

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт геохимии им. А.П. Виноградова  
Сибирского отделения Российской академии наук  
(ИГХ СО РАН)**

ПРИНЯТО

Ученым советом ИГХ СО РАН

Протокол № 9 от 03.10.2013

Председатель Ученого совета ИГХ СО РАН

член-корреспондент РАН В.С. Шацкий

---

**ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА**

кандидатского экзамена по специальности

**25.00.09 «Геохимия и геохимические методы поисков  
месторождений полезных ископаемых»**

Иркутск

2013 год

## **Раздел 1. Геохимия как наука.**

Геохимия, её содержание и задачи, положение среди других смежных наук. Методы геохимических исследований. История развития геохимии, роль и значение русских учёных М.В.Ломоносова, Д.И.Менделеева и основоположников современной геохимии - В.И.Вернадского и А.Е.Ферсмана; зарубежных учёных - Ф.У.Кларка, В.М.Гольдшмидта. Пути развития геохимии в СССР и России. Роль геохимии в решении практических вопросов.

## **Раздел 2. Строение и химический состав земного шара и земной коры (включая гидросферу, атмосферу и биосферу).**

1. Фактические данные геологии геофизики, лежащие в основе теории зонального строения земного шара и критическая оценка существующих концепций.
2. Средний химический состав земной коры, гидросферы, атмосферы (Тейлор, МакЛеннан).
3. Методы подсчёта кларков, изменения в представлении о распространённости элементов и анализ таблицы кларков. Данные Грина, Польдерваата, Аренса (логнормальная зависимость), сводка кларков А.П.Виноградова, Турекьяна, Ведеполя.
4. Закономерности распределения химических элементов и их изотопов. Зависимость распространённости от строения атомных ядер. Дефицитность лития, бериллия и бора.
5. Геохимический баланс элементов и основы количественной геохимии.
6. Сравнение химического состава Земли с составом метеоритов, Солнца, Луны и др. небесных тел. Значение космогеохимических исследований для изучения состава Земли.

## **Раздел 3. Строение и размеры атомов и ионов.**

1. Классификация элементов по типам строения атомов. Зависимость химических свойств элементов от строения электронных оболочек атомов. Типы строения ионов и геохимическая классификация элементов (литофильные, халькофильные, сидерофильные, редкоземельная и актинидная плеяды). Основные типы ассоциаций химических элементов.
2. Значение размеров атомов и ионов, их валентностей и типа строения ионов (поляризация) в их сочленениях с образованием кристаллических решёток. 1-й принцип кристаллохимический (В.М.Гольдшмидта). Значение атомного веса в геохимических процессах.
3. Закономерности в изменении величин атомных и ионных радиусов (закон «диагональных рядов» А.Е.Ферсмана) и в изменении поляризационных свойств.
4. Понятие энергии кристаллической решётки. 2-й кристаллохимический принцип (А.Ф.Капустинского). Правила построения ионных кристаллов Л. Полинга. Электроотрицательность и её значение для геохимии.
5. Значение энергии кристаллической решётки в определении направления химических реакций в земной коре, парагенезиса минералов и последовательности их образования. Щелочные и кислотные свойства элементов как функция отношения валентности к ионному радиусу (ионный потенциал). Значение этой зависимости в геохимическом распределении элементов.
6. Законы и факторы взаимозамещаемости элементов (изоморфизм). Исследования Е.Митчерлинка, Д.И.Менделеева и «изоморфные ряды В.И.Вернадского, работы В.М.Гольдшмидта и его школы. Изовалентный и гетеровалентный изоморфизм, аномальные смешанные кристаллы. Изоморфные примеси как геохимические индикаторы.
7. Значение энергии кристаллической решётки и явление поляризации в образовании изоморфных смесей. Влияние среды и внешних факторов на характер изоморфных замещений.
8. Изоморфные замещения и процессы рассеяния и концентрации химических элементов. Разделение изоморфных смесей в различных условиях.
9. Энергетика геологических процессов (А.Е.Ферсман, Д.С.Коржинский, Г.Л.Поспелов, Ф.А.Летников).

