

1-лекция. Цели и задачи учебного курса «Геохимические методы поисков МПИ». Становление геохимии как науки изучающей процессы концентрации и рассеяния химических элементов в земной коре

Цель дисциплины. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых основывается на изучении закономерностей распределения элементов и их соединений, встречающихся в природных условиях.

Целью преподавания дисциплины является ознакомление студентов с теоретическими основами геохимических методов, на базе которых может быть произведен выбор наиболее рационального метода поисков и обнаружения месторождений полезных ископаемых зависимости от конкретных геологических и ландшафтно-геохимических условий, а также приобретение практических навыков интерпретации геохимических данных.

Основные задачи геохимических методов поисков:
-изучение форм нахождения элементов в земной коре;
-усвоение основных факторов миграции элементов;
-особенности формирования геохимических ореолов;
- приобретение навыков математической обработки геохимических данных.

Термин «геохимия» впервые был предложен работавшим в Швейцарии немецким химиком Кристианом Фридрихом Шёнбейном в 1838 году.

В 1842г он писал: «Уже несколько лет тому назад я публично высказал свое убеждение, что мы должны иметь геохимию, прежде чем может идти речь о настоящей геологической науке, которая, ясно, должна обращать внимание на химическую природу масс, составляющих наш земной шар, и на их происхождение по крайней мере столько же, сколько и на относительную древность этих образований и в них погребенных остатков допотопных растений и животных»

Геохимия – наука о распределении (концентрации и рассеянии) и процессах миграции химических элементов в земной коре и, насколько возможно, в Земле в целом.

Задачи геохимии:

1. Изучение содержания химических элементов в геосферных оболочках (атмосфере, гидросфере, литосфере, биосфере), в горных породах, минералах, неминеральных образованиях, в планетах и космосе (космохимия).
2. Изучение закономерностей распределения химических элементов.
3. Изучение условий миграции, концентрирования и рассеяния химических элементов.
4. Изучение истории формирования и эволюции атомов на планете и в космосе

Основные разделы геохимии (самостоятельные дисциплины)

1. Геохимия изотопов
2. Биогеохимия
3. Космохимия

4. Региональная геохимия
5. **Прикладная геохимия (геохимические методы поисков)**
6. Геохимия ландшафтов
7. Литогеохимия
8. Гидрогеохимия
9. Геохимия ноосферы
10. Радиогеохимия
11. Геохимия отдельных элементов

Предмет геохимии

Франк Уиллсуорт Кларк (1924): «В наших целях каждая порода может рассматриваться как химическая система, в которой под действием различных агентов происходят химические изменения. Каждое такое изменение связано с нарушением равновесия и последующим возникновением новой системы, которая при новых условиях становится более устойчивой. Изучение этих изменений и является предметом геохимии».

В.И. Вернадский (1927): «Геохимия научно изучает химические элементы, т.е. атомы земной коры и, насколько возможно, всей планеты. Она изучает их историю, их распределение и движение в пространстве-времени, их генетические на нашей планете соотношения».

А.Е. Ферсман (1932): «Геохимия изучает историю химических элементов-атомов в земной коре и их поведение при различных термодинамических и физико-химических условиях природы».

Виктор Мориц Гольдшмидт (1954): «Современная геохимия изучает распределение и содержание химических элементов в минералах, рудах, породах, почвах, водах и атмосфере и циркуляцию элементов в природе на основе свойств атомов и ионов».

Геохимия – наука о химическом составе земной коры и процессах миграции, рассеяния и концентрации химических элементов. Зародилась впервые в России в начале XX века. Ее основателем был В.И. Вернадский.

В создании геохимии как науки исключительную роль сыграли работы В.Н.Вернадского, А.Е. Ферсмана и норвежского ученого В.Н. Гольдшмидта.

Объектом изучения геохимии является химический элемент, его распределение и миграция в разных системах. Подобный подход выявил следующие научные задачи: определение среднего состава земной коры (проблема кларков), изучение всеобщего рассеяния химических элементов, исследование неминеральной формы нахождения элементов в литосфере.

Понятия химический элемент, химический состав минералов и горных пород, признаки отыскания руд и полезных минералов существовали давно. Еще в 460-370 гг. до н.э. в работах Демокрита, Аристотеля и др., а также в работах Авиценны (985-1057), Бойля (1627-1691), Лавуазье (1743-1794) и др.

В XVII столетии англичанин Р. Бойль изучал химию атмосферы и природных вод, а голландец Х.Гюйгенс подошел к пониманию жизни как космического явления. В XVIII столетии М.В. Ломоносов обосновал значение химии для геологии, дал объяснение процессам образования угля,

нефти, торфа, рассмотрел ряд других геохимических проблем в своих трудах. Француз А.Лавуазье заложил фундамент геохимии газов атмосферы, геохимии природных вод.

Огромное значение имело открытие в 1869 г. Д.И. Менделеевым периодического закона. В трудах этого великого химика содержится и ряд собственно геохимических построений.

Периодический закон Д.И. Менделеева

В 1864 году немецкий химик Л.Ю. Майер в своей книге "Современные теории химии и их значение для химической статики" привел таблицу, в которой элементы были расположены в порядке увеличения их атомных масс.

Периодический закон был открыт Д.И. Менделеевым в ходе работы над текстом учебника "Основы химии", когда он столкнулся с трудностями систематизации фактического материала. К середине февраля 1869 года, обдумывая структуру учебника, он постепенно пришел к выводу, что между свойствами и атомными массами элементов существует какая-то закономерность. Первым шагом к появлению Периодического закона стала таблица "Опыт системы элементов, основанной на их атомном весе и химическом сходстве".

Многokrатно перебирая всевозможные виды систематизации известных тогда 67 элементов он пришел к выводу, что отдельные свойства элементов стали бы закономерно повторяться с ростом их атомной массы, если допустить, что у 10 известных элементов атомная масса определена неверно, а 6 элементов еще не открыты вообще.

Д.И. Менделеев исправляет атомную массу U, In, Pt, Os, Jr, Be, Ti, Th, Ce, Y и оставляет место для будущих Sc (экабор), Ga (экаалюминий), Ge (экасилиций), Re (двимарганец), Tc (экамарганец), Po (двителиур).

Основатели геохимии:

Фрэнк Уиглсуорт Кларк (1847-1931). 1889г — работа «Относительная распространенность химических элементов». Впервые посчитано среднее содержание 10 химических элементов в земной коре на основе 880 химических анализов. В 1908 г издал «Date of Geochemistry», переиздававшуюся 5 раз. В 1924 г. вышла книга в соавторстве с Х.С Вашингтоном «Состав земной коры».

Виктор Мориц Гольшмидт (1888-1947). Серия его работ под названием «Геохимия элементов» (Geochemische Verteilungsgesetze der Elemente) считается началом геохимии. Наиболее крупная его работа «Геохимия» вышла в свет после его смерти в 1954г.

Владимир Иванович Вернадский (1863 — 1945)

В 20-е годы читал курс лекций по геохимии в Праге и в Париже.

С деятельностью Вернадского связано начало дифференциации геохимии как науки по направлениям — создание радиогеологии и биогеохимии.

Он организатор Радиевого института, Украинской Академии наук, Комитета по метеоритам, биогеохимической лаборатории (сейчас Институт геохимии).

Работы: Биосфера, 1926; Очерки геохимии, 1927; Биогеохимические очерки, 1940; История природных вод, 1933-1936

Александр Евгеньевич Ферсман (1883 — 1945)

Впервые прочитал курс лекций по геохимии в 1912 г в Москве в институте Московском городском народном университете им. А.Л. Шанявского.

В 1933-1939 гг опубликовал 4 тома «Геохимии» – первое систематическое изложение этой науки.

Современное состояние:

Институт геохимии им. В.И. Вернадского

Институт геохимии им. А.П. Виноградова

Институт минералогии и геохимии редких элементов (ИМГРЭ)

ИГЕМ (Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН)

ВСЕГЕИ (Всероссийский геологический институт)

ИГМ СО РАН (Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева)

Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых основаны на закономерностях распределения химических элементов и их соединений в литосфере, гидросфере, атмосфере и биосфере.

Предметом исследования является *геохимическое поле и его локальные аномалии*, обусловленные процессами формирования МПИ и их разрушения

Рассеянное состояние элементов – это их естественное, нормальное состояние, а концентрированное состояние – отклонение от нормы или аномальное состояние. Задача поисков МПИ геохимическими методами решается поиском *геохимических аномалий*.

Геохимические методы прогноза, поисков и оценки месторождений полезных ископаемых широко применяется во всем мире. С высокой эффективностью геохимические исследования сочетаются с геологическими и геофизическими съемками, а затем с горными и буровыми работами на всех стадиях геологоразведочного процесса, начиная от региональных съемок обширных территорий до самых детальных работ при эксплуатационной разведке промышленных месторождений.

Важное значение геохимические методы имеют при поисках твердых полезных ископаемых, в первую очередь рудных месторождений.

Непрерывно возрастающая потребность индустриально развитых стран в минеральном сырье приводит, а в отдельных странах и районах уже привела к истощению фонда «легко открываемых» месторождений, для выявления которых часто даже не нужно было иметь геологического образования. Зато почти нетронутым остался фонд «труднооткрываемых» месторождений.

По Алексеенко В.А. к труднооткрываемым месторождениям следует относить:

1. Месторождения, имевшие выход на дневную поверхность, но затем перекрытые молодыми рыхлыми отложениями.

2. Месторождения, рудные тела которых совершенно не затронуты процессами выветривания, но верхние части первичных геохимических ореолов выходят на дневную поверхность.

3. Месторождения, первичные и вторичные минералы руд которых легко поддаются физическому и химическому выветриванию и не образуют видимых ореолов.

4. Месторождения, рудные тела которых визуально не отличимы от вмещающих пород.

Для обнаружения труднооткрываемых месторождений применяются геохимические методы поисков. Выбор наилучшего из них обуславливается геологическими, геохимическими и ландшафтно-геохимическими особенностями исследуемого района. Часто с целью повышения эффективности поиска проводятся комплексные работы с применением нескольких методов.

Выделяются следующие методы геохимических методов поисков МПИ:

1) *Литогеоохимический метод поисков МПИ* – основан на изучении распределения химических в горных породах и почвах.

2) *Гидрgeoохимический метод поисков МПИ* - этот метод основан на исследовании химического состава природных поверхностных и подземных вод.

3) *Биогеохимический метод поисков МПИ* - основан на исследовании химического состава живого вещества, как правило, состава растений.

4) *Атмогеохимический метод поисков МПИ* - основан на исследовании состава подземной атмосферы т.е. химического состава газов, насыщающих горные породы вблизи дневной поверхности.

Основные термины и понятия в прикладной геохимии

Аномалия геохимическая – участок геологического пространства, характеризующийся содержаниями химических элементов, значительно отличающихся от фоновых.

Геохимическое поле – часть геологического пространства, характеризующая количественными содержаниями химических элементов.

Аномальное геохимическое поле – часть геохимического поля, которое включает области развития несвойственных фоновым участкам ассоциаций химических элементов и форм их нахождения, особенностей пространственного и статистического распределения содержаний макро- и микроэлементов в опробуемых геологических средах.

Геологический комплекс – представляет собой ассоциацию горных пород в геологических подразделениях различного иерархического уровня, сближенных в пространстве и во времени, сформированных в сходных геодинамических обстановках, в определенных структурно-формационных зонах и подзонах.

Геохимическая ассоциация – естественная (природная) совокупность химических элементов, обусловленная их сродством, отражающая совместное накопление и согласованные изменения в определенных природных системах.

Геохимический барьер – участок земной коры, где на некотором расстоянии происходит резкое уменьшение интенсивности миграции химических элементов и, как следствие, их концентрация.

Геохимическая карта – карта, отражающая распределение и пути миграции химических элементов в природных геологических средах: горных породах, водах, почвах. Геохимические карты могут содержать сведения о распределении отдельных элементов – моноэлементные карты или широкого круга элементов – полиэлементные карты.

Геохимическое картографирование – составление (построение) геохимических карт.

Геохимический ореол – область геохимического рассеяния или концентрирования химических элементов или группы химических элементов около (вокруг, над) рудных тел.

Геохимическая провинция – крупные геоструктурные элементы земной коры (п. 100 000 км²), вещество которых характеризуется специфическим составом и степенью геохимической дифференциации, запечатленными в содержаниях петрогенных и редких элементов в горных породах или их сообществах в результате проявления всего комплекса геологических процессов.

Геохимическая специализация – повышенное или пониженное по сравнению с кларком содержание и аномальное распределение химических элементов или группы химических элементов в геологических объектах любого ранга.

Геохимический фон – средние содержания химических элементов в геологических объектах любого ранга с преобладающим рассеянным распределением химических элементов.

Местный геохимический фон – среднее содержание химических элементов в пределах относительно локального участка.

Региональный геохимический фон – среднее содержание химических элементов в пределах крупных регионов ранга структурно-формационных зон.

Зона выноса химических элементов – отрицательная геохимическая аномалия, приуроченная к зоне регионального или локального метасоматизма или к зоне инфильтрации. Характеризуется преобладанием процессов рассеяния химических элементов.

Зона привноса химических элементов – положительная геохимическая аномалия, приуроченная к зоне регионального или локального метасоматизма или к зоне инфильтрации. Характеризуется преобладанием процессов концентрирования химических элементов.

Кларк концентрации – отношение выборочного среднеарифметического содержания химических элементов в природном

образовании к кларку этого элемента в литосфере или в петрохимическом типе горной породы.

Корреляция геохимическая – одновременное накопление, миграция и рассеяние группы химических элементов (независимо от причин этой закономерности).

Вторичный геохимический ореол – представляет собой область аномальных содержаний слагающих руду компонентов среди твердых продуктов выветривания. Вторичные ореолы и потоки рассеяния образуются в процессе физико-химического и биогеохимического преобразования руд и вмещающих пород под влиянием многочисленных факторов.

Первичный геохимический ореол – геохимическая аномалия в рудовмещающих породах, окружающая или прилегающая к промышленному оруденению, характеризующаяся повышенными (реже пониженными) содержаниями рудных и сопутствующих элементов и образованная одновременно с рудным телом теми же процессами.

2-лекция. Основные теоретические положения, используемые в поисковой геохимии. Методы геохимических поисков месторождений полезных ископаемых

Современная горная промышленность извлекает разнообразные химические элементы из их природных скоплений, предъявляя к соответствующим месторождениям полезных ископаемых вполне определенные требования в части содержаний ценных компонентов, масштабов запасов и геолого-экономических условий их залегания. Это определяет общую направленность геологосъемочных, поисковых и разведочных работ к обнаружению локальных концентраций химических элементов с целью выбора объектов для промышленной разработки. Прямой метод выявления таких концентраций – геохимические поиски.

