

1996

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ М.В.ЛОМОНОСОВА

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА ГЕОХИМИИ

ПРОГРАММА
КУРСА

"ГЕОХИМИЯ"

Для студентов IV курса специальности
0106 "Геохимия"

Составил
профессор **А.А.Ярошевский**

Москва

межзвездном газе и туманностях, космических лучах; распространённость элементов в метеоритах и планетах, кометах планет, в атмосферах и гидросферах; распространённость элементов в горных породах коры.

2

ЧАСТЬ I. ОБЩАЯ ГЕОХИМИЯ

1. Объект и методы геохимии

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

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

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

2. Проблема распространённости элементов в природе

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

Понятие "космической" распространённости элементов; распространённость элементов на Солнце, звездах, в

Распространённость элементов на Солнце. Методы оценки. Основные закономерности распространённости ядер 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.

Распространённость элементов в метеоритах. Минеральный (фазовый) состав метеоритов; классификация метеоритов; проблема среднего состава метеоритного вещества. Основные закономерности распространённости элементов в хондритах; сравнение метеоритной и солнечной кривой распространённости элементов – сходство и различия. Работы **В.М.Гольдшмидта**, **А.П.Виноградова**.

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

Вторичные ядерные реакции в метеоритах; космическая история метеоритов; понятие о возрасте метеоритного вещества и космическом ("экспозиционном") возрасте метеоритов.

Распространённость элементов в планетном веществе. Методы оценки. основополагающая гипотеза об аналогии химического состава твёрдого 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.

Представление о корах планет как геохимической системе. Принципиальное отличие состава коры Земли, Луны, Венеры, Марса от состава исходного (солнечно-метеоритного) вещества.

Представление об атмосферах и гидросферах планет как геохимических системах. Два типа атмосфер планет. Геохими-

3

ческие признаки "холодного" происхождения планет. Работы **А.П.Виноградова**.

3. Строение Земли и других планет земного типа и происхождение 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.

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 озонного плавления и ее физико-химические основания. Работы **А.П.Виноградова**.

Данные о строении Луны и составе пород ее коры; оценка состава пород Венеры и Марса; сопоставление с метеоритами. Всеобщность принципа выплавления и дегазации для планет земной группы. Закономерности фракционирования элементов в ходе дифференциации планетного вещества.

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

4. Геохимическая классификация элементов

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

Идея классификации **В.М.Гольдшмидта**. Распределение элементов по принципиальным фазам метеоритного (протопла-нетного) вещества; термодинамические основания этого распределения. Связь с положением в таблице **Д.И.Менделеева**

4

и на кривой атомных объемов –**Л.Мейера**. Распространенность элементов и принцип классификации.

5. Состояние (формы нахождения) элементов в природе

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

Рассеяние элементов в природе. Термодинамические основания рассеяния; закон **В.И.Вернадского**. Формы рассеянная 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, гетеро-валентный и др. Эмпирические правила изоморфизма: правило "15%", правило "захвата" и "допуска" **В.М.Гольдшмидта**. Изоморфизм и ассоциации элементов в природе; изоморфные ряды **В.И.Вернадского**; диагональные ряды **А.Е.Ферсмана**. Изоморфизм как механизм рассеяния, концентрирования и разделения элементов.

Представления об ассоциациях химических элементов в природе.

5

6. Проблема распределения элементов.

Физико-химические и кристаллохимические основания разделения элементов в природных процессах.

Понятие о миграции элементов. Явления концентрации и рассеяния. Основные разделительные процессы в земной коре: при дифференциации расплавов, при взаимодействии фильтрующихся вод с породами. Термодинамические законы разделения элементов и изотопов в гомогенных системах: гравитационное равновесие, термодиффузия; термодинамические законы разделения элементов и изотопов в гетерогенных системах (распределение по фазам): равновесия кристаллизации, ликвации, равновесие газ-расплав, равновесие твердая фаза-водный раствор. Свойства соединений элементов, предопределяющие их

разделение: парциальные молярные энтальпии, энтропии, объемы, теплоемкости в твердых и жидких фазах, изменение этих величин при фазовых переходах; коэффициенты распределения.

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

Элементарные свойства атомов и ионов, 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, окислах, гидроокислах, галогенидах, сульфидах, металлах). Фундаментальное значение отношения заряда иона к его размеру; понятие ионного потенциала; диаграмма ионных потенциалов.

Понятие энергии кристаллической решетки и энергии атомизации кристаллов; теоретические уравнения; эксперимен-

6

тальные методы определения. Геохимическое значение энергии кристаллической решетки. Энергетические коэффициенты (ЭК'и) **А.Е.Ферсмана**, принципиальная ограниченность системы ЭК'ов; учение о парагене. Связь кристаллохимического и термодинамического подходов в геохимии.

7. Геохимия земной коры

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.Гольд-шмидта, 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**. Современные оценки распространенности элементов в земной коре.

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 типов магматических пород. Физико-химические закономерности кристаллизации породообразующих 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. Физико-химическая оценка других гипотез дифференциации магмы (ликвация, газовый перенос, гравитационная диффузия).

Представление о "первичных" магмах; условия формирования магм в земной коре и верхней мантии, состав "первич-

ных" магм. Геохимия кристаллизационной дифференциации; элементы протокристаллизации, главного этапа кри-

сталлизации, остаточных расплавов. Геохимия ультраосновных пород, базальтов, щелочных пород, карбонатов; геохимические признаки их глубинного (мантийного) происхождения. Граниты; их химический и изотопный состав; проблема формирования гранитного вещества в земной коре; представления о явлениях гранитизации.

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

Геохимия пегматитов. Представление о пегматитах как остаточных геохимических системах. Особенности структуры и состава пегматитов в сопоставлении с составом материнских пород. Геохимия гранитных пегматитов; особенности их строения, классификация, 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.