#### **Раздел 4. Геохимия изотопов и методы определения абсолютного возраста пород и минералов.**

1. Изотопный состав химических элементов. Основные свойства изотопов. Стабильные, радиоактивные и искусственные изотопы.
2. Фракционирование изотопов в природных процессах. Зависимость фракционирования от разницы в массовых числах изотопов. Разделение изотопов в равновесных и неравновесных условиях.
3. Не радиогенные изотопы в геологии. Изотопный состав свинца и проблема генезиса рудных месторождений. Первоначальный, первичный и современный свинец. Возраст Земли и Вселенной по изотопному составу свинца. Изотопный состав стронция и проблема происхождения базальтов, гипербазитов, щелочных и ультраосновных пород. Изотопный состав стронция морской воды и его значение для геохимии. Первоначальный, первичный и современный стронций. Стронций в метеоритах, лунных образцах и в мантии. Нормализация отношения  $Sr/Sr$  и его суть. Изотопы углерода в геологических процессах и их роль в установлении генетической связи исследуемых пород с мантией. Изотопно-кислородный геотермометр. Восстановление палеотемператур. Изотопы кислорода в метаморфических, магматических и осадочных процессах. Изотопы гелия в мантийных газах и гидротермах. Гелиевый возраст метеоритов. Изотопы серы и проблемы гидротермального рудоотложения. Изотопы бериллия.
4. Определение абсолютного возраста. U-Th-Pb метод. Конкордия и дискордия. Оценка пригодности минералов для целей датирования вообще и этим методом в частности. Учёт примеси обыкновенного свинца. Свинцы согласующие и аномальные. Изохронны Гаутерманса. Возможности метода для оценки генетической природы рудных месторождений. Рубидий-стронциевый метод. Метод изохрон. Установление первичного отношения  $Sr^{87}/Sr^{86}$  по изохронам. Пригодность геологического материала для работ этим методом. K-Ar метод. Основы метода. Причины занижения возраста и возможность завышения его. Анализ по валовым пробам и отдельным минералам для одной и той же породы как метод контроля. Sm-Nd метод, основы, применение. Расчёт модельных возрастов.

#### **Раздел 5. О мантии. Состав, строение, геохимия верхней мантии Земли.**

1. Современные представления о глубинном строении Земли. Роль процессов, происходящих на границе ядро-мантия (слой D2) в инициировании эндогенной активности в мантии и коре. Строение континентальной и океанической коры по геофизическим данным.
2. Возможные представители мантийного вещества: каменные метеориты, альпинотипные и океанические гипербазиты, глубинные включения в кимберлитовых трубках взрыва и щелочных базальтоидах. Основные геохимические особенности этих пород. Вертикальная зональность верхней мантии в отношении распределения редких элементов. Геохимическое значение фазовых переходов. Влияние процессов, происходящих в верхней мантии, на строение и состав континентальной коры.

#### **Раздел 6. Геохимия магматических процессов.**

1. Магматические расплавы и их происхождение. Главные черты физико-химии силикатных расплавов. Представления о механизмах их дифференциаций. Процессы рассеяния и концентрирования химических элементов при кристаллизации магматических расплавов. Формы нахождения химических элементов в горных породах и минералах. Строение континентальной и океанической коры по геофизическим данным.
2. Главные генетические серии магматических пород.

3. Проблемы гипербазитового магматизма, основные черты геохимии гипербазитов и их рудоносность.
4. Океаническая кора и петролого-геохимические типы базальтоидов.
5. Современные представления о механизме формирования континентальной коры.
6. Представления о происхождении гранитоидов. Гранитные расплавы, физико-химические условия их формирования, роль воды и других летучих компонентов. Критерии глубины формирования гранитоидных пород. Петролого-геохимические типы гранитоидов и их рудоносность (Л.В.Таусон, Pearce J.A, Harris N.B.W., Findle A.G.).
7. Современная классификация интрузивных пород, её принципы, номенклатурные названия. Методы петрологического изучения магматических пород, петрологические пересчёты.
8. Особенности состава и геохимии магматических пород океанов, континентов и зон сочленения океан-континент. Магматизм рифтовых зон (континентальных и океанических рифтов). Полярность магматизма, связанного с глубинными сейсмофокальными зонами Заварицкого-Беньофа. Основные положения тектоники плит и возможности применения её положения для анализа истории развития Земли. Типы геодинамических обстановок и особенности магматизма в каждой из них. Геохимические типы магматических пород - индикатор геодинамических обстановок прошлого.
9. Роль магматизма в формировании эндогенного оруденения, характер связи рудообразования с магматизмом.
10. Щёлочно-ультраосновный магматизм, особенности его проявления, естественные ассоциации и серии пород, их геохимическая специфика. Представления о происхождении щёлочно-ультраосновных комплексов. Минеральный и редкометалльный состав, рудоносность карбонатитов. Основные факторы и условия формирования.

#### **Раздел 7. Геохимия и генезис пегматитов.**

1. История развития представлений о происхождении пегматитов (А.Е.Ферсман, американская школа Ландеса - Хесса - Шеллера, А.Н.Заварицкий, В.Д.Никитин, Г.Рамберг). Экспериментальные работы Д.Кеннеди, К.В.Бернема и Р.Джанса. Современное состояние учения о пегматитах. А.И.Гинзбург и Г.Г.Родионов о глубинности образования гранитных пегматитов различной промышленной специализации. Связь пегматитов с метаморфическими и магматическими процессами.
2. Минеральный и редкоэлементный состав мусковитовых, редкоземельных, редкометалльных, редкометалльно-мусковитовых и миароловых пегматитов. Роль летучих компонентов в образовании и изменении пегматитов. Изменения боковых пород и ореолы рассеяния элементов вокруг пегматитовых жил.
3. Зональность пегматитовых полей и пегматитовых тел. Стадийность пегматитового процесса. Распределения главных элементов и элементов-примесей в пространстве и во времени. Элементы-индикаторы пегматитов различной специализации и рудоносности отдельных жил.