В основе прикладной геохимии или геохимических методов поисков лежат теоретические положения, разработанные основоположником геохимии В. И. Вернадским. Среди них наиболее важными являются:

- *закон всеобщего рассеяния элементов в геосферах;*
- *закон всеобщей миграции элементов;*
- *закон о многообразии форм существования элементов в природе;*
- *закон преобладания рассеянного состояния элементов земной коры над концентрированным.*

Закон всеобщего рассеяния элементов в геосферах

Геологической науке давно известны факты рассеяния некоторых элементов в геологических объектах. Так, при химическом анализе минералов в них весьма часто обнаруживались химические элементы, не предусмотренные канонической формулой исследуемого минерала: железо в сфалерите (ZnS), цинк в халькопирите ($CuFeS_2$) и т. д. На основе этих данных впоследствии было открыто явление *изоморфизма, т.е. замещение*

одного элемента другим в кристаллической решетке минерала, вызванное, как известно, сходством ионных радиусов замещаемого и замещающего элементов, а также общностью ряда других свойств.

Постепенно, по мере проведения аналитических работ начали появляться и такие факты присутствия одних элементов в минералах других, которые противоречили представлениям о механизме изоморфизма и не могли быть объяснимыми с этих позиций. Действительно, если провести точный химический анализ монокристалла оптически чистого кварца, в нем можно обнаружить самые "неожиданные" элементы (Fe, Cl, N, Pb, S и др.), присутствие которых невозможно объяснить проявлением изоморфизма.

По мере усовершенствования точности аналитических методик геологи и химики все более убеждались в том, что количество обнаруживаемых "посторонних" элементов в любом минерале или горной породе непрерывно возрастает. И они пришли к заключению о том, что если бы существовали крайне точные виды анализа, то в любой горной породе можно было бы обнаружить все известные химические элементы. В 1909 г., выступив на XII съезде врачей и естествоиспытателей, В.И.Вернадский говорил: "...в каждой песчинке или капле воды, как в микрокосмосе, обнаруживаются все элементы., отражающие состав космоса".

Современные геохимики не знают такого случая, когда при анализе любой горной породы на любой химический элемент ответом был бы результат: "нет" ("отсутствует"). И когда тот или иной элемент не выявляется принятой методикой анализа, они дают ответ "не обнаружено". Это означает, что присутствие данного элемента в исследуемой породе не отрицается вовсе, но содержание его измеряется количеством, недоступным точности проведенного анализа.

С 1910 г. положение о всеобщем рассеянии элементов, высказанное В.И.Вернадским, стало общепризнанным, а позже по предложению Н.И.Сафронова оно получило наименование *закона Вернадского*. Из этого закона вытекает ряд следствий. Первое из них заключается в *распространенности всех элементов во всех без исключения геосферах*.

Основной химический состав геосфер

Геосферы	Главнейшие элементы	Число химических элементов	Сумма кларков, %
Литосфера	O, Si, Al, Fe, Ca, Na, K, Mg, Ti	9	99,48
Гидросфера	O, H, Cl, Na, Mg	5	99,58
Атмосфера	N, O, Ar	3	99,94
Биосфера	O, C, H, Ca, K, N, Si, Mg, P, S	10	99,96

П р и м е ч а н и е. Под биосферой понимается область развития живых организмов, охватывающая нижние горизонты атмосферы, часть литосферы и гидросферы. Кларки биосферы характеризуют средний химический состав живого вещества.

Несмотря на то, что весовые содержания многих элементов в тех или иных геологических образованиях весьма малы или даже ничтожны, на уровне микромира, с которым имеет дело аналитическая геохимия, эти содержания не столь уж и незначительны. Например, содержание радия в воде ничтожно мало (порядка $10^{-14}\%$), тем не менее каждый кубический сантиметр воды содержит 10^7 атомов этого элемента. Процентное содержание меди в воде примерно в миллион раз выше содержания радия, поэтому количество атомов меди в 1 см^3 воды выражается уже астрономической цифрой (сотнями триллионов).

Вторым следствием проявления закона всеобщего рассеяния элементов является вывод о **невозможности существования в природе чистых веществ**. Поэтому огромной проблемой современной научно-технической мысли является получение сверхчистых металлов для различных технических и экспериментальных нужд, например, металлов с чистотой 99,99999 % металлов, в которых посторонние примеси не превышают величины 10-5%. Но и в это ничтожно малое количество примесей укладываются все элементы *таблицы* Д. И. Менделеева.

Закон всеобщей миграции элементов

Миграция или перемещение вещества в пространстве - широко известное явление. Она проявляется в геологических образованиях самыми различными формами.

Например, тектонические поднятия суши или полет метеорита являются, в сущности, процессами миграции вещества.

Миграция элементов происходит как внутри геосфер (лито-, гидро-, био- или атмосферы), так и между ними.

Перемещение вещества в литосфере можно представить в виде следующей циклической диаграммы.

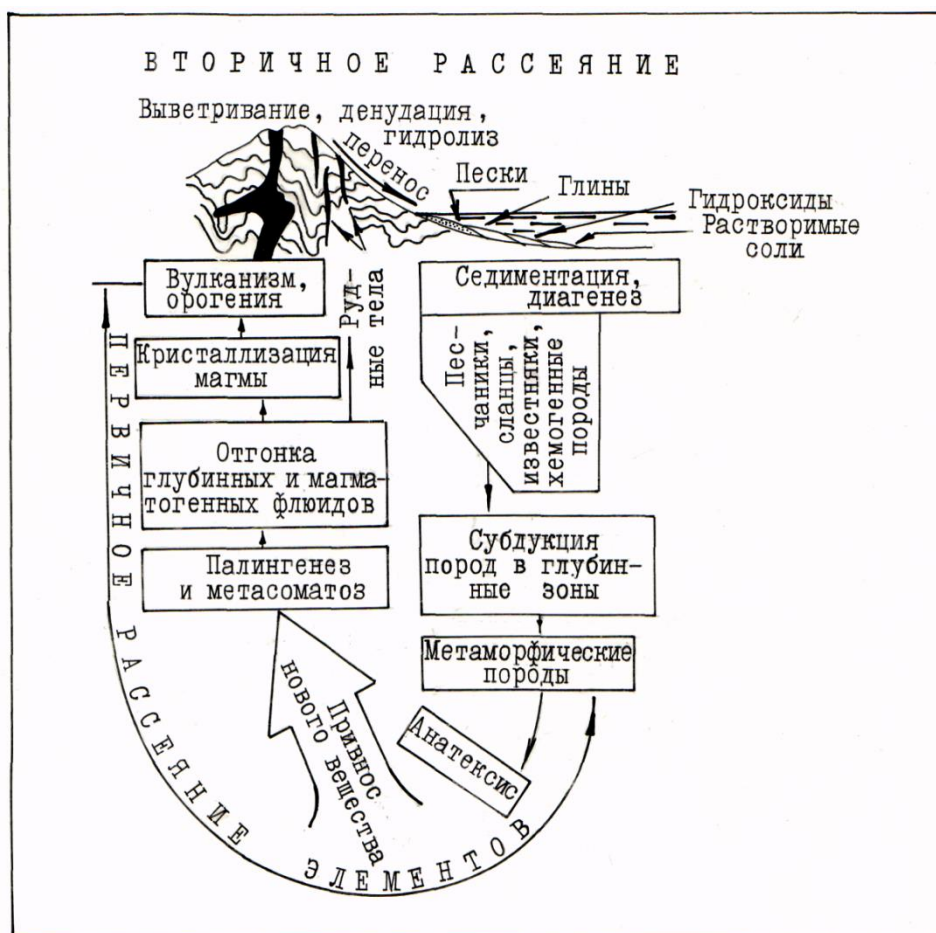


Схема большого геологического цикла миграции элементов земной коры

Большой цикл миграции элементов можно рассматривать с любой точки диаграммы. Допустим, что он начинается привносом магматических масс из глубинного очага. При их внедрении или палингенном преобразовании (т.е. расплавлении) вмещающей среды происходит дифференциация вещества, ведущая к формированию эндогенных месторождений. Последующие тектонические движения и денудация выводят образовавшиеся месторождения к дневной поверхности. При этом непрерывно проявляющимися процессами денудации создаются новые продукты выветривания: обломочные (пески, алевриты и пр.), различные соли. Этими же процессами в совокупности с гидролизом из алюмосиликатов образуются минералы глин. Названные продукты разрушения пород сносятся затем в бассейн седиментации, формируя осадочные породы и некоторые экзогенные месторождения, в частности, россыпи золота, платины, циркона, ванадиеносных сланцев, медистых песчаников, бокситов и др. В дальнейшем седиментные продукты, вовлекаясь в погружение, подвергаются метаморфизму, анатексису и палингенному плавлению.

Эндогенные и экзогенные месторождения, возникающие на второй стадии большого геологического цикла также могут быть подвергнуты метаморфизму, давая так называемые месторождения спорного генезиса.

Верхняя часть рассматриваемого цикла миграции элементов, т.е. поверхность суши, может быть названа *полем рассеяния* полезных ископаемых, хотя и здесь частично могут протекать процессы формирования месторождений некоторых типов (россыпных, зон вторичного сульфидного обогащения и ряда других). Однако, основным процессом, который преобладает на поверхности суши, является не образование, а, наоборот, *разрушение и ликвидация* месторождений полезных ископаемых.

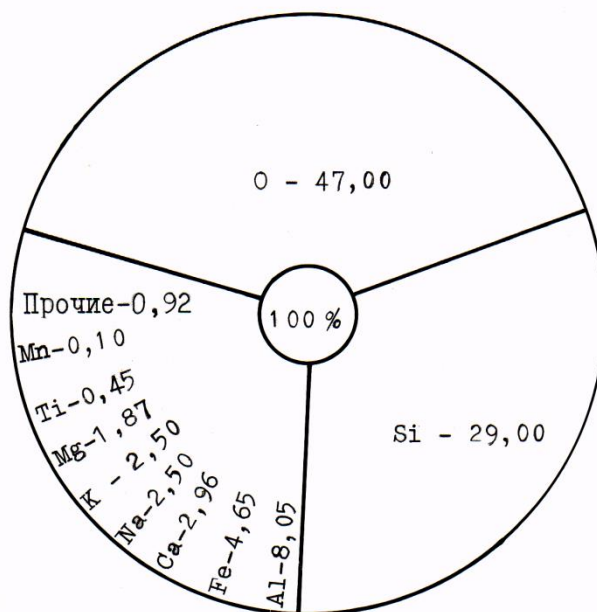
Таким образом, *область верхних горизонтов суши*, в которой протекают процессы денудации месторождений, *допустимо именовать полем рассеяния* элементов.

Многообразие форм существования элементов в природе

Содержание отдельных химических элементов в литосфере весьма неравномерно, а их виды и формы существования являются довольно многообразными.

Прежде всего, различают два следующие вида существования элементов:

- минеральный, т.е. в виде собственных минералов;
- безминеральный.



Средние содержания химических элементов в земной коре (По А.П. Виноградову)

Примером безминерального существования элементов является морская вода, в которой присутствуют в растворенном состоянии практически все химические элементы, и собственно минералом (жидким) является лишь H₂O.

Безминеральная форма существования элементов является менее распространенной в литосфере, но она играет значительную роль в

различных геологических процессах, а обмен элементами в биосфере Земли вообще осуществляется преимущественно в этой форме.

Основными видами безминерального сонахождения элементов являются следующие:

- *изоморфное вхождение элемента в решетку минерала-хозяина (изовалентный и гетеровалентный изоморфизм);*
- *присутствие элементов в виде субмикроскопических минералов-узников в других минералах;*
- *присутствие элементов в дефектах кристаллических решеток минералов;*
- *квазигазообразное, т.е. мнимогазообразное нахождение одного элемента в другом.*

Закон преобладания рассеянного состояния элементов над концентрированным

Считается, что химический элемент находится в *рассеянном состоянии*, если его содержание в опробуемой породе незначительно отличается от среднего содержания этого же элемента в земной коре, называемого *кларком*. Термин «кларк» введен в геохимию А.Е.Ферсманом. Это единица измерения содержания элемента названа в честь американского геохимика Ф.У. Кларка

Кларк химического элемента - это *количество данного элемента в определенной геохимической системе*, например, в земной коре или земном шаре, выраженное в процентах к общему весу, объему или количеству атомов этой системы.

Различают следующие виды кларков:

- *весовые, т.е. вес химического элемента, выраженный в процентах по отношению к общему весу всех атомов геохимической системы;*
- *объемные, под которыми понимается объем, занимаемый атомами интересующего нас элемента по отношению к общему объему атомов геохимической системы;*
- *атомные, т.е. количество атомов данного элемента, выраженное в процентах к общему числу атомов всех элементов геохимической системы (иногда - к числу атомов кремния, как наиболее распространенного элемента земной коры).*

Названные виды кларков систематически пересчитываются по мере совершенствования методов анализа минерального вещества. Их рассчитывают отдельно для литосферы, гидросферы и биосферы.

Подавляющее большинство сидерофильных элементов встречается в природе в *рассеянном состоянии*, что убедительно демонстрируется в таблице, составленной Н. И. Сафроновым.

Т а б л и ц а 1. Ресурсы металлов, заключенные в литосфере

Металл	Кларк в литосфере по А.П.Виноградову (1950), вес.%%	Ресурсы в 1 км ³ литосферы,	Размер месторождения
Fe	4,65	149 000 000	Среднее
Cu	$1 \cdot 10^{-3}$	27 000	— “ —
Pb	$1,6 \cdot 10^{-3}$	45 000	Мелкое
Zn	$5 \cdot 10^{-3}$	140 000	— “ —
Ni	$8 \cdot 10^{-3}$	224 000	Среднее
Co	$3 \cdot 10^{-3}$	83 000	Уникальное
Sn	$4 \cdot 10^{-3}$	112 000	Крупное
W	$1 \cdot 10^{-4}$	2 800	Мелкое
Mo	$3 \cdot 10^{-4}$	8 400	— “ —
Hg	$7 \cdot 10^{-6}$	195	— “ —
Au	$5 \cdot 10^{-7}$	14	Среднее

Кларк концентрации

Концентрированным считается такое существование элемента в геохимической системе, когда его содержание приближается к промышленному. В качестве показателя концентрации элемента используется понятие "кларк концентрации". Это отношение *среднего содержания* элемента в месторождении (C_p) или в любом минеральном теле к кларку этого элемента в земной коре (C):

$$K = C_p / C$$

Примером концентрированного существования элементов являются месторождения полезных ископаемых, в которых кларки концентрации достигают очень высоких значений (табл. 2).

Таким образом, современная горная промышленность требует высоких кларков концентрации, чтобы именовать содержание рудой.