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

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

Геохимия гидротермально-метасоматических процессов. Ассоциация элементов в гидротермально-метасомати-

ческих образованиях; корреляция ассоциаций элементов с геологическими условиями формирования месторождений.

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

Термодинамические условия гидротермально-метасоматических процессов. Данные о составе гидротермальных растворов, о температуре и давлении процессов. Особенности современного гидротермального рудообразования.

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

ров; фундаментальная роль взаимодействия растворов с породами как фактора рудоотложения.

Основы физико-химической динамики гидротермально-метасоматических процессов.

Зональность и стадийность гидротермально-метасоматических образований как отражение гидротермально-метасома-

тической дифференциации элементов. Факторы и механизмы гидротермально-метасоматической дифференциации; роль изменения температуры, давления; значение процессов фильтрации и взаимодействия растворов с породами, смешение растворов. Работы **Д.С.Коржинского**. Единство зонального ряда отложения металлов. Многообразие условий формирования гидротермальных растворов как фактор многообразия типов гидротермально-метасоматических месторождений.

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

Физико-химические факторы осадочной дифференциации. Роль температуры, давления, состава атмосферы и вод; значение активности живых организмов и органического вещества осадков. Кислотность и окислительно-восстановительный потенциал растворов как факторы разделения и концентрирования элементов; диаграммы Eh-pH. Специфика физико-химических условий процессов выветривания, сноса, осадконакопления, диагенеза; связь с геолого-тектоническими и климатическими условиями. Особенности современных процессов осадкообразования. Работы **Н.М.Страхова** и **А.П.Лисицына**.

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

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.

10

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

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

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

Типы рудных месторождений, связанных с метаморфическими породами; оценка роли процессов метаморфи-

ческой дифференциации в формировании собственно метаморфогенных месторождений.

8. Геохимия гидросферы

Масса и химический состав вод гидросферы; сопоставление состава морских и континентальных вод; устойчивость состава солевой массы океана; колебания солености морских вод. Малые компоненты гидросферы; жизнь и органическое вещество морских вод. Работы **А.П.Виноградова, М.Г.Валяшко.**

Физико-химические факторы, определяющие состав вод гидросферы; идея об определяющей роли взаимодействия вод с породами земной коры и атмосферой как фактора, контролирующего химический состав гидросферы.

Океан как динамическая система. Соотношение процессов поступления материала в океан и осадконакопления; круго-

1

ворот воды. Факторы, определяющие состав и формы поступления материала с континентов в океан. Понятие о среднем времени пребывания элементов в океанической воде; величины времени пребывания элементов (примеры).

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

Проблема эволюции состава гидросферы в ходе геологической истории. Факты, свидетельствующие об эволюции; факторы, вызывающие эволюцию, и факторы, стабилизирующие состав океана. Идея постоянства состава океа-

нических вод в течение существенной части геологической истории. Гипотезы о составе древнейшей гидросферы.

9. Геохимия атмосферы

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

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

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

10. Геохимия биосферы

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

12

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

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

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

11. Геохимические циклы

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

3

1

12. Геохимические методы поисков

Представление о геохимических методах поисков: их основания и задачи. Представление о первичных ореолах и вторичных ореолах рассеянная. Литохимические, гидрохимические, атмосферические и биогеохимические методы поисков. Их роль и условия применения.

ЛИТЕРАТУРА

Учебные пособия

1. САУКОВ А.А. *Геохимия*. 4-е изд. М.: Наука, 1975, 477 стр..
2. МЕЙСОН Б. *Основы геохимии*. М.: Недра, 1971, 307 стр.
3. ПЕРЕЛЬМАН А.И. *Геохимия*. М.: Высшая школа, 1979, 420 стр.
4. ШОУ Д.М. *Геохимия микроэлементов кристаллических пород*. Л.: Недра, Ленингр.отд., 1969, 204 стр.

Дополнительная литература

5. БЕЛОУСОВ В.В. *Очерки геохимии природных газов*. Л.: Химтеоретиздат, 1937, 143 стр.
6. БОУЭН Н.Л. *Эволюция изверженных пород*. М.-Л.-Н.: Госгеолнефтиздат, 1934, 324 стр.
7. ВАЛЯШКО М.Г. *Основы геохимии природных вод*. Международное гидрологическое десятилетие, Международные высшие гидрологические курсы ЮНЕСКО при МГУ, 3-я сессия. Цикл: Геохимия подземных вод. М., 1971, стр.3-26.
8. ВЕРНАДСКИЙ В.И. *Очерки геохимии*. 8-е изд. В книге: Библиотека трудов академика В.И.Вернадского. Труды по гео-химии. М.: Наука, 1994, стр. 159-468.
9. 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.
10. ВЕРНАДСКИЙ В.И. *Химическое строение биосферы Земли и ее окружения*. 2-е изд. М.: Наука, 1987, 334 стр.
11. 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.

1

5

12. 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.
13. Виноградов А.П. *Химическая эволюция Земли*. В книге: А.П.Виноградов. Избранные труды. Проблемы геохимии и космохимии. М.: Наука, 1988, стр.118–143.
14. Виноградов А.П. *К происхождению лунных пород*. В книге: А.П.Виноградов. Избранные труды. Проблемы геохимии и космохимии. М.: Наука, 1988, стр.249–259.
15. Виноградов А.П. *Атмосферы планет солнечной системы*. В книге: А.П.Виноградов. Избранные труды. Проблемы геохимии и космохимии. М.: Наука, 1988, стр.172–181.
16. Виноградов А.П. *Введение в геохимию океана*. В книге: А.П.Виноградов. Избранные труды. Геохимия океана. М.: Наука, 1989, стр.36–216.
17. Виноградов А.П. *Биогеохимические провинции*. В книге: А.П.Виноградов. Избранные труды. Геохимия изотопов и проблемы биогеохимии. М.: Наука, 1993, стр.145–166.
18. 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.
19. Войткевич Г.В. *Основы космохимии*. М.: Недра, 1988, 329 стр.
20. ГАРРЕЛС Р., МАККЕНЗИ Ф. *Эволюция осадочных пород*. М.: Мир, 1974, 271 стр.