#### **Раздел 8. Геохимия метаморфических процессов.**

1. Фактор равновесия при метаморфизме. Учение о метаморфических фациях. Метаморфические зоны и концепция изоград. Типы метаморфизма и фациальные серии. Современные схемы фаций метаморфизма. Парагенетические диаграммы и петрогенетические сетки. Использование экспериментальных данных для их построения. Системы с H<sub>2</sub>O и CO<sub>2</sub>.
2. Закономерности распределения компонентов в сосуществующих минералах переменного состава. Возможность использования пар метаморфических минералов в качестве геотермометров и геобарометров.
3. Геохимия процессов метаморфизма. Изохимический его характер. Роль H<sub>2</sub>O и CO<sub>2</sub> при метаморфизме. Геохимические критерии различия орто- и парапород. Металлогения метаморфических комплексов различных типов.
4. Геохимические методы реконструкции первичного состава метаморфизованных пород.

#### **Раздел 9. Геохимия процессов рудообразования.**

Современные теории рудообразования. Представления Эммонса, Линдгрена, Феннера, Грейтона. Пульсационная гипотеза С.С.Смирнова. Основы представлений Д.С.Коржинского о стадийности постмагматических процессов.

1. Природа рудоносных растворов. Магматогенное и метаморфогенное рудообразование. Условия отделения флюидов от магматического расплава. Форма переноса Sr, W, Mo, Au, Zn, Pb и других элементов во флюидах. Роль летучих компонентов в переносе металлов.

2. Сравнительная растворимость летучих компонентов в магме и последовательность выделения летучих компонентов из магматического расплава. Сравнительная подвижность летучих компонентов и эволюция состава гидротерм на постмагматическом этапе.
3. Последовательность привноса рудных элементов в зону рудоотложения. Последовательность выделения минералов (и слагающих их элементов) из одной порции раствора. Основные примеры зональности рудных месторождений. Пульсационная зональность и зональность отложения. Роль и эволюция основных параметров рудообразования: T, P, Eh, pH в гидротермальном процессе.
4. Особенности грейзенового процесса. Метасоматические процессы при рудоотложении.
5. Геохимия микроэлементов в процессе рудообразования. Основные геохимические особенности состава одного и того же рудного минерала различного генезиса (на примере касситерита, вольфрамита, сфалерита, пирита, золота и других минералов).
6. Соотношения между процессами формирования руд и геохимических ореолов.

#### **Раздел 10. Геохимия метасоматических процессов.**

1. Взаимоотношения метасоматоза с магматизмом и метаморфизмом. Факторы равновесия при метасоматизме. Принцип дифференциальной подвижности компонентов. Основные типы метасоматических процессов, их минералого-геохимических особенности.
2. Теория метасоматической зональности, особенности строения инфильтрационных и диффузионных метасоматических колонок.
3. Режим кислотности-щёлочности послемагматических растворов. Фильтрационный эффект, его значение в геологии. Представление о геохимической подвижности компонентов.
4. Классификация метасоматических процессов. Понятие о метасоматической фации. Обзор главных типов метасоматических образований, их рудоносность. Геохимия процессов скарнообразования (магнезиальные и известковые скарны) и других контактово-реакционных процессов. Геохимия процессов альбитизации, грейзенизации и др.
5. Геохимия ультраметаморфизма. Трансмагматические (транскоровые) флюиды и их роль в процессах высокотемпературного метасоматизма и гранитизации. Геохимическая сущность гранитизации, анатексиса и палингенеза.

#### **Раздел 11. Поверхностные геохимические процессы.**

1. Основные геохимические факторы поверхностных процессов.
2. Физико-химические условия и химические реакции выветривания главнейших минералов горных пород и рудных месторождений. Типы выветривания.
3. Перераспределение химических элементов в результате процессов выветривания.
4. Геохимические зоны окисления рудных месторождений.
5. Условия и формы переноса химических элементов в поверхностных процессах, типы растворов и их отличительные особенности. Роль коллоидов.
6. Особенности химического состава морской воды и процессы, в ней происходящие. Геохимическая сущность осадочной дифференциации.
7. Условия осадкообразования, последовательность образования осадков, типы химических реакций, влияние кислотности и щёлочности среды, роля окислительно-восстановительных процессов, образование труднорастворимых осадков, влияние биогеохимических факторов. Специфика процессов концентрации и рассеяния элементов и явления осадкообразования.
8. Геохимические преобразования на ранней и поздней стадии диагенеза, физико-химические условия и химические реакции этого явления.