Т а б л и ц а 2. Значения кларков концентрации элементов в некоторых рудных месторождениях

Химический элемент	Кларк C , %	Промышленное содержание элемента в рудах C_p , %	Кларк концентрации K_k
Fe	4,65	45,0	≈ 10
Pb	$1,6 \cdot 10^{-3}$	1,5	1000
Cu	$4,7 \cdot 10^{-3}$	1,0	200
Hg	$8,3 \cdot 10^{-6}$	0,2	24000

Если подсчитать ресурсы, например, меди в горных породах литосферы до глубины 1 км и ресурсы ее, заключенные во всех месторождениях земного шара, как в выработанных, разрабатываемых, так и тех, которые будут

обнаружены в будущем (цифра в последних принята в 40-250 раз больше, чем запасы известных и отработанных месторождений), то и в этом случае медь месторождений составляет 0,04%, тогда как 99,96% ее ресурсов заключено в литосфере. Для свинца это соотношение выражается цифрами 0,15% (запасы, сконцентрированные в месторождениях) и 99,85% (ресурсы литосферы).

Для некоторых других металлов соотношения запасов в месторождениях с ресурсами литосферы подсчитаны Н. И. Сафроновым. Они выражаются следующими цифрами (табл. 3):

Т а б л и ц а 3. *Доля запасов металлов, сконцентрированных в месторождениях по отношению к ресурсам литосферы*

Металлы	Ресурсы металла в земной коре под материками (площадь 149 млн. км ² , глубина 1 км), т		Доля запасов, сконцентрированная в месторождениях, %
	рассеянного в породах	сконцентрированного в месторождениях	
Fe	$2,1 \cdot 10^{16}$	$4,3 \cdot 10^{12}$	$2,1 \cdot 10^{-2}$
Zn	$2,1 \cdot 10^{13}$	$11,6 \cdot 10^9$	$5,5 \cdot 10^{-2}$
Ni	$3,3 \cdot 10^{13}$	$0,6 \cdot 10^9$	$1,8 \cdot 10^{-3}$
Co	$1,2 \cdot 10^{13}$	$52,5 \cdot 10^6$	$4,4 \cdot 10^{-1}$
Sn	$1,7 \cdot 10^{13}$	$0,5 \cdot 10^9$	$3,0 \cdot 10^{-3}$
W	$4,2 \cdot 10^{11}$	$0,1 \cdot 10^9$	$2,4 \cdot 10^{-2}$
Mo	$1,2 \cdot 10^{12}$	$0,1 \cdot 10^9$	$8,0 \cdot 10^{-3}$
Hg	$2,9 \cdot 10^{10}$	$37,0 \cdot 10^6$	$1,3 \cdot 10^{-5}$
Au	$2,1 \cdot 10^9$	$3,15 \cdot 10^6$	$1,5 \cdot 10^{-3}$

Из табл. 3 следует, что суммарные запасы большинства практически важных элементов, сосредоточенные в месторождениях составляют ничтожные доли ($n \times 10^{-2}$ — $n \times 10^{-5}$ %) от величины ресурсов этих же элементов, рассеянных в горных породах литосферы.

Таким образом, несомненно, что для металлических рудообразующих элементов существование в рассеянном состоянии в земной коре является более естественным, чем концентрированное. Не в меньшей мере это положение справедливо и для породообразующих элементов, т.к. абсолютные значения кларков концентрации этих элементов в их собственных месторождениях невелики. Это позволяет говорить о *всеобщем* рассеянии элементов в литосфере. Поскольку между литосферой и другими верхними оболочками Земли (гидросферой, биосферой и атмосферой) осуществляется постоянное взаимодействие, допустимо говорить также о *всеобщем* рассеянии химических элементов и в других геосферах.

Состояние рассеяния элементов в геосферах является их *естественным*, другими словами, *нормальным* состоянием. Появление же элементов в концентрированном виде считается *аномальным*, поскольку концентрация

элементов требует затраты дополнительной энергии, возникающей, чаще всего, в результате проявления геологических процессов. С этой точки зрения каждое *месторождение* полезного ископаемого *представляет* собою *геохимическую аномалию*. Заметим, однако, что из такого определения отнюдь не следует противоположное заключение о том, что каждая геохимическая аномалия есть месторождение.

Понятие "месторождение полезного ископаемого" является не геохимическим понятием, а геолого-экономическим, включая в себя ряд экономических факторов, таких как рентабельность отработки данного вида минерального сырья на современном уровне развития горнодобывающей техники, близость путей сообщения, наличие энергетических источников и т.д.

3-лекция. Общие принципы геохимических методов поисков. Условия применения геохимических методов поисков

Геохимические поиски полезных ископаемых, методы, основанные на исследовании закономерностей распределения химических элементов в литосфере, гидросфере, атмосфере и биосфере с целью обнаружения месторождений полезных ископаемых. Соответственно характеру вещества, исследуемому в геологопоисковых целях, различают литохимические, гидрохимические, атмохимические (газовые) и биогеохимические методы.

Местное среднее содержание химических элементов в горных породах, почвах, природных водах, в приземной атмосфере и растениях в удалении от месторождений характеризует т. н. геохимический фон (C_{ϕ}), близкий к цифрам кларков (См. Кларки) элементов. Вблизи залежей полезных ископаемых содержания химических элементов закономерно изменяются, образуя геохимические аномалии — признаки возможного нахождения промышленных месторождений. Эти аномалии представляют собой первичные и вторичные ореолы и потоки рассеяния вещества полезного ископаемого, возникающие в процессе образования месторождений или в результате последующей миграции химических элементов.

Геохимические ореолы месторождений значительно превышают размеры залежей и нередко приурочены к покрывающим породам, т. е. расположены вблизи поверхности, что облегчает их обнаружение и в благоприятных условиях определяет высокую эффективность геохимических поисков. Геохимические поиски проводятся систематическим определением содержаний химических элементов в пределах исследуемого района путём отбора проб по определённой поисковой сетке для последующего анализа их состава. В пробах определяют содержание химических элементов искомого полезного ископаемого — основных ценных компонентов залежи или их спутников. Более прогрессивны геохимические поиски, не требующие отбора проб (воздушные и автомобильные методы) с непрерывной автоматической

записью, или пешеходные с отсчётом показаний приборов в точках наблюдений.

Наиболее широко проводятся геохимические поиски рудных месторождений, важнейшее значение среди них имеет *литохимическая съёмка*, которая основана на массовом опробовании горных пород и продуктов их выветривания. С помощью этого метода открыты многие месторождения цветных, редких металлов и золота, в том числе находящиеся в скрытом залегании и недоступные для выявления обычными геологическими методами. Гидрохимический метод основан на исследовании состава природных поверхностных и подземных вод путём получения сухого остатка, соосаждения или экстракции рудных элементов с последующим спектральным или химическим анализом. При поисках сульфидных месторождений индикаторами оруденения могут служить пониженные значения pH и высокие содержания в водах сульфат-иона (SO_4). Геохимические поиски месторождений нефти и газа основаны на определении содержаний углеводородных газов в почвенном воздухе или в пробах горных пород.

Биогеохимический метод основан на исследовании химического состава растений, обычно путём их предварительного озоления и последующего спектрального анализа. Применение гидро- и биогеохимических методов целесообразно в условиях, неблагоприятных для проведения литохимических поисков.

В результате геохимических поисков составляются карты и графики содержаний элементов-индикаторов полезных ископаемых, по которым с учётом геологических и др. данных проводится интерпретация выявленных геохимических аномалий; среди них, как правило, только немногие отвечают промышленным месторождениям. Поэтому оценка геохимических аномалий требует тщательного анализа условий рассеяния и концентрации химических элементов на основе теоретических законов геохимии.

Эффективность геохимических поисков обеспечивается их совместным проведением с геологическими и геофизическими исследованиями, в сочетании с проходкой горных выработок и буровых скважин.

Основные регионально-геохимические понятия

Отдельные области, представляющие собой сравнительно крупные геологические регионы, значительно отличаются по геохимическим особенностям пород друг от друга и от среднего химического состава литосферы. Начало изучению геохимии и геохимической истории таких регионов положил А.Е. Ферсман.

Геохимические провинции представляют собой геохимически однородные области с определенными ассоциациями химических элементов, находящихся в повышенных концентрациях. Образование таких провинций является результатом исторического развития конкретного участка земной коры.

Происхождение некоторых провинций может быть связано с планетарной дифференциацией Земли, другие же могли образоваться при

дифференциации химических элементов в результате процессов осадконакопления, часто с последующим переплавлением осадочных пород. Несомненно, что на формирование определенных ассоциаций элементов в таких регионах влияют магматические и тектонические процессы.

«Большая советская энциклопедия»:

Геохимические провинции отдельные области и районы, характеризующиеся специфическим преобладанием одних химических элементов (в изверженных горных породах называется «специализацией» по тому или иному химическому элементу) и недостатком других. Проявляется в отклонении от соотношений средних содержаний химических элементов в земной коре: чем больше отклонение, тем контрастнее выражена данная геохимическая провинция и тем сильнее это сказывается на локализации в данной области месторождений определённых типов полезных ископаемых, на особенностях характерных почв, минерализации подземных и поверхностных вод, растительности и животного мира, вызывая иногда специфические заболевания растений и особенно животных.

«Горная энциклопедия»:

Геохимические провинции крупные геохимические однородные области с определенной ассоциацией элементов, близкие по размерам к металлогеническим, петрографическим, гидрогеологическим и другим провинциям.

Границы геохимической провинции нередко устанавливаются на основе тектонических, петрографических, металлогенических и других признаков. Так, на основе тектонических признаков выделяют геохимические провинции Балтийского щита, Алтае-Саянской складчатой области и т.д. Геохимическое своеобразие провинции в этом случае устанавливается специальными исследованиями, с помощью различных геохимических показателей (региональные кларки элементов, кларки концентрации, парагенные ассоциации элементов и др.). Реже геохимические провинции выделяются только по данным геохимических исследований. Характерная особенность ряда геохимических провинций — повышенная концентрация в них определенных "типоморфных" химических элементов, которая нередко прослеживается на протяжении всей геологической истории провинции.

Изучение геохимических провинций помогает решению ряда задач региональной геохимии. Зная специфику химического состава преобладающих элементов в данной Г. п., можно более целеустремлённо проектировать в данном районе геохимические поиски месторождений полезных ископаемых. Как правило, чем больше отклонений от «кларка» в сторону превышения, тем вероятнее нахождение месторождений данного элемента при условии, что соотношение других элементов не препятствует его концентрации. Рудоносные комплексы изверженных пород в отличие от нерудоносных характеризуются более неравномерным содержанием рудных элементов.

Металлогенические провинции - это области со значительным числом рудных месторождений, обладающих генетическим родством. Основы и

развитие металлогении как самостоятельной науки связаны с работами В.А. Обручева, А.Е. Ферсмана, С.С. Смирнова, Ю.А. Билибина, В.А. Кузнецова, Н.П. Лаверова, И.Г. Магакьяна, Е.А. Радкевич, В.И. Смирнова, Г.А. Твалчредидзе, Е.Т. Шаталова, А.Д. Щеглова и др.

В качестве примера металлогенических провинций можно рассмотреть районы хребта Каратау и Южно-Джунгарского антиклинория в Южном Казахстане, относящиеся к полиметаллическим провинциям. Широко известны медные металлогенические провинции в Перу и Чили, урановая - в пределах Канадского щита; можно говорить о медной провинции в Северном Прибалхашье.

«Большая советская энциклопедия»:

Металлогенические провинции совокупность Рудных месторождений, развитых в пределах крупных тектонических подразделений. Выделяются М. п. платформенных щитов, плит, подвижных-складчатых систем, передовых прогибов и срединных массивов. М. п. щитов характеризуются наличием м-ний п. и. метаморфич. основания, платформенного чехла и зон Активизации тектоно-магматической (напр., Украинский щит). М. п. платформенных плит подобны М. п. щитов, но отличаются от них сплошным развитием осадочного чехла, скрывающего складчато-метаморфическое основание (напр., центр. части Вост.-Европейской и Сибирской платформ). М. п. подвижных-складчатых систем отличаются поясовым распространением рудных м-ний, возникших на последоват. стадиях развития геосинклиналей (напр., М. п. Тихоокеанского, Средиземноморского, Урало-Монгольского и др. геосинклинальных поясов). М. п. передовых прогибов также имеют поясовое строение, но отличаются преобладанием Экзогенных месторождений п. и.

Довольно часто металлогеническая провинция находится в пределах геохимической, для которой характерно повышенное содержание элементов, являющихся основными компонентами руд металлогенической провинции. Так, отмечается четкая приуроченность оловянных месторождений в Юго-Восточной Азии и Андах к геохимическим провинциям с повышенным содержанием. Аналогичная картина наблюдается для Каратауской и Джунгарской полиметаллических провинций, а также для ряда урановых металлогенических провинций. В связи с частой приуроченностью металлогенических провинций к геохимическим последние могут служить важным поисковым признаком при поисковых работах в труднодоступных, плохо изученных районах.

Начало выделения щитов, поясов, узлов как региональных геохимических систем также связано с работами А.Е. Ферсмана.

Геохимические щиты - это устойчивые древние платформы с резким преобладанием собственно магматических горных пород. По геохимическому комплексу они соответствуют глубинным образованиям. Для них характерны повышенные содержания следующих элементов и соединений: SiO_2 , Fe, Ta, U, F, P, Ti, Au.

Геохимические пояса представляют собой тектонически подвижные области, примыкающие непосредственно к щитам. Развиваясь по ослабленным орогеническим зонам, расположенным между щитами в пределах подвижных областей, пояса являются районами интенсивной геохимической миграции. Для них характерно развитие магматических образований и связанных с ними разнообразных жильных месторождений. Специфическими элементами геохимических поясов являются Pb, Cr, Ni, Fe, Cu, S, Be, Li, Sn, F, Zn.

Геохимические узлы - это районы, испытавшие наложение нескольких геохимических циклов. Для них характерны многоэтапные процессы минералообразования и омоложения месторождений. Комплекс элементов, типичный для геохимических узлов, довольно обширен, а концентрация элементов привела к образованию в пределах узлов месторождений различных типов.

«Большая советская энциклопедия»:

Геохимические узлы - это области пересечения двух разнородных геохимических систем. Например, пересечение специфической фации осадочных пород типа медистых песчаников с наложенными эндогенными процессами вдоль более поздних тектонических нарушений. В результате наложения геохимических процессов в Г. у. происходит усиленная миграция химических элементов с необычными их сочетаниями и аномальными концентрациями, что приводит к образованию комплексных месторождений, заключающих группу полезных ископаемых. Термин «Г. у.» предложен А. Е. Ферсманом в 1931.

Геохимические эпохи представляют собой периоды специфической концентрации определенных элементов (их групп). Основы учения об изменении особенностей миграции и концентрации элементов на протяжении геологической истории Земли были заложены А. Е. Ферсманом. Позже было установлено, что периоды специфической миграции и концентрации элементов в одних случаях были характерны для всей земной коры, в других случаях их проявление было локальным. Примером «глобальной» геохимической эпохи может служить средний докембрий - период повсеместного осаждения железных руд. Концентрацию металлов в определенный период на локальном участке иллюстрирует накопление свинца и цинка в осадочных толщах хребта Каратау в период, продолжавшийся с позднедевонского времени до раннекаменноугольного.