21. ГАРРЕЛС Р.М. *Круговорот углерода, кислорода и серы в течение геологического времени*. М.: Наука, 1975, 46 стр.

22. Гольдшмидт В.М. *Геохимические законы распределения и частота элементов в космосе*. В книге: Основные идеи геохимии, вып. I. Под редакцией А.Е.Ферсмана. Л.: Госхимтехиздат, Ленингр.отд., 1933, стр.250–276.

23. Гольдшмидт В.М. *Основы количественной геохимии*. Успехи химии, 1934, т. III, вып. 3, стр.448–483.

16

24. Гольдшмидт В.М. *Геохимические принципы распределения редких элементов*. В книге: Редкие элементы в изверженных горных породах и минералах. Под редакцией В.В.Щербини. М.: Изд-во иностранной литературы, 1952, стр.9–16.

25. Коржинский Д.С. *Теория метасоматической зональности*. М.: Наука, 1969. 110 стр.

26. Лисицын А.П. *Осадкообразование в океанах*. М.: Наука, 1974, 440 стр.

27. Лисицын А.П. *Процессы океанской седиментации. Литология и геохимия*. М.: Наука, 1978, 390 стр.

28. Ноддак И.и В. *Частота химических элементов*. В книге: Основные идеи геохимии, вып. II. Под редакцией А.Е.Ферсмана. Л.: Химтеоретиздат, 1935, стр.5–22.

29. Полдверваарт А. *Химия земной коры*. В книге: Земная кора. М.: Изд-во иностранной литературы, 1957, стр.130–157.

30. Ронов А.Б., Ярошевский А.А., Мигдисов А.А. *Химическое строение земной коры и геохимический баланс главных элементов*. М.: Наука, 1990, 180 стр.

31. СТРАХОВ Н.М. *Типы литогенеза и их эволюция в истории Земли*. М.: Гос-геолтехиздат, 1963, 530 стр.

32. СТРАХОВ Н.М. *Проблемы геохимии современного океанско-го литогенеза*. М.: Наука, 1976, 293 стр.
33. ФЕРСМАН А.Е. *Геохимия. Т.I-III*. 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.
34. ФЕРСМАН А.Е. *Пегматиты. Т.I. Гранитные пегматиты*. В кни-ге: А.Е.Ферсман. Избранные труды, т.VI. М.: Изд-во АН СССР, 1960, стр.5–739.
35. CLARKE F.W. *The date of geochemistry*. U.S.Geol.Surv.Bull. No.770. Washington, 1924, 841 p.

Часть II. ГЕОХИМИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

1. Водород. Распространенность в космосе и на Земле. Соединения водорода в природе. Процессы, генерирующие свободный Н. Водород в породах, вулканических га-зах, гидросфере, атмосфере, живом веществе. Вода. Роль воды в геологических процессах. Изотопы водорода (ста-бильные и радиоактивный); их геохимическое значение.

2. Щелочные металлы - Li, Na, K, Rb, Cs. кристаллохи-мические особенности и типы соединений в природе. Изо-морфные отношения. Распространенность в природе. Рас-пределение в породах земной коры, в гидросфере. Пове-дение в магматическом процессе.

Геохимия Li. Изоморфные отношения, летучесть и растворимость соединений – основные факторы геохимии Li. Собственные минералы Li. Поведение в геологических

процессах, пути рассеяния и концентрации; пегматиты, грейзены, воды. Роль Li в биосфере. Изотопы Li.

Геохимия Na и K. Сопоставление их свойств и поведе-ние в процессах. Геохимическая роль Na и K в магматиче-ском, метасоматическом, гидротермальном процессах; по-ведение в процессах выветривания и осадкообразования. Баланс Na. Роль Na и K в биосфере. Особенности поведения в процессе метаморфизма. Изотопы K и геохимическое значение ^{40}K .

Геохимия Rb и Cs. Изоморфные отношения с калием, растворимость соединений, явления адсорбции – основные факторы геохимии Rb и Cs. Отношение K/Rb и его значе-ние в геохимии. Сходство и различия поведения Rb и Cs в геологических процессах. Пути концентрации; магматиче-ский процесс, пегматиты, метасоматический процесс, во-ды. Изотопы Rb и их значение в геохимии. Техногенный изотоп ^{135}Cs .

3. Бериллий. Распространенность в природе. Типы соединений и формы нахождения Be в земной коре; изо-морфные отношения. Ассоциация с F и роль летучих со-единений. Пути

18

рассеяния и концентрации Be; поведение в магматическом процессе; пегматиты, грейзены, скарны; поведение в про-цессах выветривания и осадкообразования. Космогенный ^{10}Be .

4. Щелочноземельные элементы - Mg, Ca, Sr, Ba, Ra. Кристаллохимические особенности и типы соединений в природе; изоморфные отношения. Распространенность в природе. Распределение в породах земной коры, гидро-сфере. Поведение в магматическом процессе.

Геохимия Mg. Минералогия, изоморфные связи. Физи-ко-химические свойства главных породообразующих ми-нералов Mg и Fe – основной фактор магматической геохи-мии; отношение Mg/Fe и его значение в геохимии магма-

тического процесса. Растворимость минералов Mg в водных растворах, равновесие силикаты (гидросиликаты) Mg-карбонаты Mg – основной фактор геохимии Mg в гидротермально-метасоматических и гипергенных процессах. Доломиты; их распределение в осадочной оболочке и условия образования. Роль Mg в биосфере. Изотопы Mg.