#### **Раздел 12. Физико-химическое и экспериментальное изучение геохимических процессов.**

1. Основные понятия и законы термодинамики. Первое начало. Второе начало. Условия равновесия и термодинамические потенциалы систем. Общие критерии равновесия. Принципы локального и частичного равновесия. Число независимых параметров. Независимые и зависимые компоненты. Правило фаз. Термодинамические потенциалы и определение систем с вполне подвижными компонентами. Правило фаз в системах с вполне подвижными компонентами. Химические потенциалы независимых и зависимых компонентов. Идеальные и реальные растворы. Основные понятия и принципы термодинамики необратимых процессов: главные принципы, энтропия и потенциалы в необратимых процессах. Стационарные состояния.

2. Физико-химический анализ парагенезисов минералов. Диаграммы состав-парагенезис. Понятие о парагенезисе и минеральной фации. Разделение компонентов по Д.С.Коржинскому. Диаграмма зависимости фазового состава и фазовых равновесий от интенсивных и экстенсивных параметров. Диаграммы мультисистем. Равновесия фаз переменного состава. Экспериментальные состояния в фазовых равновесиях.
3. Физико-химические расчёты. Термодинамические основы расчёта фазовых равновесий. РТ диаграммы твердофазных реакций. РТ диаграммы реакций гидратации и карбонатизации. Диаграммы зависимости равновесий от летучестей и активностей компонентов. Петрогенетические сетки. Eh-pH диаграммы.
4. Физико-химическое моделирование на ЭВМ. Расчёты сложных гетерогенных равновесий в минеральных мультисистемах на ЭВМ методом минимизации свободной энергии. Применение принципа частичного равновесия для моделирования на ЭВМ необратимой эволюции минеральных систем.
5. Экспериментальные исследования. Основные направления и методы экспериментальных геохимических исследований при высоких температурах и давлениях. Буферирование активностей компонентов. Критерии установления равновесия. Методологические аспекты приложения экспериментальных данных к анализу природных объектов. Роль экспериментов количественных и экспериментов моделирующих. Основные результаты и задачи экспериментальных работ в той области геохимии, в которой специализируется экзаменуемый (магматизм, метаморфизм, метасоматоз, рудообразование).

### **Раздел 13. Методы анализа вещества. Метрологические характеристики методов анализа.**

1. Метрологическая классификация методов анализа: количественный, приближённо- количественный и качественный методы.
2. Понятие о точности аналитических методов. Случайные и систематические ошибки. Воспроизводимость результатов анализа. Правильность анализа и способы её повышения. Стандартные образцы.
3. Понятие о границе обнаружения (чувствительности) аналитических методов. Граница обнаружения, предельная концентрация и связь их с воспроизводимостью анализа.
4. Понятие об экспрессности и производительности аналитических методов.
5. Основные метрологические характеристики (точность, граница обнаружения, экспрессность) главных аналитических методов геохимии - эмиссионного оптического спектрального, атомно-абсорбционного, рентгено-спектрального, нейтронно- активационного, масс-спектрального.
6. Современные методы анализа геохимических проб. Инструментальные химические методы анализа (хроматография, полярография и т.п.). Физические методы анализа: рентгеновский и оптический эмиссионный спектральный анализы, атомная абсорбция, масс- спектрометрия, термофизические методы измерения состава. Рентгено-структурный анализ. Методы физики минералов: методы ЭПР, ЯМР, ЯГР, термоЭДС, термического анализа, люминесценции.
7. Стандартные образцы состава. Контроль правильности и воспроизводимости анализов. Согласование метрологических характеристик анализа с требованиями геохимических исследований.

### **Раздел 14. Геохимические методы поисков.**

1. Значение геохимических методов для выявления труднооткрываемых и глубокозалегающих, а также новых промышленных типов месторождений. История развития геохимических методов поисков. Роль советских учёных в разработке научных основ геохимических методов поисков (В.И.Вернадский, А.Е. Ферсман, А.П.Виноградов, А.Сауков и др.). Значение работ Н.И.Сафронова, В.Асоколова, А.П.Соловова, В.Поликарпочкина.
2. Теория геохимических полей. Рассеянное и концентрированное состояние химических элементов, соотношение между ними. Концентрирование элементов в месторождениях и ореолах. Эндогенные и экзогенные геохимические поля. Дорудные геохимические аномалии. Сингенетические и эпигенетические первичные ореолы. Вторичные ореолы, потоки рассеяния. Парагенезисы и парагенерации химических элементов (геохимические ассоциации). Формы нахождения элементов в рассеянном и концентрированном состоянии. Поисковые геохимические критерии и признаки (прямые и косвенные), положение их в общей системе поисковых критериев и признаков.
3. Геохимическая специализация и потенциальная рудоносность магматических формаций. Рудно-магматические системы. Методы использования геохимических особенностей магматических пород для прогнозирования оруденения и выделения потенциально рудоносных площадей. Примеры геохимической специализации рудоносных магматических комплексов. Геохимическая специализация и потенциальная рудоносность осадочно-метаморфических толщ. Методы использования геохимических

особенностей осадочных и метаморфических пород для прогнозирования оруденения и выделения потенциально рудоносных площадей.