«Горная энциклопедия»

Геохимические эпохи этапы геологической истории, для которых характерно накопление отдельных элементов или их сочетаний.

Понятие геохимических эпох введено [А. Е. Ферсманом](#) (1934). Для проявления геохимического своеобразия отдельных отрезков геологической истории определяющее значение имеет единство на значительной территории и в течение данных интервалов времени определенных физико-химических условий и типов тектонических процессов, обуславливающих особенности миграции химических элементов. Особый интерес

представляют те геохимические эпохи, в которые происходило накопление определенных элементов с формированием содержащих их рудных тел, месторождений или целых рудоносных провинций.

Геохимическое поле и его параметры

Геохимическое поле – часть геологического пространства, охарактеризованное содержаниями химических элементов (C_x) или их соединений, как функциями пространственных координат и времени:

$$C_x = f(x, y, z, T) > 0 \quad (1)$$

Термин введен П.К. Соболевским в 1932 г. по аналогии с физическими полями Земли.

Направление ортогональных осей координат обычно принимается: x – на север (или вкост залежи), y – на восток (или по простиранию), z – на глубину по нормали к горизонтальной плоскости (или по падению залежи).

Согласно закону В.И. Вернадского, в любой точке пространства, доступной для наблюдения, в том или ином количестве содержатся все химические элементы, но содержание элемента составляет менее 100%. Поэтому для любого элемента в этой точке справедливо следующее выражение:

$$0\% < C_x < 100\% \quad (2)$$

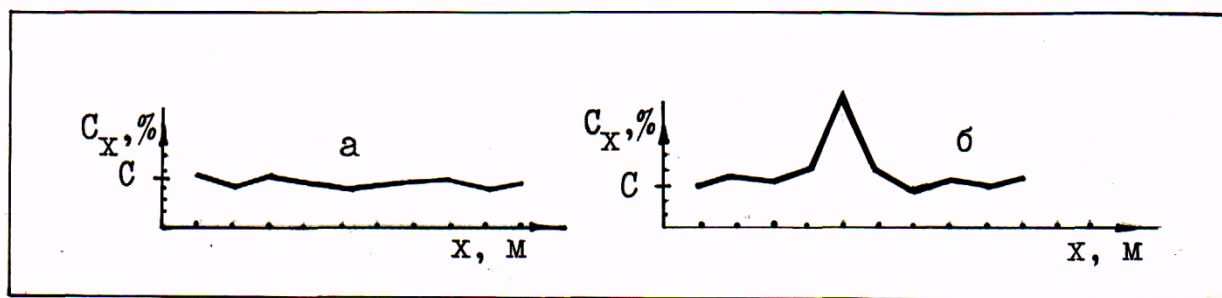
Однако, в практике работ график содержания интересующего нас элемента в породах любого участка выражается не в четырехмерном пространстве, как это отражено в формуле (1), в одномерном исходя из следующих допущений:

- проба, предназначенная для определения интересующего нас элемента, отбирается, как правила, с одной и той же глубины ($Z = \text{const}$);
- считается, что содержание определяемого элемента в той же точке для относительно короткого промежутка времени является постоянным ($T = \text{const}$);
- отбор проб осуществляется вкост простирания геологического объекта, а в этом случае ось Y , направленная по простиранию опробуемого объекта, также имеет нулевое значение ($Y = 0$).

В конечном виде функция или формула (1) имеет следующий вид:

$$C_x = f(x) \quad (3)$$

График содержания элемента по профилю опробования, построенной на основании результатов анализа проб, может иметь в этом случае двух видов:



Пример обычного (а) и аномального (б) содержания химического элемента.
 C – уровень содержания соответствующего кларку.

Месторождения полезных ископаемых и геохимические ореолы

Месторождения полезных ископаемых - это участки земной коры, минеральное вещество которых по количеству, качеству и условиям залегания, при данной экономической конъюнктуре пригодно для промышленного использования. Все месторождения несколько условно можно разделить на четыре группы: *рудные (металлические)*, *нерудные (неметаллические)*, *горючие (каустобиолиты)*, *гидроминеральные*. В первой группе промышленную ценность представляют рудные элементы, находящиеся в основном в минеральной и изоморфной формах; во второй - сами минералы; в третьей - сложные органические соединения элементов, находящихся в форме газовых смесей и минералов (твердых и жидких); в четвертой - водные растворы многих элементов.

Поиски геохимическими методами в основном ведутся для выявления рудных месторождений, реже с помощью этих методов проводятся поиски месторождений трех остальных групп. Рудные месторождения по масштабу запасов были разделены В.И. Красниковым (1965) на *мелкие, средние, крупные* и *уникальные*.

Е.М. Квятковский предложил выделять также и *феноменальные* месторождения, которые по запасам на порядок больше уникальных. Расчеты В.И. Красникова показали, что хотя крупные месторождения составляют всего от 2 до 13% всех месторождений, на их долю приходится от 36 до 91% учтенных запасов различных элементов. В связи с этим можно считать, что в новых районах существенное значение имеет выявление только крупных и уникальных месторождений, тогда как в старых рудных районах часто важным является открытие даже отдельных рудных тел. Это в конечном счете во многом определяет выбор масштаба геохимических исследований.

Работы Н.И. Сафронова, Л.Н. Овчинникова, Е.М. Квятковского и других геохимиков показали, что существует определенная связь между концентрацией и запасами элементов в рудах и средним содержанием этих элементов в земной коре, которое по предложению А.Е. Ферсмана было названо *кларком*. В настоящее время установлены значения средних содержаний элементов не только в земной коре, но и в различных типах магматических и осадочных пород. Несмотря на довольно большие колебания в распределении элементов в различных типах пород, эти

элементы (их соединения) пока не добываются из-за низкой (непромышленной) концентрации даже из наиболее обогащенных неизменных типов пород. Следовательно, для образования месторождений всегда необходимо наличие процессов, приводящих на определенном участке земной коры к концентрации ряда элементов. Обычно такая концентрация происходит на *геохимических барьерах* при уменьшении интенсивности миграции элементов.

Первичные геохимические ореолы

При образовании тел полезных ископаемых в результате концентрации группы элементов на геохимических барьерах часть элементов (их соединений) прекращает миграцию с первыми изменениями геохимических условий, другие концентрируются непосредственно в пределах границы различных геохимических обстановок, некоторые элементы отлагаются несколько дальше от основной рудной зоны по направлению миграции. Участки с наибольшей концентрацией определенных элементов могут представлять собой тела различных полезных ископаемых. Повышенные (но непромышленные) концентрации элементов (их соединений), окружающие эти тела, создают ***первичные геохимические ореолы***.

Название «первичные» отражает одновременность и общность процессов образования и тел полезных ископаемых, и окружающих их ореолов. По особенностям образования такие ореолы являются ореолами концентрации. Основные элементы в первичных ореолах могут находиться в минеральной и изоморфной формах, а также в виде растворов и газовых смесей.

Вторичные геохимические ореолы

При разрушении месторождений в результате миграции основных компонентов по направлению от тел полезных ископаемых происходит образование ореолов, получивших название вторичных ореолов рассеяния. Химические элементы в них могут находиться в минеральной, биогенной и изоморфной формах, а также в виде растворов и газовых смесей.

Для количественной характеристики геохимических ореолов А.А. Сауковым введено понятие о среднем *коэффициенте аномальности элемента* в пределах ореола (K), представляющем отношение концентрации рассматриваемого элемента в пределах ореола (C_a) к концентрации его за пределами ореола, т.е. к местному геохимическому фону (C_f). Использование этой величины практически оправдано только при очень высоких (значительно превышающих аномальное содержание для единичных проб) содержаниях элемента в ореоле.

К *геохимическим индикаторам* относятся элементы (их соединения), по изменению особенностей распределения которых в различных геологических объектах ведутся поиски полезных ископаемых геохимическими методами. Индикаторы, которые соответствуют основным элементам, слагающим полезное ископаемое, называют *прямыми*. Геохимические индикаторы, являющиеся «спутниками» полезных компонентов, называются *косвенными индикаторами*. Ими могут быть и широко распространенные

породообразующие (литофильные) элементы, например кремний, геохимические ореолы которого в десятки, а иногда и в сотни раз превышают размеры тел полезных ископаемых.

При использовании в поисковых целях косвенных литофильных элементов-индикаторов следует обращать внимание и на минералы, образуемые данными элементами. В этом случае происходит переплетение собственно геохимических поисковых методов с минералогическими.

Такие комплексные исследования могут не только способствовать открытию новых тел, но и позволяют дать оценку уровню их эрозионного среза. Примером может служить изучение геохимических ореолов кремния на полиметаллических месторождениях Джунгарского Алатау. По размерам эти ореолы в 2 – 5 раз превосходят рудные тела, что позволяет широко использовать их при поисках месторождений, а по составу кремний-содержащих минералов в ореоле можно определить уровень эрозионного среза: верхние части рудных тел приурочены к серпентинизированным доломитам, а нижние к окварцованным. Косвенными геохимическими индикаторами гидротермальных месторождений могут быть вода и целый ряд газов, законсервированных в минералах в виде включений. Их повышенное (а иногда резко пониженное) содержание в минералах горных пород позволяет в ряде случаев судить об относительной удаленности точки отбора пробы от тела полезного ископаемого.

Поисковые критерии - это факторы, позволяющие судить по прошедшим в данном районе геологическим и геохимическим процессам о возможной концентрации элементов и о нахождении в районе месторождений определенного типа. Выявляют их обычно при геологических съемках, предшествующих проведению геохимических поисков.

Среди поисковых критериев выделяют *универсальные*, проявляющиеся повсеместно, но менее конкретные, и *местные*, характерные для определенной территории и, как правило, более достоверные. Многочисленные факторы, определяющие локализацию месторождений, обычно объединяют в шесть основных групп: магматогенные, структурные, стратиграфические, литолого-фациальные, геоморфологические и собственно геохимические. В зависимости от особенностей геологического строения района и предполагаемого типа месторождения наиболее важной становится то одна, то другая группа критериев.

При выделении перспективных районов необходимо учитывать несколько поисковых критериев, как универсальных, так и местных. Поиски стратифицированных рудных месторождений ведутся с учетом стратиграфических и литологофациальных критериев, при поисках россыпных месторождений основными становятся геоморфологические критерии, а титано-магнетитовых и платиновых месторождений в коренных породах – магматические.

В самом определении поисковых критериев заложена мысль о том, что исследователь имеет дело с факторами, благоприятными для возникновения

месторождений. Но несмотря на сравнительно часто встречающиеся благоприятные критерии месторождений обнаруживается сравнительно мало, тем не менее поиски их ведутся на огромных территориях. В связи с этим все острее встает вопрос о разработке более эффективных факторов, в частности отрицательных поисковых критериев и в первую очередь отрицательных геохимических критериев. Правильно сделанная «отрицательная оценка» определенной площади несомненно ценнее проектирования поисковых работ на безрудных участках.

Поисковые признаки

Поисковые критерии позволяют сделать при сравнении рассматриваемого района с аналогичными, но уже детально изученными районами предположение о возможности (или невозможности) образования на его территории месторождений определенного типа.

Есть целый ряд факторов, указывающих на присутствие месторождений. Эти факторы и получили название *поисковых признаков*. Их делят на *прямые*, непосредственно указывающие на наличие оруденения, и *косвенные*, свидетельствующие лишь о возможности наличия оруденения. К прямым поисковым признакам относятся рудные выходы, старые выработки с остатками рудного материала и геохимические ореолы рассеяния рудного вещества. Косвенными поисковыми признаками служат околорудные изменения пород, косвенные элементы- и минералы-индикаторы, ботанические признаки, геоморфологические особенности, археологические находки, названия мест, часть геохимических аномалий, представляющих ореолы косвенных элементов-индикаторов, и геофизические аномалии. В отдельных случаях геофизические аномалии становятся прямыми поисковыми признаками.

4-лекция. Основные закономерности миграции элементов в Земной коре

Миграция химических элементов – перемещение и перераспределение химических элементов в земной коре, ведущее к рассеянию или концентрации.

Все вещество природы и составляющие ее атомы химических элементов находятся в непрерывном и закономерном движении, перемещении, перегруппировке и перераспределении в результате различных геохимических и космохимических процессов.

Термин «*миграция химических элементов*» был введен в геохимию А.Е.Ферсманом (1923 г.). Под ним он подразумевал *комплекс процессов*, определяющих перемещение химических элементов в земной коре и ведущих, обычно, к их *рассеянию* или *концентрации*.

Распределение и перемещение химических элементов в земной коре во многом определяются особенностями их строения, формой нахождения, а также комплексом внешних условий, в которых содержатся рассматриваемые

элементы (их соединения). Учет этих факторов при проведении поисков месторождений полезных ископаемых геохимическими методами дает возможность более точно установить историю и пути миграции рассматриваемых элементов, что несомненно увеличивает эффективность поисковых работ. В связи с этим кратко рассмотрим влияние указанных факторов на миграцию элементов.

Формы нахождения элементов в земной коре

Элементы в земной коре образуют системы относительно устойчивых химических равновесий. Группы таких систем получили название форм нахождения химических элементов. Знание особенностей поведения элементов в различных формах способствует увеличению достоверности поисковых прогнозов.

В.И. Вернадский объединил основные формы нахождения химических элементов следующим образом: 1) горные породы и минералы (в эту же группу попали природные воды и газы); 2) живое вещество; 3) магматический расплав; 4) рассеяние. Е.М. Квятковский предложил рассматривать формы нахождения элементов, выделяя минеральный, безминеральный, концентрированный и рассеянный виды. Однако при проведении геохимических поисков часто бывает необходимым их более детальное разделение. Кроме того, все чаще поиски приходится проводить в освоенных районах, где многие химические элементы находятся в виде техногенных соединений, не имеющих природных аналогов. В.А. Алексеев (1988) было предложено выделять такие соединения в самостоятельную форму. Вместе с ней при проведении поисковых работ обычно необходимо учитывать девять важнейших форм нахождения элементов в земной коре.

1. Самостоятельные минеральные виды - это важнейшая для литосферы форма существования химических элементов. Элементы, находясь в этой форме, мигрируют совместно в постоянном соотношении между собой. Миграция отдельных элементов, составляющих минералы, возможна только после разрушения последних.

К минеральной форме нахождения элементов отнесено и сравнительно небольшое количество коллоидных систем с твердой дисперсной средой.

2. Изоморфные смеси в минералах представляют собой закономерное замещение аналогичных элементов друг другом в кристаллических решетках. В этой форме могут находиться практически все известные элементы, а для части их (Rb, Te, Pг, Nd, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tu, Lu, Hf, Re) она является в литосфере преимущественной.