Геохимия Ca. Минералогия, изоморфные связи. Фазовые равновесия минералов Ca и факторы обогащения Ca базальтовой магмы в процессе выплавления; поведение Ca в ходе дифференциации магмы. Растворимость минералов Ca в водных растворах и карбонатные равновесия – основной фактор геохимии Ca в гидротермально-метасоматических, метаморфических и гипергенных процессах. Распространенность известняков в осадочной оболочке и проблема баланса Ca. Роль Ca в биосфере; биогеохимические провинции Ca. Изотопы Ca.

Геохимия Sr. Изоморфные отношения, распределение между минералами и подвижными фазами (расплавом, водными растворами) – основные факторы геохимии Sr. Собственные минералы Sr. Поведение Sr в геологических процессах; отношение Sr/Ca и его значение в геохимии. Пути концентрации и рассеяния. Sr в морской воде и осадочных карбонатах. Роль Sr в биосфере. Изотопы Sr, значение ^{87}Sr в геохимии; техногенный изотоп ^{90}Sr .

1

9

Геохимия Ba. Изоморфные отношения; роль собственных минералов Ba, барит. Поведение в процессах; пути рассеяния и концентрации; пегматиты, гидротермальный процесс, осадкообразование.

Геохимия Ra. Радиоактивность Ra, период полураспада; источник Ra в природе. Пути миграции и осаждение Ra. Радиоактивные (радоновые) воды и радиобарит.

5. Бор. Распространенность в природе. кристаллохимические особенности и типы соединений в природе; кристаллохимические связи с Al, Si. Минералогия. Летучесть и растворимость соединений – основные факторы геохимии бора. Распределение бора в магматических породах. Бор в вулканическом, гидротермально-метасоматических, контактовых процессах; концентрация и связь с другими элементами. Бор в процессах выветривания, в гидросфере, в осадочной оболочке. Баланс бора. Бор в процессе галогенеза. Роль бора в биосфере, биогеохимические провинции бора. Изотопы бора.

6. Алюминий. Распространенность в природе. Основные химические и кристаллохимические свойства Al, роль координационного числа. Минералогия; стабильность минералов Al в зависимости от давления. Изоморфные связи. Основные равновесия, контролирующие поведение Al в магматическом процессе. Распределение в магматических породах. Растворимость и гидролиз соединений Al при взаимодействии с водой – основной фактор геохимии Al в гидротермально-метасоматических процессах. Минералы Al в метаморфических процессах. Поведение Al при выветривании и осадкообразовании; условия разделения Al и Si; глины, бокситы; ассоциация с другими элементами. ^{26}Al и его космохимическое и геохимическое значение.

7. Скандий. Распространенность в природе. Минералы Sc, изоморфные отношения. Поведение Sc в геологических процессах; пути рассеяния и концентрация; Sc в гранитных пегматитах и грейзенах.

8. Иттрий и редкоземельные элементы. кристаллохимические особенности TR и Y; лантанидное сжатие. Минерало-

20

гия, изоморфные связи; церовая и иттровая группы. Спектры TR в минералах; комплексные и селективные минералы. Распространенность в природе. Распределение в магматических породах; кристаллохимические связи – основной фактор поведения и разделения TR в магматическом процессе; связь с переменной валентностью; отношение Ce/Y; концентрация TR и Y в магматическом процессе и их месторождения. Поведение TR и Y в гидротермально-метасоматических процессах, гипергенезе. Радиоактивный изотоп ^{147}Sm и Sm-Nd-метод определения абсолютного возраста. Радиоактивность ^{176}Lu и ее геохимическое значение.

9. Торий, уран и трансурановые элементы. Радиоактивность Th и U, радиоактивные ряды; понятие о радиоактивном равновесии. Изотопы U и Th. Трансурановые элементы и условия их образования в природе. Распространенность Th и U в природе. Общие закономерности распределения Th и U в Земле, земной коре; отношение Th/U; вклад радиогенного тепла в термическую историю Земли. Кристаллохимические свойства Th и U; изоморфные связи, формы нахождения в природе. Растворимость соединений и формы переноса Th и U в водных растворах. Геохимия Th и U в магматическом процессе; накопление в остаточном расплаве и причины этого явления. Минералы-концентраты Th и U в магматических породах. Пегматиты. Условия переноса и разделения Th и U в гидротермально-метасоматических процессах; гидролиз соединений Th – фактор, ограничивающий подвижность в водных растворах; стабильность комплексов U в водных растворах и поведение U в гидротермально-метасоматических процессах, гидротермальные месторождения U; концентрация и типы месторождений. U в гипергенезе; связь с органическим веществом и фосфатами. U в морской воде и нарушение радиоактивного равновесия; иониевый метод определения абсолютного возраста. Монацитовые россыпи. Данные о поведении U в метаморфическом процессе.

10. Углерод. Геохимически важные химические свойства. Формы нахождения и типы соединений в природе; условия их

2

1
образования и стабильность. Кристаллохимические особенности соединений углерода (карбонаты, графит, алмаз). Распространенность углерода в космическом веществе и на Земле. Основные закономерности распределения углерода в оболочках Земли (мантии, кристаллической части коры, осадочной оболочке, гидросфере, атмосфере, живом веществе); баланс углерода при выветривании кристаллических пород. Роль соединений углерода в вулканических и магматических газах, газах метаморфической оболочки.

Роль углерода в биосфере. Реакция фотосинтеза и разделение геохимии углерода на две линии: карбонатную и органическую. Понятие первичной продукции органического вещества и цикл углерода в биосфере. Геохимия углей, нефтей и других битумов. Роль органического углерода в геологических процессах. Изотопы углерода (стабильные и радиоактивный). Основные механизмы фракционирования стабильных изотопов углерода; их распределение в земной коре. Геохимическая роль ^{14}C .

11. Кремний. Кристаллохимия Si и структуры силикатов; изоморфные связи Si. Свойства Si и кремнезема в водных растворах; растворимость минералов, формы нахождения; роль метастабильных равновесий. Минералогия Si. Закономерности кристаллизации силикатов и алюмосиликатов как главный фактор магматической истории Si; интерпретация накопления Si и десиликации в различных дифференцированных сериях. Закономерности растворимости силикатов и алюмосиликатов и геохимия кремнезема в водных растворах; роль кварца в гидротермально-метасоматических процессах и холцедона (опала) в гипергене-

зе. Роль соединений Si в биосфере и геохимия кремнезема в морской воде. Изотопы Si.