### **Раздел 15. Методы поисков рудных месторождений по первичным ореолам рассеяния.**

1. Элементный состав, форма, размеры и строение первичных ореолов рассеяния полезных ископаемых различных генетических типов. Влияние на формирование геохимических полей и ореолов геологических структур, физико-механических свойств, минерального и химического состава вмещающих рудных пород. Связь первичных ореолов с околорудными изменениями.
2. Зональность месторождений и первичных ореолов и причины её возникновения. Обобщённый ряд геохимической зональности гидротермальных месторождений. Отражение зональности в геохимических ассоциациях. Использование геохимической зональности для оценки перспектив рудных проявлений.
3. Полигонные и полиформационные геохимические и первичные ореолы. Методы поисков и разведки по первичным ореолам рассеяния. Отбор, обработка и анализ проб. Способы изображения данных опробования (моноэлементные, аддитивные и мультипликативные ореолы, изображение геохимических ассоциаций, подсчёт энергии рудообразования). Количественная оценка месторождений по первичным ореолам рассеяния.

### **Раздел 16. Литогеохимические методы поисков по вторичным ореолам рассеяния.**

1. Разрушение месторождений полезных ископаемых в зоне гипергенеза и геохимические особенности связанных с ним процессов. Физическое и химическое выветривание, вынос и перераспределение рудных веществ. Зона окисления месторождений. Геохимические факторы формирования вторичных ореолов. Формы нахождения элементов во вторичных ореолах и потоках рассеяния.
2. Генетические типы вторичных механических ореолов рассеяния. Зависимость типов ореолов от склоновых процессов. Распределение концентраций элементов в ореолах диффузионного и дефлюкционного типа.
3. Типы вторичных солевых ореолов рассеяния и процессы их образования. Ореолы подземных водоносных горизонтов и их выходов на дневную поверхность. Наложённые солевые ореолы над рудными телами, перекрытыми рыхлыми отложениями. Влияние ландшафтно-геохимических условий на образование вторичных ореолов и потоков рассеяния. Ореолы рассеяния палеоландшафтов. Геохимические барьеры и их роль в образовании ореолов. Безрудные аномалии на геохимических барьерах, их отличительные особенности.
4. Методика литогеохимических поисков по вторичным ореолам рассеяния. Сеть опробования при различных масштабах (детальности) работ. Глубина отбора проб, опробуемый материал, техника отбора. Представительность поверхностного опробования в зависимости от типов ореолов и условий их залегания. Подсчёт прогнозных ресурсов по вторичным ореолам рассеяния различного типа (диффузионным и дефлюкционным).

### **Раздел 17. Литогеохимические методы поисков по потокам рассеяния.**

1. Речные потоки рассеяния и процессы их образования. Способы поступления веществ в потоки. Составные части потоков рассеяния и распределения концентраций веществ в их пределах. Зависимость интенсивности потоков рассеяния от мощности источников эрозионного среза и площади речных бассейнов.
2. Методика литогеохимических поисков по речным потокам рассеяния. Глубинность метода. Плотность опробования на различных стадиях поисковых работ. Количественная интерпретация речных потоков рассеяния, подсчёт прогнозных ресурсов перспективных площадей и месторождений на их основе.
3. Шлихогеохимический метод поисков. Особенности шлихогеохимического метода поисков и его методика - отбор, промывка и анализ проб. Повышение чувствительности методов поисков по потокам рассеяния путём опробования органических фракций, железистых осадков и плёнок на минералах.
4. Ледниковые и эоловые потоки рассеяния и их использование для поисков месторождений.

### **Раздел 18. Гидрогеохимические методы поисков.**

1. Гидрогеохимические ореолы и потоки рассеяния и условия их формирования. Значение химического и минерального состава рудных тел и вмещающих пород. Влияние гидрогеологических и ландшафтно-геохимических условий. Растворение рудных веществ в зоне окисления. Электрохимическое растворение. Смешение с фоновыми водами. Выпадение химических элементов из вод на геохимических барьерах. Изменение содержаний элементов в водах во времени. Миграционная способность различных рудных элементов в водной среде. Коэффициент водной миграции и геохимической подвижности. Порядок

величин фоновых и аномальных содержаний основных рудных элементов в водах. Способы измерений гидрогеохимических признаков и пути их усовершенствования.

2. Методика гидрогеохимических поисков. Глубинность и поисковые признаки гидрогеохимических методов. Отбор проб воды, особенности опробования водных источников различного типа (родников, поверхностных вод, колодцев, буровых скважин и т.п.). Применение специальных методов гидрогеохимического опробования. Предосторожности против загрязнения. Хранение и анализ водных проб. Режимные наблюдения. Оконтуривание водных ореолов и потоков рассеяния и их интерпретация.