Элементы, образующие изоморфные примеси, мигрируют только совместно с минералом-хозяином. Это сближает изоморфную и минеральную формы нахождения элементов. Следует отметить, что элементный состав и концентрация изоморфных примесей часто позволяют дать уточненную геохимическую характеристику среды, в которой происходило образование минерала-хозяина. Следовательно, изучение

изоморфных примесей позволяет проводить геохимические поиски более целенаправленно.

3. Биогенная форма включает в себя нахождение элементов в животных и растительных организмах. Впервые она была рассмотрена В.И. Вернадским при изучении биосферы. Несмотря на сравнительно небольшое содержание живых организмов в земной коре, без учета их деятельности невозможно правильно представить геохимические процессы, протекающие на поверхности Земли (в том числе процессы формирования вторичных геохимических ореолов). Особо отмечая это, В.И. Вернадский писал: «...живое вещество в биосфере играет основную активную роль и по своей мощности ни с чем, ни с какой геологической силой не может даже быть сравнимо по своей интенсивности и направленности во времени».

В живых организмах выявлены уже почти все известные элементы. Большой материал (в связи с биогеохимическими поисками) накоплен по особенностям распределения элементов в растениях, где они встречаются в виде сложных органических соединений, находятся в водных растворах, образуют самостоятельные минеральные виды.

Многие металлы, реагируя с природными органическими кислотами, образуют соединения, которые в последнее время стали учитываться при проведении геохимических поисков.

4. Водные растворы составляют отдельную оболочку Земли, называемую *гидросферой*. Основная часть их приходится на долю Мирового океана, меньшая - на поверхностные и подземные воды континентов. К ним относятся и гидротермы различного происхождения. При геохимических поисках основное внимание уделяется подземным и реже поверхностным водам континентов, в которых элементы могут находиться в виде ионов, молекул, органических комплексных соединений.

Основная часть элементов в связи с процессами диссоциации в растворах представлена анионами и катионами. Анионы в основном комплексные, а катионы бывают связаны с молекулами воды. Распад на ионы наблюдается при растворении в воде веществ с ионной, металлической и ковалентной связью. Перемещение ионов в водных растворах зависит от электростатических (кристаллизационных) свойств, а также обуславливается изменениями, происходящими с растворами, и реакциями рассматриваемых ионов с другими веществами, находящимися (поступающими) в растворе.

5. Газовые смеси составляют верхнюю оболочку Земли - *атмосферу*. Значительное количество газов находится в пустотах и полостях осадочных и магматических пород почв в сорбированном состоянии, в виде включений в минералах. Газы принимают активное участие в гипергенных и гипогенных геохимических процессах.

Постоянными компонентами атмосферного воздуха являются N_2 , O_2 , CO_2 , Ar , Ne , Kr , He , H_2 , CH_4 , H_2O . На газовых и нефтяных месторождениях преобладают газы CO_2 , CH_4 , Ar , N_2 , He , H_2 , H_2S , на каменноугольных месторождениях - CH_4 , C_2H_6 , C_3H_8 , H_2 , CO_2 , N_2 ; в водах морей и современных осадков кроме обычных углеводородов обнаружены

H₂S, NH₄, N₂, CO₂, благородные газы; среди газов магматических пород - углеводороды, N₂, CO₂, H₂, Ar; из вулканических газов - HCl, SO₂, H₂S, CO₂, H₂, Cl₂, N₂, Ar, S₂, SO₃, H₂O, CH₄, CO.

подавляющее большинство газов находится в виде молекул, однако в верхних слоях атмосферы встречаются атомы и ионы.

6. Коллоидная и сорбированная формы довольно широко распространены в верхних оболочках Земли. В пределах ее отдельных участков они определяют многие закономерности распределения химических элементов. Учет этих закономерностей необходим при проведении поисков месторождений полезных ископаемых геохимическими методами. В связи с этим В.А. Алексеев было предложено (1989) коллоиды и сорбированные ими вещества рассматривать при геохимических поисках как отдельную форму нахождения химических элементов в природе.

Коллоиды широко распространены в океанических и континентальных водах, в атмосфере и на суше. А.И. Перельман писал: «Наиболее важные составные части ландшафта, определяющие его своеобразие, или находятся в коллоидном состоянии, или в процессе своего образования прошли через коллоидное состояние». В природе образование коллоидов происходит двумя основными способами: дисперсионным (при разрушении в основном кристаллического вещества) и конденсационным (при соединении молекулярных частиц до коллоидных размеров).

7. Техногенные соединения, не имеющие природных аналогов, получают все большее распространение в самых различных регионах, чаще всего встречаясь в почвах, донных отложениях и водах. Особенно много их в энергично осваиваемых районах, к которым в первую очередь следует относить различные сельскохозяйственные угодья и участки вблизи крупных промышленных комбинатов. Рассматриваемая форма нахождения элементов включает различные искусственные полимеры, пластмассы, сплавы металлов, пестициды, гербициды, поверхностно-активные вещества и т.д. К ней же следует относить соединения (и элементы в самородном состоянии), вообще встречающиеся в природе, но не образующиеся природным путем в тех конкретных условиях, где они были выявлены.

8. Магматические расплавы - это сложные, изменчивые (в связи с изменением термодинамических условий), насыщенные газами системы. Состояние элементов в них до сих пор является проблематичным. Роль магматических расплавов в распределении и перераспределении элементов в земной коре очень велика, и поэтому рассмотрение гипотез о состоянии в них элементов представляет интерес. Первое представление о магме было как о расплаве, состоящем из оксидов, но уже в 1935 г. Ф.Ю. Левинсон-Лессинг писал, что в магме находятся «комплексы, соответствующие будущим минералам».

9. Состояние рассеяния впервые описано В.И. Вернадским (1909). Оно представляет особую форму нахождения химических элементов земной коры и, по-видимому, связано с расположением атомов в «пустых» пространствах кристаллических решеток. Благоприятствует чрезвычайному

рассеянию атмосфера: газ, попавший в смесь других газов, полностью в ней растворяется. Содержание элементов в состоянии рассеяния достигает 10^{-12} - $10^{-15}\%$, а пределом рассеяния можно считать нахождение 1 атома в 1 см^3 вещества. Для ряда элементов (йода, ксенона, радона и др.) это состояние является обычным.

Рассматривая формы нахождения элементов в земной коре, следует помнить, что в природе часто встречаются не нейтральные атомы, а ионы. Число ионов, принимающих участие в геохимических процессах, превышает число элементов и доходит до 150. А каждый ион, по В.И. Вернадскому, должен рассматриваться в процессах миграции как «особый химический элемент».

Основные факторы миграции элементов в земной коре **ТИПЫ И ВИДЫ МИГРАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Связывая перемещение элементов с формами их нахождения, можно выделить три основных типа миграции.

- **Первый тип миграции** представляет изменение формы нахождения элементов без их значительного перемещения, например переход элемента из минеральной формы в водные растворы. Для характеристики этого типа миграции можно использовать коэффициенты перехода элементов из одной формы в другую. Впервые такой коэффициент был введен Б.Б. Полюновым для биогенной формы: $K=P/\Pi$, где K - коэффициент биологического поглощения; P - содержание элемента в золе растения; Π - содержание этого же элемента в почвах (породах), на которых произрастает растение.

- **Второй тип миграции** представляет собой перемещение элемента без изменения формы его нахождения. Примерами такого типа может служить перемещение обломков минералов в поверхностных водах или перемещение элементов, находящихся в растворе, при движении поверхностных и подземных вод.

- **Третий тип миграции** объединяет два предыдущих и состоит в перемещении элементов с изменением форм их нахождения, например перемещение элементов в подземных водах, растворяющих минералы на месторождениях; переход из минеральной формы в биогенную при мощном чехле рыхлых отложений и т.д.

А.И. Перельман (1979) выделил четыре основных вида миграции химических элементов: механическую; физико-химическую; биогенную; техногенную, связанную с социальными процессами.

При рассмотрении миграции элементов необходимо установить причины, обуславливающие этот процесс, так как их различные комбинации могут привести к усиленной миграции одних элементов и концентрации других в пределах даже небольшого участка. Без знания причин миграции элементов часто невозможно объяснить образование повышенных содержаний элементов в горных породах, почвах, водах и растениях, а значит, и эффективно провести геохимические поиски. Все причины миграции А.Е. Ферсман условно разделил на **внутренние**, связанные со

свойствами атомов и их соединений, и *внешние*, определяющие обстановку миграции.

Геохимические классификации элементов

Геохимические классификации отражают особенности поведения элементов участвовать в различных природных процессах и определяются их химическими свойствами и положением в периодической таблице Д.И. Менделеева. Общеприняты классификации В.И. Вернадского и В.М. Гольдшмидта.

Классификация В.И. Вернадского основана на способности химических элементов участвовать в различных природных процессах, в частности в циклических в биосфере. Все элементы разделены на 6 групп.

1. Благородные (инертные) газы, не участвующие в главных земных химических процессах и только в исключительных случаях дающие соединения с другими атомами.

2. Благородные металлы. Эти элементы почти не образуют соединений в земной коре, а их соединения, главным образом сплавы, образуются в термодинамических условиях, резко отличных от условий биосферы.

3. Циклические или органогенные элементы. Этим элементам свойственны многочисленные обратимые химические процессы – каждый элемент дает характерные для определенной геосферы постоянно изменяющиеся соединения.

4. Рассеянные элементы. Среди элементов группы преобладают свободные атомы и небольшая часть циклических элементов (эти элементы отличаются отсутствием или редкостью химических соединений).

5. Сильнорадиоактивные элементы. Для них характерно неполное обращение в круговых процессах в связи с тем, что часть их атомов теряется в результате радиоактивного распада.

6. Редкоземельные элементы.

Классификация В.М. Гольдшмидта основана на физико-химических принципах распределения элементов в различных типах природных соединений. Эталонным является распределение элементов в минеральной ассоциации метеоритов, представленной металлическим железом, сульфидом железа, силикатами и оксидами.

Первую группу составляют *сидерофильные элементы*, у которых свободная энергия образования оксидов и сульфидов меньше (по абсолютной величине) энергии образования закиси и сульфида железа. Эти элементы накапливаются в металлической фазе метеоритов и, вероятно, в предполагаемом железном ядре Земли.

Вторая группа представлена *литофильными элементами* с более высокими, чем у железа, величинами свободной энергии образования оксидов. Эти элементы концентрируются в силикатной фазе метеоритов, мантии и коре Земли, образуя оксиды, кислородные соли и, главным образом, силикаты.

Третья группа включает *халькофильные элементы*, концентрирующиеся в сульфидной фазе метеоритов в присутствии избытка металлического железа.

Несколько иное распределение элементов между сульфидами и силикатами наблюдается в условиях коры и мантии Земли в отсутствие избытка металлического железа. На этом основании выделяются две разные подгруппы халькофильных элементов, т.е. элементов, имеющих тенденцию концентрироваться в сульфидных рудах. Железо служит реперным элементом, по отношению к которому рассматривается распределение остальных элементов, и не относится ни к одной из этих групп (или принадлежит ко всем трем группам).

В качестве четвертой группы выделяются *атмофильные элементы*, которые в свободном состоянии или в форме летучих соединений концентрируются в газовой оболочке Земли.

В пятую группы объединены *биофильные элементы*, которые концентрируются либо в живых организмах, либо в продуктах их жизнедеятельности.

В соответствии с положениями В.И. Вернадского о состоянии рассеяния в любом природном объекте содержатся все химические элементы. Однако довольно часто на отдельных участках земной коры в коренных породах, почвах, растениях, водах, атмосфере ряд элементов накапливается совместно. В таких случаях обычно говорят об «ассоциациях элементов, находящихся в повышенных концентрациях», или просто об «ассоциациях элементов», подразумевая при этом, что их содержание превышает обычное, характерное для изучаемых объектов.

Совместное накопление элементов может объясняться общностью условий миграции, обусловленных внутренними и внешними факторами. В тех случаях, когда на концентрацию определенных элементов решающее влияние оказывают сходные внутренние факторы, ассоциации элементов, находящихся в повышенных содержаниях, сохраняются в широком диапазоне различных геологических и ландшафтно-геохимических условий.

Так, устойчивы ассоциации: U—Pb—He, Th—Pb—He, K—Ar, образование которых связано с радиоактивным распадом. Если же на образование ассоциаций основное влияние оказывают внешние факторы, совместное нахождение элементов ограничено комплексом определенных условий. Ассоциация Au—Cu—As—Pb—Zn—Fe типична только для золотосульфидных руд, при выветривании которых могут возникнуть новые ассоциации: Au—As—Fe, Si—As—Zn—Au—Fe и т.д.

Своеобразные ассоциации химических элементов характерны для *техногенных геохимических аномалий*. Их детальное изучение позволило В.А. Алексеенко сформулировать следующий закон: «ассоциации химических элементов, образующих крупные техногенные геохимические аномалии, определяются в основном уровнем развития науки и техники в период загрязнения». Так как ассоциации химических элементов можно

использовать как один из признаков, по которым природные аномалии можно отличать от техногенных, рассмотрим ассоциации химических элементов в техногенных аномалиях. Обычно в аномалиях, сформированных в настоящее время, они представлены Pb, Zn, Cu, Mo, Ni, V, Co, Ba, Mn, Ti, Cr, Fe. В техногенных аномалиях эти элементы (их соединения) часто называют загрязняющими веществами.

Наиболее часто при геохимических исследованиях приходится иметь дело с ассоциациями элементов, составляющих минералы, а следовательно, и с ассоциациями минералов, слагающих магматические, метаморфические и осадочные горные породы, гипергенные образования, различного типа месторождения и ореолы рассеяния. Совместная концентрация элементов в горных породах отражена в геохимических классификациях химических элементов В.И. Вернадского, В.М. Гольдшмидта, А.Е. Ферсмана, А.И. Заварицкого. Наличие ряда элементов конкретной ассоциации в соответствующей ландшафтно-геохимической и геологической обстановке свидетельствует о возможном присутствии и других элементов.

Современный уровень геохимических поисков требует знания и ассоциаций элементов-примесей, находящихся в повышенных содержаниях в минералах-хозяевах. Образование одной части элементов-примесей объясняется законами изоморфного замещения. Образование второй части, представляющей собой механическую примесь в минералах, можно объяснить неполным разделением веществ по миграционной способности. А.А. Сауков (1966) пишет:

«Любой минерал, представляя собою концентрацию атомов, образующих основу минерала, будет также содержать и все другие атомы, которые содержались в исходном субстрате — магматическом расплаве, флюиде или растворе».

Применение гидрогеохимического метода поисков рудных месторождений предполагает знание ассоциации элементов, находящихся в повышенных содержаниях в водах в пределах месторождений различного типа.