12. **Титан, цирконий, гафний.** Кристаллохимические особенности и типы соединений в природе; изоморфные отношения. Гидролиз и состояние Ti, Zr и Hf в водных растворах. Малая подвижность в водных растворах – основная черта геохимии Ti, Zr и Hf в постмагматических и гипергенных процессах.

22

Геохимия Ti. Распространенность в природе. Минералогия. Изоморфные связи в породообразующих силикатах и кристаллизация собственных минералов – основные факторы геохимии Ti в магматическом процессе. Распределение Ti в магматических породах и роль окислительного потенциала в его геохимии; условия накопления Ti в магматическом процессе. Распределение в осадочных породах; Ti в бокситах; россыпи рутила и других минералов Ti.

Геохимия Zr и Hf. Распространенность в природе. Минералы Zr (и Hf) и их стабильность как основной фактор геохимии этих элементов; циркон, его радиоактивность, значение в геохронологии. Распределение Zr и Hf в магматических породах, отношение Zr/Hf; условия концентрации. Zr в щелочных метасоматитах. Распределение Zr и Hf в осадочных породах, в бокситах, россыпи циркона и других минералов.

13. **Ванадий.** Состояния V в природе и основные химические и кристаллохимические свойства; типы соединений, изоморфные отношения. Распространенность V. Распределение в магматических породах. Изоморфные связи – главный фактор распределения в породообразующих минералах, контролирующий поведение V в магматическом процессе; условия концентрации. Растворимые формы V в водных растворах, условия их стабильности. Ванадаты и их

роль в гипергенной истории V. Связь V с органическим веществом, накопление в нефтях, битумах. V в организмах.

14. **Ниобий и тантал.** Кристаллохимические особенности и типы соединений в природе; изоморфные отношения. Минералогия. Распространенность Nb и Ta. Распределение в магматических породах; отношение Nb/Ta; изоморфные связи в породообразующих минералах – главный фактор поведения Nb и Ta в магматических процессах; условия накопления; месторождения Nb и Ta; пегматиты, карбонатиты. Поведение Nb и Ta в высокотемпературных гидротермально–метасоматических процессах; в гипергенезе; Nb и Ta и бокситы.

15. **Хром.** Состояние Cr в природе, типы соединений, кристаллохимические особенности и изоморфные связи. Мине–

2

3

ралогия, роль хромита. Распространенность Cr в природе. Распределение в магматических породах; закономерности кристаллизации силикатных систем с хромитом и условия концентрации Cr; месторождения. Вторичные минералы и перераспределение Cr в гидротермально–метасоматических процессах. Поведение Cr при выветривании и осадкообразовании.

16. **Молибден и вольфрам.** Состояние и типы соединений в природе; условия равновесия окислов (и их соединений) и сульфидов. Кристаллохимические особенности; минералогия, изоморфные связи. Летучие соединения, растворимость минералов и формы переноса в водных растворах. Распространенность Mo и W в природе. Распределение в магматических породах, формы нахождения. Поведение в гидротермально–мета–соматических процессах; концентрация и типы месторождений; ассоциации с другими элементами. Поведение Mo и W в процессах вы–

ветривания и осадкообразования; связь с органическим веществом. Роль Mo в биосфере, биогеохимические провинции Mo.

17. **Марганец.** Состояние в природе; кристаллохимические особенности и типы соединений; изоморфные отношения. Растворимость соединений Mn в водных растворах, роль окислительно-восстановительных реакций. Минералогия. Распространенность Mn в природе. Распределение в магматических породах; отношение Fe/Mn. Поведение Mn в гидротермально-метасоматических процессах. Основные факторы поведения Mn в процессах выветривания и осадконакопления, условия отделения от Fe. Марганцевые конкреции в современных осадках; их геохимические особенности. Роль Mn в биосфере; роль организмов в поведении Mn в гипергенных процессах.

18. **Рений.** Положение в Таблице Д.И.Менделеева и основные химические свойства. Кристаллохимические особенности и изоморфные связи. Связь Re с Mo и платиноидами; пути накопления в природе. Радиоактивный изотоп ^{187}Re и Re-Os- метод определения абсолютного возраста.

19. **Железо, кобальт, никель.** Общая характеристика элементов семейства Fe; состояние в природе, кристалло-

24

химические особенности, типы соединений, изоморфные отношения.

Геохимия Fe. Валентные формы, кристаллохимия, изоморфизм. Минералогия. Распространенность Fe на Солнце, в метеоритах. Различные типы соединений Fe в метеоритах, обменные равновесия и геохимическая систематика элементов; ликвидация в системе окислы (силикаты) Fe – сульфид Fe – металлическое Fe. Fe в составе планет земной группы; особенности распределения в ядрах и оболочках планет. Распространенность Fe в земной коре, распре-

деление в магматических породах. Кристаллизация минералов Fe и Mg и магнетита – основные факторы магматической истории Fe; роль окислительно-восстановительных равновесий. Магматические руды Fe, связь с другими элементами; магматические сульфиды. Формы переноса Fe в водных растворах; роль летучих соединений. Поведение Fe в гидротермально-метасоматических процессах; типы месторождений; связь с другими элементами. Поведение Fe в процессах выветривания и осадкообразования. Осадочные окисленные руды Fe, связь с другими элементами; красные глубоководные глины и железо-марганцевые конкреции океанов; роль соединений Fe в осадочных породах. Роль Fe в биосфере; участие организмов в образовании окисленных руд Fe. Изотопы Fe.