#### **Раздел 19. Биогеохимические методы поисков.**

1. Научные основы биогеохимических методов поисков. Химический элементный состав организмов. Элементы минерального питания, состав золы растений. Коэффициент биологического поглощения. Биогеохимические барьеры. Растения-концентраторы. Сезонные и возрастные изменения содержаний элементов. Зависимость содержаний элементов в растениях и продуктах жизнедеятельности от содержаний их в окружающей среде. Фитогеохимические ореолы. Зоогеохимические ореолы. Микробиологические ореолы. Биогенные аккумулятивные ореолы в почвах и торфах.
2. Биогеохимические методы поисков (классификация, области применения и методика работ). Классификация биогеохимических методов поисков. Области применения биогеохимических методов. Проведение фитогеохимических поисков в зимнее время. Микробиологический метод поисков.

#### **Раздел 20. Атмогеохимические методы поисков.**

1. Газовые ореолы месторождений полезных ископаемых и процессы их образования. Первичные и вторичные компоненты газов, связанные с месторождениями. Образование газовых ореолов путём фильтрации и диффузии; факторы определяющие эти процессы. Газовые аномалии в надземной атмосфере. Аномалии в аэрозолях и процессы их образования.
2. Атмогеохимические методы поисков и их глубинность. Газовые индикаторы месторождений полезных ископаемых. Виды газовых съёмок и методика их проведения. Особенности эманационной съёмки при поисках рудных месторождений. Аэрогеохимические методы поисков с опробованием газовых компонентов и аэрозолей. Аэрогаммаспектрометрические съёмки и их значение для геохимических поисков.

#### **Раздел 21. Математическая обработка геохимических данных.**

1. Оценка погрешностей и учёт их при интерпретации геохимических данных. Случайная и систематическая ошибки. Средние величины и их доверительные интервалы.
2. Определение закона и параметров распределения, фоновых и минимально-аномальных содержаний элементов. Корреляционный анализ, кластер анализ и др. Расчёт мультипликативных и аддитивных показателей, коэффициентов зональности.
3. Построение геохимических карт. Изображение геохимических полей с применением тренда и факторного анализа. Применение ЭВМ для обработки геохимических данных и построения карт. Автоматизированные системы обработки. Метод многомерных полей.

#### **Литература.**

1. Афонина Г.Г, Макагон В.М, Шмакин Б.М. Барий и рубидийсодержащие калиевые полевые шпаты. Наука, Новосибирск, 1978.
2. Белов Н.В. Очерки по структурной минералогии. Наука, М., 1977.
3. Беус А.А., Грабовская Л.И., Тихонова Н.В. Геохимия окружающей среды. Недра, М., 1976.
4. Бондарев Л.Г. Ландшафты, металлы и человек. Мысль, М., 1976.
5. Булах А.Г. Методы термодинамики в минералогии. Недра, Ленинградское отделение, Л., 1974.