На месторождениях почти всех типов встречаются в повышенных содержаниях Cu, Zn, Mo, являющиеся «проходящими» металлами. Их содержание не свидетельствует об оруденении, только значительная концентрация этих элементов может иметь поисковое значение. Среди элементов рассматриваемых ассоциаций значительная часть представлена прямыми индикаторами. Однако часто большей «поисковой значимостью» обладают находящиеся в этой же ассоциации косвенные элементы-индикаторы. Так, одним из лучших гидрогеохимических индикаторов полиметаллического оруденения является кадмий. Гидрогеохимические поиски кимберлитовых трубок могут вестись по повышенным концентрациям Zn, Ni, Co, Cr, V, Ga и Cu.

Особое место занимают ассоциации элементов, вызванные биогеохимическими процессами. Их образование, с одной стороны, обусловлено физиологическими потребностями живой материи, а с другой -

химическим составом окружающей (и питающей) среды. С изменением состава окружающей среды (коренных пород и почв) изменяется содержание в растениях металлов. Особенно резкие изменения происходят над месторождениями. Работы многих исследователей позволили предварительно выделить специфические ассоциации основных элементов, находящихся в повышенных содержаниях в золе растений над различными типами месторождений.

Вопросы для самоподготовки:

1. Что такое миграция химических элементов?
2. В каких формах осуществляется миграция химических элементов в земных условиях?
3. Какие существуют типы миграции химических элементов?
4. Что такое «форма нахождения элементов»?
5. Какие формы нахождения элементов Вам известны и коротко их охарактеризуйте?
6. Охарактеризуйте биогенную форму нахождения элементов?
7. Охарактеризуйте состояние рассеяния.
8. Что отражает геохимическая классификация?
9. Охарактеризуйте классификацию Вернадского.
9. Охарактеризуйте классификацию Гольдшмидта.
10. Что такое геохимическая ассоциация элементов?

5-лекция. Внутренние и внешние факторы миграции химических элементов

Природные и антропогенные геохимические аномалии связаны с концентрированным состоянием химических элементов. Это состояние следует рассматривать как временное, поскольку все основные процессы протекающие в биосфере ведут к рассеиванию химических элементов. Каждая геохимическая аномалия вслед за своим образованием подвергается воздействию внешних факторов, приводящих к перераспределению (миграции) слагающих ее компонентов. В результате происходит постепенное рассеивание и ликвидация сформировавшихся аномалий. Аналогично происходит и процесс рассеивания природных и техногенных месторождений.

Зона повышенных концентраций элементов первичной аномалии, характеризующаяся промежуточными значениями между их высокими содержаниями и низкими фоновыми значениями во вмещающих средах, носит название *вторичного ореола рассеивания* геохимической аномалии или месторождения.

Область повышенных содержаний компонентов аномалии, возникающая на путях твердого, жидкого или газообразного потока, характеризуемая

дальнейшим убыванием аномальных концентраций компонентов, называется *поток рассеивания* (рис.).



Рис. Вторичный ореол и потоки рассеивания аномалии:

Ca - концентрация элемента в первичной аномалии;

C - концентрация элемента в объектах биосферы;

C_ф - фоновая концентрация элемента; стрелками показаны потоки рассеивания

Первичные геохимические аномалии в соответствующих условиях способны образовывать *гидрохимические, биогеохимические и атмохимические ореолы и потоки рассеивания*. Все эти геохимические аномалии вследствие всеобщей миграции химических элементов и непрерывного обмена между геосферами тесно взаимосвязаны (рис. 4).

В результате растворения минералов при взаимодействии с подземными водами, атмосферными осадками, поверхностными водами формируются *литохимические и гидрохимические потоки рассеивания, возникают гидрохимические аномалии*.

Эти гидрохимические аномалии и потоки рассеивания оказывают активное воздействие на первичную аномалию и на литохимические потоки рассеивания путем обменных химических реакций, соосаждения, сорбции или испарения. В свою очередь, гидрохимические аномалии определяют появление *биогеохимических аномалий*.

В зоне геохимической аномалии растительность, в основном, аккумулирует повышенное содержание химических элементов из водных ореолов и потоков рассеивания аномалии. Поглощение растительностью химических элементов не является однонаправленным процессом. В результате естественного растительного опада и отмирания корневой системы с последующей их минерализацией элементы возвращаются в гидросферу в форме растворимых соединений или в литосферу в виде твердых минеральных остатков.

Способность растительности в процессе респирации влаги испарять в атмосферу легколетучие элементоорганические соединения дает в результате биогенную составляющую *атмохимических аномалий*. С атмосферными осадками эти газовые компоненты возвращаются в литосферу и гидросферу. Аналогичная цепь этих последовательных связей прослеживается и среди живых организмов.

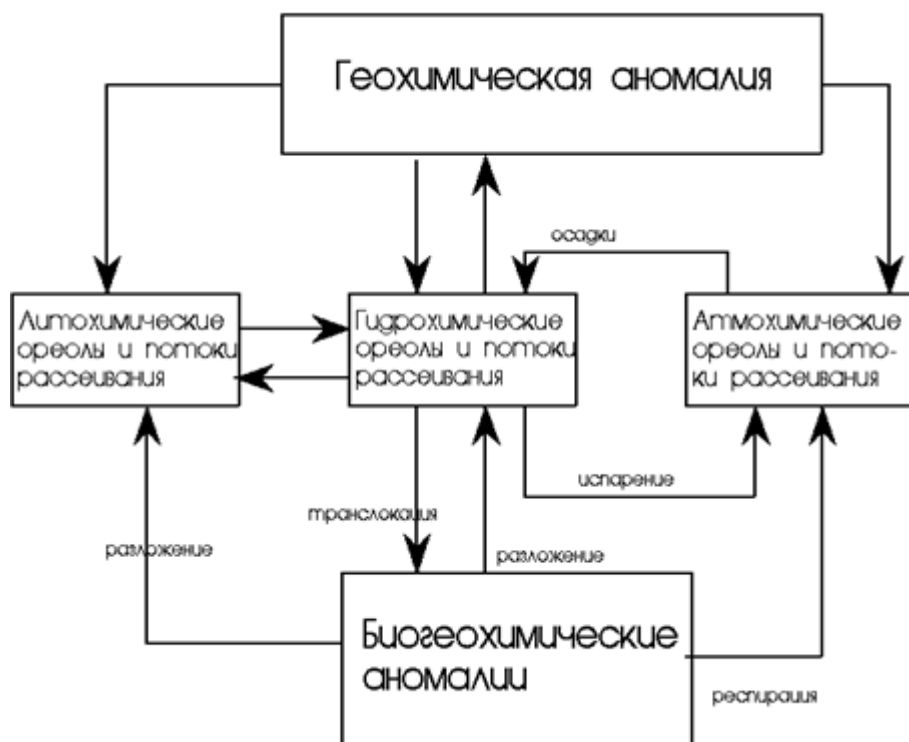


Рис. Взаимосвязь и взаимообусловленность геохимических аномалий и потоков рассеивания

Среда миграции может быть твёрдой (диффузия), жидкой (истинные и коллоидные растворы, расплавы, взвеси или суспензии) или газообразной (газовые смеси, взвеси, дымы – смесь газа и твердых частиц, аэрозоли, туманы – смесь газа и частиц жидкости, флюидизаты).

Поэтому давайте вспомним что представляют собой истинные и, особенно, коллоидные растворы, которые нередко возникают в гипергенных условиях. Кроме того, геохимия биосферы – это прежде всего геохимия реакций, происходящих в присутствии воды. Вода по целому ряду аномальных свойств никоим образом не может быть отнесена к обычным жидкостям.

Очень многие химические соединения хорошо растворимы в воде и миграция входящих в их состав элементов происходит в ионной форме (K, Na, Cl и др.), поэтому здесь необходимо особо остановиться на необычных свойствах воды как растворителя. Никакая другая жидкость не может сравниться с водой ни по числу веществ, которые могут в ней растворяться, ни по количеству вещества, которое она может удерживать в растворе. Объяснение этих замечательных свойств следует искать в структуре воды. Каждая молекула воды является миниатюрным диполем. Важным следствием

дипольной природы молекул воды является ее очень высокая диэлектрическая постоянная.

Высокая диэлектрическая проницаемость как раз и объясняет активность воды как растворителя ионных соединений. Это связано с тем, что силы притяжения ионов друг к другу уменьшаются пропорционально диэлектрической проницаемости среды, а растворение ионных соединений не что иное, как разрыв ионов, составляющих молекулу растворимого вещества молекулами растворителя.

В растворе катионы притягивают отрицательные полюсы ближайших диполей молекул воды, а анионы – положительные полюсы диполей. Этот процесс, как известно из курса химии, называется гидратацией. Число молекул воды, окружающих каждый ион напрямую зависит не только от размеров этого иона, но и от плотности заряда на его поверхности. То есть гидратация иона возрастает с увеличением его заряда (Z) и убывает с увеличением его радиуса (r). Величина Z/r , называемая **ионным потенциалом**, определяет не только гидратацию данного иона, но и многие другие его свойства в водных растворах.

По существу, ионные потенциалы являются мерой **электроотрицательности**, т.к. - чем меньше радиус положительного иона и чем больше его заряд, тем более ярко выражены кислотные свойства соответствующего окисла. И, наоборот, чем больше радиус и чем меньше заряд, тем сильнее соответствующее основание.

Положительный заряд поверхности иона отталкивает протоны, входящие в состав молекул воды, координированных вокруг него. Если это отталкивание достаточно сильно, некоторые из протонов могут отрываться от молекул воды, в результате чего заряд центрального иона нейтрализуется образовавшимися гидроксильными группами. В результате – может выпадать в осадок нерастворимая гидроокись.

В истинных растворах элементы присутствуют либо в виде отдельных ионов, либо входят в состав растворимых комплексных ионов. На растворимость тех или иных соединений существенно влияют и такие параметры природных вод как их общая минерализация, ионный состав, кислотность-щелочность, окислительно-восстановительный потенциал. Все эти рассмотренные нами геохимические параметры вод в первую очередь определяют миграцию химических элементов в ионной форме. Но в водной среде возможны и иные формы физико-химической миграции элементов. Одна из таких форм – **миграция в коллоидных растворах**.

Коллоидным является такое состояние дисперсной системы, в которой размер диспергированных частиц колеблется приблизительно от 10^{-3} до 10^{-6} мм. Нельзя провести четкой границы между истинными и коллоидными растворами: коллоидные растворы, с одной стороны, переходят в истинные, а с другой – в суспензии. Степень их диспергированности такова, что частицы нельзя различить в световом микроскопе, но они крупнее молекул, т.е. коллоидные частицы обычно мультимолекулярны (состоят из многих молекул). Коллоидные частицы (**дисперсная фаза**)

разделены *дисперсионной средой* и в целом составляют коллоидную систему.

Существует большое количество разнообразных типов коллоидных систем: твердое – газ (дымы), жидкость-газ (туманы), жидкость-жидкость (эмульсии), твердое-жидкость, т.е. *коллоидные растворы* (золи, гели и пасты). Жидкость в природных коллоидных системах обычно представлена водой.

Коллоидные растворы представляют собой жидкие системы, состоящие из жидкости и свободно (в процессе броуновского движения) передвигающихся в ней частичек *дисперсной фазы* – **мицелл**. Мицеллы – это не ионизированные атомы, и даже не отдельные недиссоциированные молекулы, а агрегаты из большого числа недиссоциированных молекул. С окружающей их жидкостью (*дисперсионной средой*) они имеют физические поверхности раздела. В зависимости от соотношения твердой и жидкой фаз коллоидные растворы подразделяются на *золи, гели и пасты*.

Золи представляют собой системы, похожие по своим физическим свойствам на жидкости: они обладают большой текучестью и сравнительно небольшой вязкостью. Для **гелей** характерна повышенная вязкость. **Пасты** представляют собой системы, в которых концентрация твердых частиц столь высока, что они заполняют собой почти весь объем системы. Коллоидные растворы могут быть получены двумя способами: при дроблении более грубых частиц до коллоидных размеров или, напротив, путем объединения более мелких частиц (атомов, молекул или ионов). Большинство природных коллоидов, по-видимому, образуется вторым способом. Есть обширная группа химических элементов, способность которых к миграции в ионной форме ограничена. Это так называемые элементы-гидролизанты – они в растворах легко вступают в реакции гидролиза и выпадают в осадок. Это Fe, Mn, Al, Ti, Sn, Zr, Cr, W, Mo и др. Большей частью они мигрируют в зоне гипергенеза в форме коллоидных растворов. Их растворимость в коллоидной форме в десятки, сотни, иногда и в тысячи раз превышает растворимость в форме истинных (ионных) растворов.

Коллоидные частицы электрически заряжены. Происхождение заряда двояко: либо адсорбция ионов из раствора, либо прямая ионизация вещества частицы. Некоторые коллоиды, например, гидроокись железа, заряжаются положительно или отрицательно в зависимости от среды, в которой они образуются. Для наиболее важных коллоидов характерен заряд:

- *Положительные коллоиды* – гидроокись алюминия, гидроокись трехвалентного железа, гидроокись хрома. Гидрат двуокиси тория, гидрат двуокиси титана, гидрат двуокиси циркония;
- *Отрицательные коллоиды* – кремнезем, гидроокись двухвалентного железа, гидрат пятиокиси ванадия, гидрат двуокиси марганца, гуминовые коллоиды, сульфидные золи.

Факторы миграции подразделяются на *внутренние* и *внешние*.
Результат миграции – это *рассеяние* и *концентрация* химических элементов.

Внутренние факторы миграции определяются строением атомов. От них зависит способность элементов давать летучие, растворимые или инертные формы. К ним относятся:

Электростатические (кристаллизационные) свойства ионов. Эту группу факторов необходимо учитывать только при миграции элементов в виде свободных ионов. Такая миграция характерна для различных форм нахождения элементов и типична для водных растворов, магматических расплавов, газовых смесей, живого вещества. Так как рассматриваемая группа факторов во многом определяется размерами ионных радиусов, ее следует относить не к точным физико-химическим константам, а к полуколичественным показателям.

Свойства связи соединений. Эти свойства характеризуют способность соединений противостоять усилиям, направленным на их разрушение. Чем ярче они выражены, тем устойчивее минералы и тем позже проявятся собственные миграционные особенности элементов, составляющих рассматриваемые соединения.

Химические свойства соединений. В значительной мере на миграцию могут влиять химические свойства соединений, но при их рассмотрении всегда необходимо учитывать геохимические и термодинамические особенности среды, в которой идет миграция. Так, на земной поверхности кислородные соединения (оксиды, карбонаты и многие сульфаты) более устойчивы, чем сульфиды.

Гравитационные свойства атомов. Они оказывают влияние на перемещение элементов при кристаллизации, выветривании и седиментации: каждый атом притягивается с силой, пропорциональной его массе.