Геохимия Co и Ni. Валентные формы; кристаллохимические особенности, изоморфные связи; минералогия. Распространенность в природе. Распределение по фазам метеоритного вещества. Распределение в магматических породах; отношение Co/Ni. Закономерности изоморфизма и связь с магматическими сульфидами – основные факторы поведения Co и Ni в магматическом процессе. Поведение в гидротермально-метасоматических процессах; ассоциации с другими элементами. Поведение в процессах выветривания, в почвах, в осадках. Роль Co в биосфере; биогеохимические провинции Co. Ni в нефтях.

20. **Платиноиды - Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt.** Важнейшие химические свойства и состояние в природе. Минералогия.

5

2

Распространенность в магматических породах; связь с другими элементами и пути концентрации. Платиноиды в гидротермально-метасоматических процессах, процессах выветривания и осадкообразования; россыпи.

21. **Медь.** Состояние в природе, типы соединений. Минералогия. Кристаллохимические особенности, изоморфные отношения. Растворимость соединений Cu в водных растворах и формы водной миграции. Распространенность. Распределение в магматических породах; связь с S – основной фактор, контролирующий перераспределение и концентрацию Cu в магматическом процессе. Магматические месторождения Cu, связь с другими элементами. Поведение Cu в гидротермально–мета–соматических процессах, пути концентрации, ассоциации с другими элементами. Поведение Cu в процессах выветривания и осадкообразования; пути концентрации; связь с органическим веществом. Роль Cu в биосфере; биогеохимические провинции Cu. Изотопы Cu.

22. **Серебро и золото.** Состояние в природе, типы соединений; основные химические свойства. Минералогия; кристаллохимические особенности, изоморфные отношения. Формы переноса Ag и Au в водных растворах.

Геохимия Ag. Распространенность в природе. Распределение в магматических породах; пути концентрации, связь с другими элементами. Поведение Ag в гидротермально–метасоматических процессах; типы месторождений, связь с другими элементами. Поведение Ag в процессах выветривания и осадкообразования; россыпи; связь с органическим веществом.

Геохимия Au. Распространенность в природе. Распределение в магматических породах; пути концентрации, связь с другими элементами. Au в гидротермально–метасоматических процессах; типы месторождений, связь с другими элементами. Поведение Au в гипергенных процессах; россыпи; Au в природных водах, связь с органическим веществом.

23. **Цинк и кадмий.** Кристаллохимические особенности, типы соединений, изоморфные отношения. Минералогия; роль кислородных и сульфидных соединений. Распространенность в

природе; отношение Zn/Cd. Распределение в магматических породах. Закономерности изоморфного вхождения в минералы Mg и Fe и связь с сульфидами – главные факторы поведения в магматических процессах. Поведение Zn и Cd в гидротермально–метасоматических процессах; типы месторождений и ассоциации с другими элементами. Геохимические особенности сфалерита. Поведение Zn и Cd в гипергенезе; вторичные минералы. Роль Zn и Cd в биосфере.

24. **Ртуть.** Состояние в природе и типы соединений. Кристаллохимические особенности. Минералогия. Летучесть Hg и ее соединений; формы переноса в водных растворах. Распространенность Hg в природе. Распределение и формы нахождения в магматических породах. Hg в гидротермальном процессе; типы месторождений и ассоциации с другими элементами. Данные о поведении Hg в процессе метаморфизма. Hg в осадках, баланс Hg в почвах, антропогенное загрязнение. Роль Hg в биосфере; связь с органическим веществом,

25. **Галлий, индий, таллий.** Кристаллохимические свойства, изоморфные отношения, явления рассеяния. Состояния в природе, типы соединений; минералогия.

Геохимия Ga. Распространенность; связь с Al; отношение Ga/Al. Закономерности кристаллизации твердых растворов соединений Ga и Al. Распределение Ga в магматических породах; закономерности изменения отношения Ga/Al. Поведение Ga в гидротермально–метасоматических процессах, связь с S, Zn; пути разделения Ga и Al и концентрации Ga; типы месторождений. Поведение Ga в процессах выветривания и осадкообразования; бокситы.

Геохимия In. Распространенность; распределение в магматических породах. In в гидротермально–метасоматических процессах; связь с Sn и Zn; типы месторождений.

Поведение In в процессах выветривания и осадкообразования.

Геохимия Tl. Распространенность; связь с Rb и K; отношение Tl/Rb. Распределение Tl в магматических породах. Поведение Tl в гидротермально-метасоматических процессах и

7

2

связь с S, Pb; типы месторождений. Поведение Tl в процессах выветривания и осадкообразования.

26. Германий. Состояние в природе; кристаллохимические свойства, изоморфные связи. Структуры и стабильность германатов в сопоставлении с соответствующими силикатами. Явление рассеяния; минералогия. Распространенность в природе; отношение Ge/Si. Распределение Ge по фазам метеоритного вещества. Распределение Ge в магматических породах, закономерности изменения отношения Ge/Si. Поведение Ge в гидротермально-метасоматических процессах и связь с S; пути разделения Ge и Si и концентрация Ge; типы месторождений. Поведение Ge в процессах выветривания и осадкообразования; связь с Fe и органическим веществом; нахождение Ge в углях, битумах, осадочных рудах Fe.

27. Олово. Состояние в природе и типы соединений. Кристаллохимические особенности и изоморфные связи. Минералогия; касситерит и его роль в геохимии Sn; роль сульфидов Sn. Летучие соединения и формы переноса Sn в водных растворах. Распространенность в природе. Распределение в магматических породах; изоморфное рассеяние – основной фактор, контролирующий поведение Sn в магматическом процессе. Sn в постмагматических процессах; формы переноса; пути мобилизации и концентрации Sn; типы месторождений и связь с другими элементами; роль

F. Поведение Sn в процессах выветривания и осадкообразования; россыпи касситерита; связь с органическим веществом. Изотопы Sn.

