведения растворимости. Комплексообразование, главные лиганды. Окисление - восстановление в гидротермальных растворах. Формы присутствия различных рудных металлов и петрогенных элементов.

Реакции ионного обмена между водным раствором и минералами. Влияние температуры и давления. Метасоматоз. Теория метасоматической зональности. Связь метасоматитов с различными типами руд.

Факторы отложения рудного вещества. Влияние изменений кислотности и окислительно-восстановительных условий.

IX. Геохимия гидросферы и атмосферы

Гидросфера, ее строение, типы природных вод. Факторы, определяющие разнообразие природных вод.

Геохимия океана. Состав, формы нахождения элементов. Консервативные и неконсервативные компоненты. Взаимодействие с атмосферой и горными породами. Роль процессов с участием живых организмов. Профили температуры и состава. Потоки и время пребывания в океане натрия и других компонентов. Формирование солевой массы океана.

Геохимия вод континентов. Генетические типы поверхностных и подземных вод, их состав. Процессы, формирующие состав подземных вод. Геохимические признаки генезиса вод. Геохимические индикаторы галогенеза.

Происхождение гидросферы. Эволюция ее состава в геологической истории.

Состав и строение атмосферы. Постоянные и переменные компоненты. Происхождение и эволюция атмосферы. Геохимия инертных газов. Роль биологических процессов. Время пребывания различных компонентов.

X. Геохимия осадочной оболочки Земли

Геохимическая классификация осадочных образований. Химический состав и геохимические особенности различных типов осадочных пород. Относительная распространенность различных типов осадочных пород.

Типы литогенеза. Физико-химические факторы литогенеза (температура, давление, состав вод и атмосферы, окислительно-восстановительные условия, кислотность, роль живого вещества). Эволюция факторов и типов осадкообразования в истории Земли. Геохимический баланс летучих и других компонентов в осадочной оболочке. Диагенез осадков.

Галогенез, его типы, условия проявления, зависимость от физико-химических параметров.

Поведение элементов в ходе выветривания.

Геохимические типы осадочных месторождений и месторождений зон выветривания. Типы геохимических барьеров.

Энергетика экзогенных процессов.

XI. Биогеохимия. Органическая геохимия

Биосфера, ее химический состав, состав и масса живого вещества. Геохимическая роль живого вещества. Биогеохимические процессы как геологический фактор. Неравновесность биологических систем. Баланс кислорода.

Органическое вещество в геохимии. Группы органических соединений, их распространенность, условия и формы накопления. Процессы синтеза и разложения органического вещества. Геохимические особенности

углеобразования. Геохимия нефтей и газов. Геохимические аспекты происхождения нефти и газов, роль органических и неорганических процессов.

Концентрированно редких и рассеянных элементов в органическом веществе.

Биогеохимические провинции. Человек и окружающая биогеохимическая среда. Понятие о ноосфере. Эволюция биогеохимических факторов.

XII. Геохимические циклы

Геохимические циклы и факторы, их определяющие. Структура цикла, потоки, время пребывания. Большой и малый геохимические циклы. Достижение стационарного состояния. Эволюция геохимических процессов в течение геологического времени.

XIII. Прикладная геохимия

Геохимические методы поиска месторождений полезных ископаемых. Теоретические основы. Первичные и вторичные ореолы рассеяния. Геохимические основы главных методов (литохимических, гидрохимических, атмосферических, биогеохимических и др.). Прогнозные оценки.

Геохимические методы предсказания землетрясений и вулканической деятельности. Теоретические основы. Ведущие и второстепенные признаки, их причины и использование для прогноза.

Геохимические аспекты охраны окружающей среды. Источники загрязнения, геохимические особенности поведения элементов, прямые и косвенные признаки. Меры предупреждения.

XIV. Актуальные задачи и пути развития геохимии

Роль геохимии в решении глобальных геодинамических проблем и других актуальных задач современной геологии. Геохимические методы в решении практических задач. Геохимическое картирование. Совершенствование аналитических методов и дальнейшее накопление фактического материала. Базы геохимических данных. Развитие новых теоретических методов.

ЛИТЕРАТУРА

I. Основная

Тугаринов А.И. Общая геохимия. М., Атомиздат, 1973, 288 с.

Бранлоу А.Х. Геохимия. М., Недра, 1965, 463 с.

II. Дополнительная

Барабанов В.Ф. Геохимия. Л., Недра, 1985, 423 с.

Борисов М.В., Шваров Ю.В. Термодинамика геохимических процессов. М., Издательство Московского университета, 1992, 254 с.

Вернадский В.И. Очерки геохимии. М., Наука, 1983, 422 с.

Виноградов А.П. Химическая эволюция Земли. М., Изд. АН СССР, 1959.

Виноградов А.П. Введение в геохимию океана. М., Наука, 1967.

- Войткевич Г.В., Бессонов О.А. Химическая эволюция Земли. М., Недра, 1986, 215с.
- Гаррелс Р.М., КрайстЧ.Л. Растворы. Минералы. Равновесия. М., Мир, 1968.
- Геохимия гидротермальных рудных месторождений. Под ред. Х.Барнса. М., Мир, 1982.
- Григорян С.В. Первичные геохимические ореолы при поисках и разведке рудных месторождени. М., Недра, 1987, 408 с.
- Жариков В.А. Физико-химические основы петрологии. М., Изд. МГУ, 1976.
- Мейсон Б. Основы геохимии. М., Недра, 1970, 311с.
- Перельман А.И. Геохимия. М., Высшая школа, 1989, 528 с.
- Ронов А.Б., Ярошевский А.А., Мигдисов А.А. Химическое строение земной коры и геохимический баланс главных элементов. М., Наука, 1990, 182 с.
- Сауков А.А. Геохимия!. М., Наука, 1968, 475 с.
- Смит Ф. Физическая геохимия. М., Недра, 1968, 475 с.
- Соловов А.П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. М., Недра, 1985, 291 с.
- Соловов А.П., Матвеев А.А. Геохимические методы поисков рудных месторождений. М., Изд. МГУ, 1985, 227 с.
- Хендерсон П. Неорганическая геохимия. М., Мир, 1985.
- Хефс И. Геохимия стабильных изотопов. М., Мир, 1983, 198 с.
- Ферсман А.Е. Геохимия, тт. I - IV. М., Изд. АН СССР. 1955 - 1959.
- Файф У. Введение в геохимию твердого тела. М., Мир, 1967, 231.
- Шоу Д.М. Геохимия микроэлементов кристаллических пород. Л., Недра, 1969, 207 с.
- Шуколюков Ю.А. Часы на миллиард лет. М., Энергоиздат, 1984, 144 с.
- Щербина В.В. Основы геохимии, М., Недра, 1972, 296 с.
- Эгерли У., Брили Л. Аналитическая геохимия. 1975.