Радиоактивный распад ядер атомов. Радиоактивные свойства атомов в процессе миграции заключаются в непрерывном изменении (уменьшении) количества радиоактивных элементов при их распаде и в образовании новых ядер с иными физико-химическими свойствами. Он приводит к образованию новых элементов, отличающихся друг от друга и от исходных элементов по миграционным свойствам. Так, при радиоактивном распаде урана образуются и легкомигрирующий гелий, и трудномигрирующий свинец.

Внешние факторы миграции - ландшафтно-геохимические условия, определяющие поведение элементов в различных химических (окислительно-восстановительных, щёлочно-кислотных) обстановках:

Внешние факторы миграции обуславливаются средой, окружающей атом. Рассмотрим основные из них.

Температура. С повышением температуры увеличивается миграционная способность элементов, находящихся в расплавах и растворах, повышается скорость течения химических реакций и взаимная растворимость элементов при изоморфных замещениях. Однако в отдельных случаях усиление миграции происходит только в определенном температурном

интервале. К числу подобных явлений следует отнести в первую очередь биогенную миграцию.

Давление. Этот фактор оказывает значительное влияние на миграцию элементов в расплавах, растворах и газовых смесях. С изменением давления может происходить изменение фазового состояния вещества без изменения температуры; возможно также изменение скорости и даже направление течения химических реакций. Повышение давления может способствовать изоморфному вхождению элементов в чужие кристаллические решетки. Необходимо помнить, что в пределах верхних частей земной коры (по крайней мере в биосфере) резкого и существенного изменения давления не происходит. Учитывать этот фактор миграции обычно следует при рассмотрении гидротермальных, магматических и метаморфических процессов.

Степень электролитической диссоциации. Миграция элементов в расплавах и растворах во многих случаях обуславливается степенью электролитической диссоциации вещества. Она зависит от свойств растворителя и растворяемого вещества, температуры раствора и его концентрации. По мнению А.А. Саукова (1966), степень ионизации во многом определяется последовательность выпадения веществ в осадок (элементы, находящиеся в ионной форме, быстрее переходят в твердую фазу).

Концентрация водородных ионов. Этот фактор характеризует кислотность (щелочность) среды и во многих случаях контролирует осаждение из растворов химических соединений и коагуляцию коллоидов. Влияние pH на миграцию элементов довольно детально изучено для зоны гипергенеза. Для гидротермальных процессов этот вопрос менее ясен.

Изменение щелочности среды влияет и на поступление элементов в растения. Изменение концентрации водородных ионов влияет на подвижность многих металлов.

Окислительно-восстановительный потенциал. Все окислительно-восстановительные реакции характеризуются разностью потенциалов в цепи окислитель-восстановитель. При решении вопросов, связанных с водной миграцией элементов, большое значение имеет знание окислительно-восстановительных условий этого процесса.

Окислительно-восстановительные условия (кислородный потенциал E_h), также как и концентрация водородных ионов (водородный потенциал pH), определяют направление химических реакций в геохимических процессах миграции элементов.

Химические реакции окисления-восстановления сводятся к изменению валентности взаимодействующих атомов химических элементов и заключаются в потере электронов атомами, которые окисляются, и в приобретении их атомами, которые восстанавливаются. Окисляющееся вещество, атомы которого отдают электроны, называется восстановителем, а вещество восстанавливаемое – окислителем.

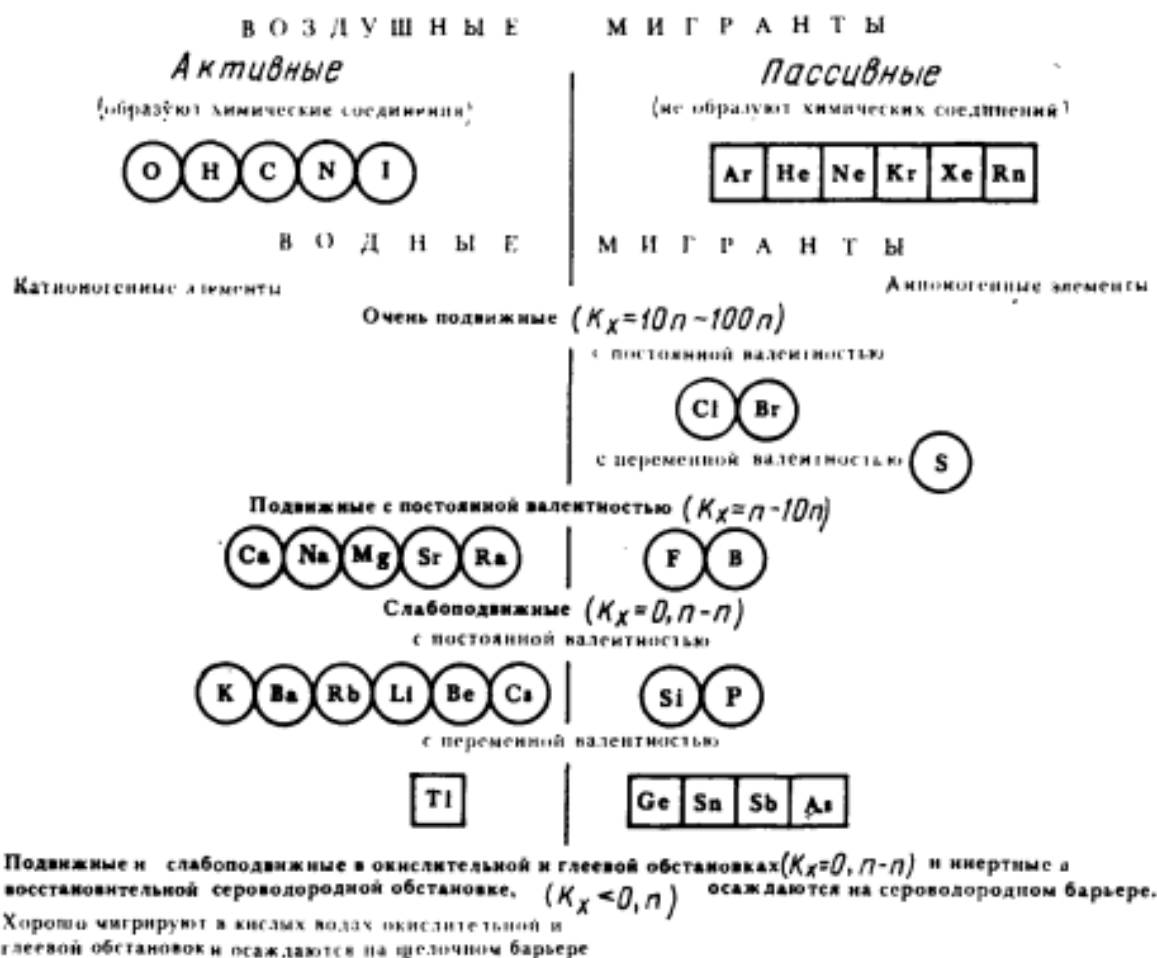
Поверхностные силы природных коллоидных систем. Эти силы имеют большое значение при миграции элементов в водной среде. Ими объясняется высокая сорбционная способность коллоидных систем. А одной из важнейших особенностей процесса сорбции является селективность: определенными коллоидами поглощаются преимущественно определенные ионы и молекулы.

Жизнедеятельность организмов. Миграция элементов в зоне гипергенеза тесно связана с жизнедеятельностью организмов, в результате которой освобождаются из соединений кислород, азот, диоксид углерода, влияющие на миграцию многих элементов, включая металлы. Органические кислоты, выделяемые корнями растений, разрушают кристаллические решетки многих минералов (даже глины), способствуя переходу элементов из минеральной формы в растворы.

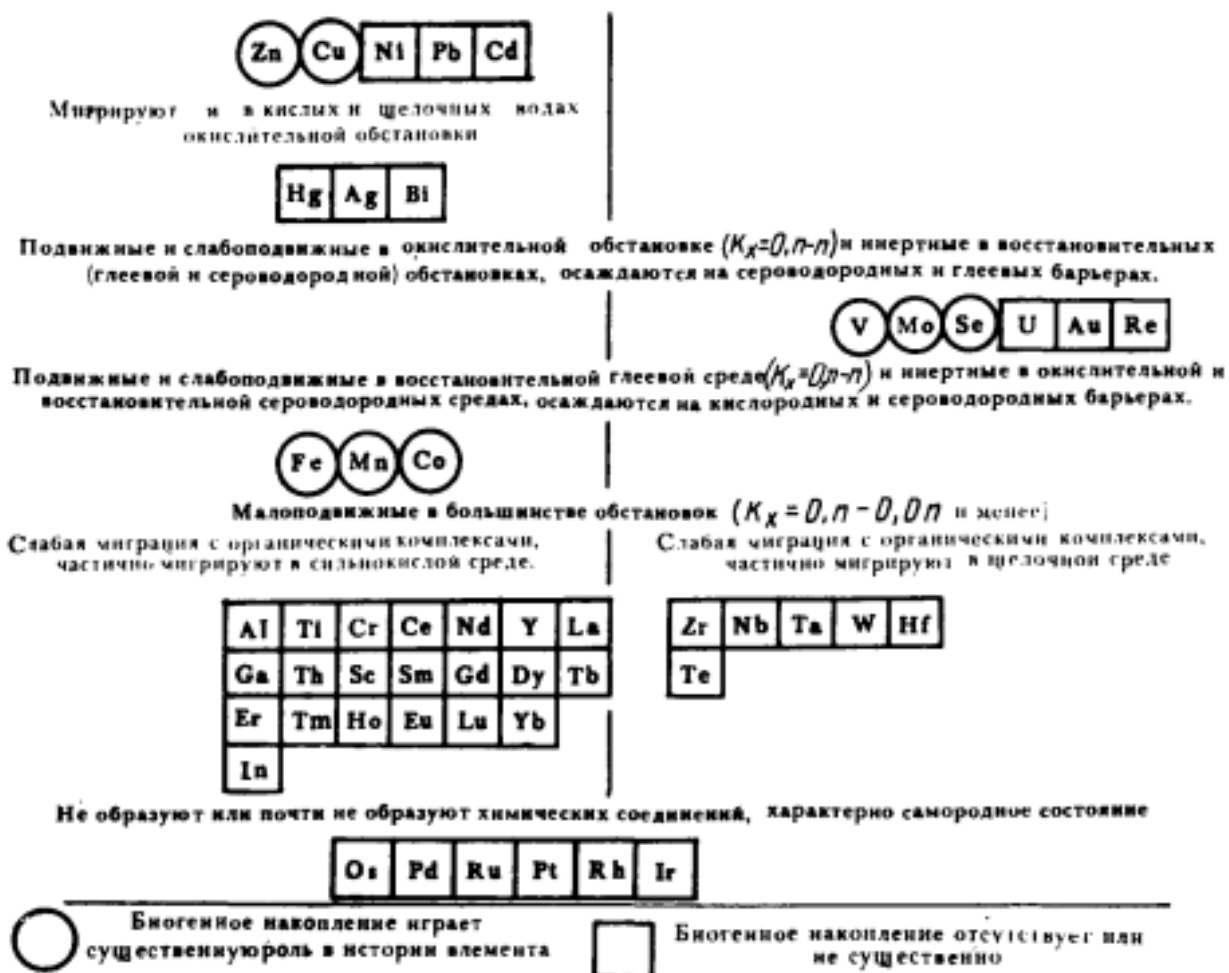
Геоморфологические особенности. К числу важных внешних факторов миграции элементов в зоне гипергенеза следует относить геоморфологические особенности изучаемых участков. Здесь отметим, что эти условия часто определяют, в какой форме (минеральная, истинные или коллоидные растворы) на конкретном участке происходит преобладающая миграция рассматриваемых элементов.

В гипергенных условиях ведущая роль принадлежит миграции в газовой и водной средах.

С учётом этого А.И. Перельманом составлена геохимическая классификация элементов, в которой элементы классифицируются по особенностям их миграции в гипергенных условиях.



Геохимическая классификация А.И. Перельмана по особенностям миграции химических элементов в зоне гипергенеза



Геохимическая классификация А.И. Перельмана по особенностям миграции химических элементов в зоне гипергенеза

В соответствии с этой классификацией химические элементы подразделяются на воздушные и водные мигранты

Среди воздушных мигрантов, в свою очередь, выделяются:
активные, образующие соединения (O, H, C, N, I);
пассивные (все инертные газы).

Водные мигранты – подразделяются, с одной стороны - по степени подвижности и, кроме того, на катионогенные и анионогенные элементы, т.е. их классификация имеет табличную (матричную) форму. Подвижность элементов определяется **коэффициентом водной миграции** (отношение содержания химического элемента в минеральном остатке воды к его содержанию во вмещающих породах).

$$K_X = (M_X / a_{nX}) 100,$$

где M_X – содержание элемента в воде, а – минерализация воды, n_X – содержание элемента во вмещающей породе.

Факторы миграции химических элементов в зоне гипергенеза определяются термодинамическими условиями поверхности земной коры, во многих отношениях отличающиеся от ее глубинных зон. Миграция в зоне гипергенеза происходит практически при постоянном давлении и очень незначительных колебаниях температуры. Химическая обстановка миграции

на поверхности земной коры может быть непосредственно изучена путем геохимического исследования процессов гипергенного изменения пород, химического состава природных вод, почв, воздуха и т.д. Важную роль в миграции химических элементов в зоне гипергенеза играют *биологические факторы*, а также перенос вещества в коллоидной и адсорбционной формах.

Химическая обстановка гипергенной миграции элементов в первую очередь определяется значениями водородного потенциала pH и окислительно-восстановительного потенциала Eh природных поверхностных систем, подробно рассмотренными А.И. Перельманом (1968).

А.И. Перельман, характеризуя явления гипергенной концентрации элементов, ввел понятие *о геохимических барьерах*. Под этим термином понимается резкое изменение физико-химических условий на путях миграции элементов, вызывающее осаждение определенных элементов из растворов. Понятие о геохимических барьерах может быть успешно применено и к процессам эндогенной миграции, где температурный и декомпрессионный барьеры, обусловленные резкими изменениями температуры и давления, играют очень большое значение в процессах минералообразования.

В условиях гипергенной миграции элементов ведущее значение приобретают выделенные А.И. Перельманом *адсорбционный* и *окислительно-восстановительные барьеры*, действие которых часто проявляется совместно. Адсорбционный барьер определяет осаждение на поверхности разного рода тонкодисперсных частиц положительно заряженных (осадители – глинистые частицы, различные органические коллоиды, торф и т.д.) ионов.

Восстановительный сероводородный барьер имеет первостепенное значение в процессах эндогенной концентрации сульфофильных элементов в форме сульфидов. В зоне гипергенеза этот барьер встречается в зонах контакта поверхностных и грунтовых окислительных или слабовосстановительных вод с гниющим органическим веществом. Осаждение сульфидов тяжелых металлов, и прежде всего пирита, является характерным отличительным признаком восстановительного сероводородного барьера.