28. Свинец. Состояние в природе, типы соединений; кристаллохимические особенности, изоморфные отношения. Минералогия. Растворимость соединений и формы переноса Pb в водных растворах. Распространенность в природе. Распределение в магматических породах; связь с K и S – основные факторы магматической истории Pb. Pb в гидротермально-мета-соматических процессах; типы концентраций и ассоциации с другими элементами. Галенит и его геохимические особенности. Поведение Pb в зонах окисления рудных месторождений, вторичные минералы; Pb в процессах выветривания и

28

осадкообразования. Пути концентрации Pb в ходе осадкообразования; роль органического вещества. Изотопы Pb и их геохимическое значение.

29. Азот. Основные химические свойства и типы соединений в природе; аммоний. Минералогия. Распространенность в космосе, в метеоритах, на Земле. Формы нахождения N в горных породах. Происхождение N в атмосфере. Роль в биосфере и биогенный цикл N. Образование соединений и пути фиксации N в биосфере; N в гидросфере, в осадочных породах, связь с органическим веществом. Селитры. Изотопы N; основные механизмы фракционирования.

30. Фосфор. Типы соединений в природе; кристаллохимические особенности, изоморфные связи. Минералогия; апатит, его геохимическое значение. Распространенность P в природе. Распределение в магматических породах. Растворимость апатита в магматических расплавах – основной фактор поведения P в магматических процессах; пути накопления и магматические месторождения P. Поведение

в гидротермально–мета–соматических процессах. Фосфор в процессах выветривания и осадкообразования. Р в биосфере и гидросфере. Фосфориты и их происхождение; участие живого вещества в этом процессе.

31. **Мышьяк, сурьма, висмут.** Типы соединений и формы нахождения в природе. Кристаллохимические особенности; изоморфные связи. Минералогия. Распространенность As, Sb и Bi; распределение в магматических породах. Поведение As, Sb и Bi в гидротермально–метасоматических процессах; пути концентрации, типы месторождений и ассоциации с другими элементами. Особенности поведения в процессах выветривания и осадкообразования.

32. **Кислород.** Основные химические свойства; типы соединений в природе; минералогия. Распространенность в природе. Роль окислительно–восстановительных равновесий в геохимии и факторы, контролирующие потенциал кислорода в геологических процессах. Происхождение свободного кислорода атмосферы; озон. Фотосинтез; поглощение кислорода; баланс кислорода. Изотопы кислорода. Основные механизмы

2

фракционирования; закономерности распределения изотопов кислорода в земной коре, их интерпретация и геохимическое значение; палеотермометрия. Современные данные об изотопном составе кислорода метеоритов.

33. **Сера, селен, теллур.** Основные химические свойства, состояния в природе, типы соединений. Кристаллохимические особенности, изоморфные связи.

Геохимия S. Распространенность в метеоритах, на Земле. Растворимость S в магматических расплавах, явление ликвации в сульфидно–силикатных системах; роль Fe в магматической истории S; особенности концентрации S и

сульфидов в расслоенных комплексах основных и ультраосновных пород. Летучесть соединений S и их роль в магматических и вулканических газах. Окислительно–восстановительные равновесия соединений серы. Растворимость сульфидов в водных растворах и формы нахождения S в растворах; роль сульфатов. Геохимическая роль S в гидротермальном процессе. Поведение S в процессах выветривания, в гидросфере, в процессах осадкообразования. Распространенность в осадках и баланс S. Роль S в биосфере. Биогенный цикл S и участие в нем организмов. Осадочные сульфаты и сульфиды. Связь S с органическим веществом; S нефтей, углей. Изотопы S и основные механизмы их фракционирования. Распределение изотопов S в магматических, осадочных породах, в гидротермальных месторождениях, гидросфере; значение для геохимии.

Геохимия Se и Te. Роль изоморфного рассеяния, окислительно–восстановительных реакций. Минералогия и ассоциации с металлами. Отношение S/Se, его значение в вулканических газах, магматических и гидротермальных сульфидных, осадочных сульфатах, самородной S; условия разделения Se и S. Пути концентрации и рассеяния Se и Te. Роль Se в биосфере; биогеохимические провинции Se.

34. **Галогены - F, Cl, Br, I.** Состояние в природе, типы соединений. Сравнительная характеристика свойств: кристаллохимия и изоморфные связи, летучесть и растворимость соединений; геохимическая роль галогенов.

30

Геохимия F. Условия изоморфного рассеяния и главнейшие минералы; роль Ca. Распространенность в природе. Распределение в магматических породах, пути накопления. Роль F в магматических и вулканических газах, в гидротермальных растворах. F в пегматитах и грейзенах. F в гидросфере и осадочных породах. Баланс F. Роль F в биосфере; биогеохимические провинции F и эндемии.

Геохимия Cl и Br. Минералогия. Распределение Cl и Br в магматических породах; пути концентрации; особенно-сти хлоридно-силикатных систем. Cl и Br в вулканических газах; отношение Cl/Br; Cl в контактовых процессах. Роль Cl в гидротермальных процессах. Гипергенный цикл Cl и Br; содержание в осадочных породах и морской воде, галогенез, геохимический баланс Cl; пути совместной миграции и условия разделения Cl и Br; Cl/Br коэффициент. Роль Cl и Br в биосфере.

Геохимия I. Минералогия. Рассеяние – основная черта геохимии иода. Распространенность иода в магматических и осадочных породах, гидросфере; баланс иода. Роль иода в биосфере; участие организмов в концентрации иода. Иод в илах и почвах; I-Br воды. Биогеохимические провинции иода и эндемии. Радиоактивный ^{129}I и его космохимическое значение; техногенный ^{129}I в биосфере.

35. **Благородные газы - He, Ne, Ar, Kr, Xe.** Распространенность в космосе и на Земле. Распределение на Земле и происхождение в атмосфере. Химические свойства и основные факторы геохимии. Изотопы Ne; их происхождение; вариации изотопного состава Ne на Земле, в метеоритах, в лунном веществе и их интерпретация. Изотопы Ne. Изотопы Ar; ^{40}Ar и его геохимическое значение. Изотопы Kr и Xe, их вариации в земных и космических объектах, происхождение вариаций. ^{129}Xe и его космохимическое значение.