6. Бэрнем К.В. Гидротермальные флюиды магматической стадии. В кн. Геохимия гидротермальных рудных месторождений, с. 40-73. Мир, М., 1970.
7. Вернадский В.И. Очерки геохимии. Избр. Соч. т.1, с. 7-367. Изд. АН СССР, М., 1954.
8. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и её окружения. Наука, М., 1965.
9. Виноградов А.П. Происхождение оболочек Земли. Изв. АН СССР, сер. Геол. № 11, 1962.
10. Гаррелс Р.М., Крайст У.Л. Растворы, минералы, равновесия. Мир, М., 1968.
11. Глубинные ксенолиты и верхняя мантия. Наука, Новосибирск, 1975.
12. Гольдшмидт В.М. Геохимические принципы распределения редких элементов. В кн.: Редкие элементы в изверженных горных породах и минералах, с. 9-16, Изд. Иностран. Лит., М., 1953.
13. Джеффери П. Химические методы анализа горных пород. Мир, М., 1973.
14. Добрецов Н.Л. Введение в глобальную петрологию. Наука, Новосибирск, 1980.
15. Добрецов Н.Л., Ревердатто В.В. и др. Фации метаморфизма (4 книги). Недра, М., 1970=1973.
16. Жариков В.А. Основы физико-химической петрологии. Изд. МГУ, 1976.
17. Зоненшайн Л.П., Кузьмин С.И., Моралёв В.Н. Глобальная тектоника, магматизм и металлогения. Недра, М., 1976.
18. Изотопная геология. Недра, М., 1984.
19. Карпов И.К., Киселёв А.И., Дорогокупец П.И. Термодинамика природных мультисистем с ограничивающими условиями. Наука, Новосибирск, 1976.
20. Карпов И.К., Киселёв А.И., Летников Ф.А. Моделирование природного минералообразования на ЭВМ. Недра, М., 1976.
21. Кесарав В.В. Эволюция вещества Вселенной. Атомиздат, М., 1976.
22. Классификация и номенклатура plutонических (интрузивных) горных пород. Недра, М., 1975.
23. Коваленко В.И. Петрология и геохимия редкометалльных гранитоидов. Наука, Новосибирск, 1977.
24. Козлов В.Д., Свадковская Л.Н. Петрохимия, геохимия и рудоносность гранитоидов Центрального Забайкалья. Наука, Новосибирск, 1977. 1995.
25. Коржинский Д.С. Очерк метасоматических процессов. Сб.: Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях. Изд. АН СССР, 1953.
26. Коржинский Д.С. Теория метасоматической зональности. Наука, М., 1969.
27. Коржинский Д.С. Теоретические основы анализа парагенезиса минералов. Наука, М., 1973.
28. Коржинский Д.С. Кислотность-щёлочность как важнейший фактор магматических и послемагматических процессов. В кн.: Магматизм и связь с ним полезных ископаемых. Госгеолтехиздат, М., 1960.
29. Лебедев В.И. Основы энергетического анализа геохимических процессов, Изд. ЛГУ, 1957.
30. Летников Ф.А. Гранитоиды глыбовых областей. Наука, Новосибирск, 1975.
31. Летников Ф.А. Флюидный режим метаморфизма, Наука, Новосибирск, 1980.
32. Летников Ф.А. Синергетика геохимических систем. Наука, Новосибирск, 1992.
33. Лутц Б.Г. Химический состав континентальной коры и верхней мантии Земли. Наука, М., 1975.
34. Макрыгина В.А. Геохимия регионального метаморфизма умеренных и низких давлений. Наука, Новосибирск, 1981.
35. Моралёв В.М. Ранние этапы эволюции континентальной литосферы. Наука, М., 1986.
36. Налимов В.В. Применение математической статистики при анализе вещества. Физматгиз, М., 1960.
37. Новая глобальная тектоника. Мир, М., 1974.
38. Пампура В.Д. Минералообразование в гидротермальных системах. Наука, М., 1977.
39. Перчук Л.Л., Рябчиков И.Д. Фазовое соответствие в минеральных системах. Недра, М., 1975.
40. Перчук Л.Л. Термодинамический режим глубинного петрогенеза. Наука, М., 1973.
41. Петрова З.И., Левицкий В.И. Петрология и геохимия гранулитовых комплексов Прибайкалья. Наука, Новосибирск, 1984.
42. Петров Б.В., Макрыгина В.А. Геохимия регионального метаморфизма и ультраметаморфизма. Наука, Новосибирск, 1975.
43. Петрография. Часть 1. Изд. МГУ, 1976.
44. Поликарпочкин В.В. Вторичные ореолы и потоки рассеяния. Наука, Новосибирск, 1976.
45. Половинкина Ю.И. Ультраметаморфизм и его роль в истории развития земной коры. Зап. Всес. Мин. Общ., т. 99, № 5, 1970.
46. Пospelова Г.Л. Парадоксы, геолого-физическая сущность и механизмы метасоматоза. Наука, Новосибирск, 1973.
47. Предовский А.А. Геохимическая реконструкция первичного состава метаморфизованных вулканогенно-осадочных образований докембрия. Апатиты, 1970.