Учебные пособия

1. БЕЛОНИЖКА П.М., МАТКОВСКИЙ О.И. *Геохимия элементов главных подгрупп I-III группы Периодической системы Д.И.Менделеева.* Львов: ЛГУ, 1984, 78 стр.
2. ГАВРИЛЕНКО В.В., САХОНЕНОК В.В. *Основы геохимии редких литофильных металлов.* Л.: ЛГУ, 1986, 172 стр.
3. ГАВРИЛЕНКО В.В., СОРОКИНА Н.А. *Геохимические циклы токсичных элементов.* Л.: ЛГУ, 1988, 84 стр.
4. ПЕРЕЛЬМАН А.И. *Геохимия. Глава 21 (Геохимия щелочных металлов); глава 22 (Геохимия галогенов).* М.: Высшая школа, 1979, стр.334–362.
5. САУКОВ А.А. *Геохимия. Глава 12 (Геохимия кислорода, железа, ртути).* 4-е изд. М.: Наука, 1975, стр.429–456.
6. ТУГАРИНОВ А.И. *Общая геохимия. Глава 16 (Геохимия олова, молибдена, вольфрама, урана, свинца, ртути, сурьмы); глава 17 (Геохимия изотопов).* М.: Атомиздат, 1973, стр. 215–225, 233–258.

Дополнительная литература

7. АЛЕКСАНДРОВ С.М., БАКСУКОВ В.Л., ЩЕРБИНА В.В. *Геохимия эндогенного бора.* М.: Наука, 1968, 184 стр.
8. БАЛАШОВ Ю.А. *Геохимия редкоземельных элементов.* М.: Наука, 1976, 266 стр.
9. БАКСУКОВ В.Л. *Основные черты геохимии олова.* М.: Наука, 1974, 150 стр.
10. БЕУС А.А. *Геохимия бериллия и генетические типы бериллиевых месторождений.* М.: Изд-во АН СССР, 1960, 329 стр.
11. БОРИСЕНКО Л.А. *Геохимия галлия.* Изд-во Московского уни-верситета, 1971, 228 стр.

12. ВЕРНАДСКИЙ В.И. *Очерки геохимии. Очерк 3, раздел 2 (Геохимическая история марганца); очерк 4 (Кремний и силикаты в земной коре); очерк 5 (Углерод и живое вещество в земной коре); очерк 6 (Радиоактивные химические элементы рядов урана, тория и актиноурана в земной коре).* 8-е изд. В книге: Библиотека трудов академика В.И.–Вернадского. Труды по геохимии. М.: Наука, 1994, стр. 213–229, 237–410.
13. ВИНОГРАДОВ А.П. *Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах.* 2-е изд. М.: Изд-во АН СССР, 1957, 235 стр.
14. ВИНОГРАДОВ А.П. *Введение в геохимию океана.* В книге: А.П.Виноградов. Избранные труды. Геохимия океана. М.: Наука, 1989, стр.36–216.
15. *Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов, т.1. Геохимия редких элементов.* Под редакцией К.А.Власова. М.: Наука, 1964, 686 стр.
16. *Геохимия редких элементов.* Под редакцией А.Б.Ронова. М.: Изд-во иностранной литературы, 1959, 533 стр.
17. ГОЛЬДШМИДТ В.М. *История металлов семейства железа в природе.* В книге: Основные идеи геохимии, вып.1. Под редакцией А.Е.Ферсмана. Л.: Госхимтехиздат, Ленингр. отд., 1933, стр.221–249.
18. ГОЛЬДШМИДТ В.М. *Сборник статей по геохимии редких элементов.* М.–Л.: ГОНТИ, 1938, 244 стр.
19. КОГАРКО Л.Н., КРИГМАН Л.Д. *Фтор в силикатных расплавах и магмах.* М.: Наука, 1981, 125 стр.
20. КОГАРКО Л.Н., ЛАЗУТКИНА Л.Н., КРИГМАН Л.Д. *Условия концентрирования циркония в магматических процессах.* М.: Наука, 1988, 120 стр.
21. *Основные черты геохимии урана.* Под редакцией А.П.Виноградова. М.: Изд-во АН СССР, 1963, 351 стр.
22. ПАЧАТДЖАНОВ Д.Н. *Основные черты геохимии ниобия и тантала в осадочном процессе.* Душанбе: Дониш, 1975, 201 стр.
23. СТУДЕННИКОВА З.В., ИВАНОВА Г.Ф., БРЫЗГАЛИН О.В., ЩЕРБИНА В.В. *Геохимия молибдена и вольфрама.* М.: Наука, 1971, стр.
24. ФЕРСМАН А.Е. *Геохимия, т.IV.* В книге: А.Е.Ферсман. Избранные труды, т.V. М.: Изд-во АН СССР, 1959, стр.3–414.
25. ФОР Г. *Основы изотопной геологии.* М.: Мир, 1989, 589 стр.
26. ХЭСКИН Л.А., ФРЕЙ Ф.А., ШМИТТ Р.А., СМИТ Р.Х. *Распределение редких земель в литосфере и космосе.* М.: Мир, 1968, 186 стр.
27. ШУКОЛЮКОВ Ю.А., ЛЕВСКИЙ Л.К. *Геохимия и космохимия изотопов благородных газов.* М.: Атомиздат, 1972, 333 стр.
28. ЩЕРБИНА В.В. *Особенности геохимии скандия и типы его месторождений.* В книге: Геология месторождений редких элементов, вып.8. М.: Госгеолтехиздат, 1960, 57 стр.
29. GOLDSCHMIDT V.M. *Geochemistry.* Oxford: Clarendon Press, 1954, 730 p.