48. Райхбаум Я.Д. и др. Эмиссионный спектральный анализ в геохимии. Наука, Новосибирск, 1976.
49. Рингвуд А.Е. Состав и эволюция верхней мантии. В кн.: Земная кора и верхняя мантия. Мир, М., 1972.
50. Ронов А.Б. Осадочная оболочка Земли. Наука, М., 1980.
51. Сауков А.А. Геохимия. Наука, М., 1966.
52. Сафронов Н.И. Основы геохимических методов поисков рудных месторождений. Недра, Л., 1971.
53. Соботович Э.В. Изотопная космохимия. Атомиздат, М., 1974.
54. Сорохтин О.Г. Химическая эволюция Земли. Наука, М., 1974.
55. Судовиков Н.Г. Ультраметаморфизм и гранитообразование. Вестник ЛГУ, вып. 1, № 6, 1959.
56. Страхов Н.М. О фациальных соотношениях между рассеянными содержаниями элементов и их рудными накоплениями в отложениях гумидных зон. Зап. Всес. Мин. Общ., т. 86, № 2, 1956.
57. Таусон Л.В. Геохимические типы и рудоносность гранитоидов. Наука, М., 1977.
58. Таусон Л.В. Геохимия редких элементов в гранитоидах. Изд. АН СССР, М., 1961.
59. Трошин Ю.П. Геохимия летучих компонентов в магматических породах, ореолах и рудах Восточного Забайкалья. Наука, Новосибирск, 1978.
60. Шмакин Б.М. и др. Мусковитовые и редкометалльно-мусковитовые пегматиты. Наука, Новосибирск, 1976.
61. Щербина В.В. Основы геохимии. Недра, М., 1972.
62. Тейлор С.Р., Мак-Леннан. Континентальная кора, её состав и эволюция. Мир, М., 1988.
63. Петрология и геохимия островных дуг и окраинных морей. Наука, М., 1987.
64. Беус А.А., Григорян С.В. Геохимические методы поисков и разведки месторождений твёрдых полезных ископаемых. Недра, М., 1975, 280 с.
65. Биологические методы поисков полезных ископаемых. Недра, М., 1986, 265 с.
66. Воробьёв Е.И. Кальцитометрические методы поисков месторождений полезных ископаемых. В кн.: Проблемы прикладной геохимии. Н., Наука, 1983, с. 142-149.
67. Гидрогеохимия. Основы гидрогеологии. Н., Наука, 281 с. Под ред. С.Л.Шварцева.
68. Григорян С.В. Первичные геохимические ореолы при поисках и разведке рудных месторождений. М., Недра, 1987, 408 с.
69. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. М., Недра, 1983, 190 с.
70. Колотов В.А., Крайнов С.Р., Рубейкин В.З. и др. Основы гидрогеохимических поисков рудных месторождений. М., Недра, 1983, 210 с.
71. Комов Н.Л., Лукашев А.Н., Коплус А.В. Геохимические методы поисков месторождений неметаллических полезных ископаемых. М., Недра, 1982, 182 с.
72. Красников В.И. Основы рациональной методики поисков рудных месторождений. М., Недра, 1965, 400 с.
73. Радионов Д.А., Коган Р.И. и др. Справочник по математическим методам в геологии. М., Недра, 1987, 152 с.
74. Сауков А.А. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. М., Изд. МГУ, 1963, 248 с. 2-е издание - в кн. А.А. Сауков. Геохимические очерки. М., Наука, 1976, с. 349-355.
75. Сафронов Н.И. Основы геохимических методов поисков рудных месторождений. Л., Недра, 1971, 216 с.
76. Соловов А.П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. М., Недра, 1985, 204 с.
77. Таусон Л.В. Магматогенные геохимические поля рассеяния и концентрирования. В кн. Геохимические методы поисков рудных месторождений. Ч. 1., Наука, 1981, с. 10-37.
78. Таусон Л.В. Теория геохимических полей и геохимические поиски месторождений полезных ископаемых. В кн.: Проблемы прикладной геохимии. Н. Наука, 1983, с. 5-19.
79. Таусон Л.В., Гундобин Г.М., Зорина Л.Д. Геохимические поля рудно-магматических систем. Н., Наука, 1987, 162 с.
80. Удодов П.А., Шварцев С.Л., Рассказов Н.М., Матусевич В.М., Солодовникова Р.С. Методическое руководство по гидрогеохимическим поискам рудных месторождений. М., Недра, 1973, 184 с.
81. Антропова Л.В. Формы нахождения элементов в ореолах рассеяния рудных месторождений. Л., Недра, 1975, 144 с.
82. Виноградов А.П. Биогеохимические провинции. Труды юбилейной сессии АН СССР (100-летие со дня рождения В.В.Докучаева). М. 194.
83. Газовая съёмка при поисках руд и геологическом картировании (методические рекомендации). Сост. А.И. Фридман. М., ИМГРЭ, 1975, 88 с.
84. Геохимические методы поисков месторождений цветных металлов. Новосибирск, Наука, 1979.
85. Геохимические поиски по первичным ореолам. Н., Наука, 1983, 171 с.
86. Геохимические методы поисков и оценка рудных месторождений. Н., Наука, 1985, 177 с.
87. Геохимические поиски в областях докембрийской консолидации. Н., Наука, 1985, 123 с.

88. Геохимические методы поисков рудных месторождений в Сибири и на Дальнем Востоке. Н., Наука, 1978, 190 с.
89. Геохимические основы поиском и прогнозирования рудных месторождений. Н., Наука, 1978, 215 с.
90. Гидрогеохимические методы поисков рудных месторождений и прогноза землетрясений. Н., Наука, 1983, 131 с.
91. Голева Г.А. Гидрогеохимия рудных элементов. М., Недра, 1977, 210с.
92. Гундобин Г.М. Первичные ореолы рудных районов. Н., Наука, 1980, 128 с.
93. Козлов В.Д. Геохимия и рудоносность гранитоидов редкометальных провинций. М., Наука, 1985, 304 с.
94. Ковалевский А.Л. Биогеохимические поиски рудных месторождений. М., Недра, 1984, 172 с.
95. Проблемы прикладной геохимии. Н., Наука, 1983, 164 с.
96. Методы интерпретации литохимических поисков. М., Наука, 1987, 210 с.
97. Стратегия геохимических поисков рудных месторождений. Н., Наука, 1980, 121 с.
98. Фурсов В.З. Газортутный метод поисков месторождений полезных ископаемых. М., Наука, 1983, 260 с.
99. Хокс Х.Е., Узбб Дж.С. Геохимические методы поисков минеральных месторождений. М., Мир, 1964, 468 с.

**Ответственный за специальность:** д.г.-м.н. В.С. Антипин

**Ученый секретарь:** к.г.-м.н. И.Ю. Пархоменко