Разнообразие миграции – определяется числом форм, в которых переносится элемент. Для химически сходных элементов разнообразнее миграция того из них, у которого кларк выше.

Примеры для минералов с кларками одного порядка: S – многовалентна (0, -2, +4, +6), может входить в состав разнообразных соединений (сульфиды, сульфаты, органические соединения), образует 369 минеральных видов. Cl – одновалентен, образует 96 минералов. У Mo – 15 минеральных видов, Hf – 0. Последний пример еще раз отражает различие между редкими и рассеянными элементами.

Виды миграции (или формы движения материи) – выделяются в соответствии с различными уровнями организации вещества. Выделяются механическая, физико-химическая, биогенная и техногенная миграция.

Механическая: перенос без преобразования вещественного состава. Определяется размерами минеральных частиц, их плотностью, скоростью движения среды, являющейся агентом переноса (водного потока, ветра и т.д.).

Физико-химическая: подчиняется физическим и химическим законам. Процессы диффузии, растворения, осаждения, плавления, кристаллизации, сорбции, десорбции и т.д. Подвиды – ионная миграция (в растворах), коллоидная, газовая и др.

Биогенная: определяется деятельностью организмов. Взаимодействие между живым веществом и инертной материей Земли происходит в форме массообмена химических элементов между живыми организмами и окружающей средой. Именно процессы массообмена элементов объективно характеризуют геохимическую деятельность организмов. Подобные закономерные процессы миграции химических элементов, осуществляемые не под воздействием геологических факторов, а в результате жизнедеятельности организмов были названы В.И. Вернадским биогеохимическими. Здесь учёт лишь химических свойств элементов (валентности, ионных радиусов и др.) недостаточен.

Техногенная: связана с деятельностью человека. Освоение сырьевых ресурсов, хозяйственное использование сырья, значительные по масштабам перемещения вещества, создание веществ, не существующих в природе.

Вопросы для самоподготовки:

1. Перечислите основные внутренние факторы миграции элементов.
2. Перечислите основные внешние факторы миграции элементов.
3. Каково влияние гравитационных свойств атомов на геохимическую миграцию элементов?
4. Какова роль химических свойств в процессе геохимической миграции элементов?
5. Как влияет на миграцию образование различных соединений?
6. Как влияют на миграцию элементов температура и давление?
7. Каково влияние на миграцию элементов степени электролитической диссоциации растворов?
8. Каково влияние щелочности среды на миграцию элементов?
9. Как влияет окислительно-восстановительная обстановка на миграционную способность элементов?
10. Влияние жизнедеятельности организмов на миграцию элементов.
11. Среда миграции.
12. Факторы миграции элементов в зоне гипергенеза.
13. Виды миграции.

6-лекция. Геохимические барьеры. Классификация геохимических барьеров. Методологическая основа геохимических поисков месторождений

Все химические элементы, составляющие земную кору, атмосферу и гидросферу, находятся в постоянном движении, которое и представляет их миграцию. Одним из показателей, определяющих это явление, является интенсивность миграции. А.И. Перельман предложил определять ее по формуле:

$$I = \frac{m}{tC_k},$$

где m – масса мигрирующего элемента, t – промежуток времени существования миграции, C_k – кларковое, или местное фоновое содержание интересующего элемента в рассматриваемой геохимической системе.

В зависимости от масштаба исследования в качестве такой системы можно рассматривать всю земную кору, верхние части литосферы отдельных районов, биосферу, отдельные моря, почвы отдельных районов и т.д.

Характеризуя миграцию химических элементов, обычно рассматриваются ее основные виды и типы. По предложению А.И. Перельмана, *выделяются четыре основных вида миграции: 1 – механический; 2 – физико-химический; 3 – биогенный и 4 – техногенный*, вызываемый антропогенной деятельностью.

Выделять различные типы миграции было предложено в 1989 г. В.А. Алексеенко при рассмотрении связи перемещения химических элементов с основными формами их нахождения в природе. Целесообразно обособление трех основных типов миграции.

Первый тип миграции представляет собой изменение формы нахождения элементов без их существенного перемещения, например переход элементов из минеральной формы в раствор или из почв в растения.

Второй тип характеризует перемещение элементов без изменения форм их нахождения. Простейшими примерами миграции этого типа может быть перемещение аэрозолей в атмосфере или обломков минералов в поверхностных водах.

Третий тип миграции объединяет два предыдущих и состоит в перемещении элемента с изменением форм их нахождения. Так, при техногенном поступлении в поверхностные воды тяжелых металлов их значительная часть может находиться в форме растворов. Однако на расстоянии первых километров они переходят в минеральную и коллоидную формы и уже так продолжают миграция на расстояния до сотен километров. На определенные временные промежутки миграция элементов может прекращаться, а на отдельных участках при этом возможна существенная концентрация части элементов. Рассмотрение этого процесса связано с учением о геохимических барьерах.

Геохимические барьеры – это те участки земной коры, где на коротком расстоянии происходит резкое уменьшение интенсивности миграции химических элементов и, как следствие, их концентрация. Такое определение геохимическим барьером дал Александр Ильич Перельман – основатель учения о барьерах. Им же, начиная с 1961 г., разрабатывались общие основы

классификации геохимических барьеров. В пределах большинства барьеров довольно резко изменяется форма нахождения элементов в мигрирующем потоке (изменение типа миграции), а затем происходят связанные с ней изменения интенсивности миграции и осаждение (концентрация) определенных химических элементов или их соединений.

Следовательно, именно на геохимических барьерах происходят максимальные эколого-геохимические изменения, отмечаемые в биосфере. В связи с этим барьерам уделяется особенное внимание.

Широко распространенное в природе и усиливающееся под влиянием техногенеза осаждение химических элементов на геохимическом барьере, связанное с изменением типа миграции, можно рассмотреть на приведенном ниже примере.

При отсутствии свободного кислорода (глеевая обстановка) железо в подземных водах будет находиться в двухвалентном, хорошо растворимом состоянии (Fe^{2+}). Выход таких вод на дневную поверхность со свободным кислородом приводит к окислению и образованию труднорастворимого гидроксида железа – $Fe(OH)_3$. Происходит переход металла из формы водных растворов в минеральную. При этом изменение типа миграции железа сопровождается его осаждением и концентрацией. Рассматриваемый барьер относится к так называемым кислородным.

С этим барьером мы постоянно сталкиваемся и в повседневной жизни. На дне ванн и раковин умывальников мы замечаем постепенно появляющуюся «ржавчину». Обычно она представляет собой смесь гетита и гидрогетита (лимонита), в составе которой около 90% приходится на долю оксида трехвалентного железа. Образование этих минералов в рассматриваемом случае также связано с осаждением металла на кислородном барьере. Только транспортировка растворимого двухвалентного железа идет техногенным путем по трубам. Из водного раствора в условиях присутствия свободного кислорода, т.е. на геохимическом барьере, железо переходит в минеральную форму и осаждается. Происходит это, когда вода вытекает из крана. Мощная струя воды смывает значительную часть осаждающихся минералов. Поэтому, если струя не столь мощна (просто протекает кран), осажденного железа остается больше.

К настоящему времени учение о геохимических барьерах имеет огромное научное и практическое значение. Его использование позволяет оценивать геохимические (эколого-геохимические) условия концентрации химических элементов и их соединений. Это в свою очередь дает возможность определять особенности образования месторождений полезных ископаемых различных типов, а затем переходит к наиболее рациональному проведению поисков аналогичных месторождений. Именно на эти последствия изучения природных геохимических барьеров первоначально и было обращено основное внимание.

По мере того, как человечество все в большей мере стали волновать экологические проблемы, начали все чаще и в больших масштабах использовать учение о геохимических барьерах при прогнозировании

непланируемых концентраций химических элементов (т.е. эколого-геохимических изменений), сопровождающих различные антропогенные процессы. Постепенно учение о геохимических барьерах начинает использоваться в самых различных отраслях сельскохозяйственного и промышленного производства и науки. Так, его положения используются при строительстве гидросооружений, переработке отвалов месторождений, промышленном строительстве и даже в археологии.

Таким образом, появилась настоятельная потребность в более полном развитии учения о геохимических барьерах. Его развитию и быстрому внедрению в практику во многом может способствовать детально разработанная классификация геохимических барьеров.

Краткая история учения о геохимических барьерах

Термин «*геохимические барьеры*» был предложен, как уже указывалось, А.И. Перельманом в 1961 г., о чем он сам писал в своей монографии «Геохимия». Первоначально учение о барьерах начало использоваться для зоны гипергенеза. Уже первое применение, особенно с привлечением ландшафтно-геохимической основы, позволило объяснить многие процессы формирования повышенных концентраций химических элементов в почвах и растениях.

К началу 70-х годов прошлого столетия теоретическая база учения была разработана в мере, достаточной для практического использования этого фундаментального понятия геохимии. Начинается внедрение новых разработок в поисковую геохимию. Этому способствовали работы целого ряда ученых, и в первую очередь учеников А.И. Перельмана и работавших вместе с ним сотрудников института геологии геохимии Российской академии наук (ИГЕМ). Исследования проводились в различных регионах бывшего СССР: на Украине, в Казахстане, в Сибири (Е.Н. Борисенко, А.Е. Саманов, В.А. Алексеенко, Н.С. Касимов, Т.Т. Тайсаев, В.П. Иванчинков, Н.А. Шмелькова и многие другие).

В эти же годы, используя учение о геохимических барьерах, делаются попытки объяснить особенности формирования рудных месторождений – сначала гипергенных, а затем и гидротермальных. Появляется возможность по-новому взглянуть и на первичные ореолы, а следовательно, увеличить достоверность поисковых геохимических прогнозов. В 1973 г. В.А. Алексеенко в учебном пособии для студентов вузов пишет: «Особо следует отметить, что учение о геохимических барьерах, разработанное А.И. Перельманом для гипергенных процессов, можно применять и при рассмотрении гипогенной миграции элементов».

Уже первые случаи привлечения учения о геохимических барьерах при проведении литохимических поисков по вторичным ореолам и биогеохимических поисках позволили существенно уменьшить число ложных геохимических аномалий. Можно считать, что к началу 80-х годов прошлого столетия в поисковой геохимической практике утвердилось использование рассматриваемого учения при оценке аномалий в почвах. Такому широкому внедрению научных разработок в практические работы во

многое способствовала публикация монографии А.И. Перельмана, Е.Н. Борисенко, Н.С. Касимова и др. «Геохимия ландшафтов рудных провинций».

На современном этапе развития геохимии в направлении изучения геохимических барьеров наряду с продолжающимися теоретическими разработками (Касимов Н.С., Солнцева Н.П., Авессаломова И.А., Ваничкин В.И., Борисенко Е.Н., Левин В.Н., Мельников И.В., Самонов А.Е., Тайсаев Т.Т., Алексеенко В.А. и др.), идет внедрение научных разработок в практику. Ведется изучение геохимических барьеров на границе ландшафтов суши и аквальных, а также на самих аквальных ландшафтах (в основном в городах-Москва, Ростов, Новороссийск, Калининград). Привлекается учение о барьерах для решения проблем радиогеологии и радиогеоэкологии (Москва, ИГЕМ). Практически во всех регионах страны геохимические барьеры учитываются при проведении поисков месторождений полезных ископаемых геохимическими методами. Геохимические барьеры играют все большую роль при прогнозе антропогенных эколого-геохимических изменений в биосфере и в мониторинговых исследованиях.

Установлено, что в переживаемый сейчас период перехода биосферы в ноосферу существенно возрастает количество геохимических барьеров. При этом возникают новые техногенные барьеры, не имеющие природных аналогов. И хотя в большинстве случаев концентрация на барьерах ряда элементов (особенно тяжелых металлов) рассматривается как негативное явление, следует отметить появление техногенных барьеров, улучшающих экологическую обстановку. К ним необходимо отнести барьеры, не позволяющие распространяться высоким концентрациям меди при обрабатывании медь-содержащими препаратами виноградников.

К числу особо перспективных направлений в рассматриваемом учении относится изучение социальных геохимических барьеров, не имеющих природных аналогов. Часть их вызывает резкое уменьшение безопасности жизнедеятельности. К ним относятся зоны складирования и захоронения большинства отходов. Другая часть социальных барьеров представлена отвалами горных пород и различными хвостохранилищами обогатительных фабрик. При определенных условиях многие из этих барьеров можно переводить в разряд техногенных месторождений и таким образом более рационально использовать природные ресурсы.

Значительное внимание стало уделяться изучению геохимических барьеров в техногенных ландшафтах (городских, промышленных, сельскохозяйственных и т.д.) в связи с решением ряда экологических проблем. Из многих работ, выполненных по этой тематике, отметим опубликованные сотрудниками МГУ, ЛГУ, РГУ и Новороссийского НИИ Геохимии биосферы.

Необходимо также отметить развитие в последнее время такого перспективного направления, как моделирование геохимических барьеров. Биогеохимические барьеры рекомендуется учитывать при выращивании растений, используемых в медицинских целях.

Итоги последних разработок в области геохимических барьеров были подведены в 1999 г. на международном симпозиуме «Геохимические барьеры в зоне гипергенеза», посвященном памяти профессора А.И. Перельмана. Значительное внимание геохимическим барьерам уделено в книгах «Геохимия ландшафта» и «Экологическая геохимия», вышедших уже после смерти основателя рассматриваемого учения. Последняя книга посвящена его памяти.

Классификация геохимических барьеров

Типы барьеров. По генетической классификации А.И. Перельмана все геохимические барьеры биосферы разделяются на два основных типа – *природные* и *техногенные*. И те, и другие располагаются на участках изменения факторов миграции. В первом случае смена факторов, а соответственно и смена одной геохимической обстановки другой обуславливается природными особенностями конкретного участка биосферы. Во втором – такая смена геохимических обстановок происходит в результате антропогенной деятельности.

Однако довольно часто антропогенное изменение геохимической обстановки и формирование техногенных геохимических барьеров являются своеобразным толчком, после которого идет образование природных геохимических барьеров. Происходит наложение на техногенные барьеры природных. Иногда все они (в том числе и техногенные) могут лишь частично перекрывать друг-друга. Такие процессы формирования геохимических барьеров обосновали выделение нового третьего типа *техногенно-природных* геохимических барьеров.

Классы барьеров. Выделенные типы геохимических барьеров подразделены А.И. Перельманом на три основных класса: *физико-химические*, *механические* и *биогеохимические*.

Образование *физико-химических барьеров* связано с изменением физико-химической обстановки. К настоящему времени детальная классификация разработана только для этого класса барьеров, а точнее, для случая осаждения химических элементов, мигрирующих в ионной форме в водах с различными окислительно-восстановительными и щелочно-кислотными условиями.

Механические барьеры представляют собой участки резкого уменьшения интенсивности механической миграции. Они в основном связаны со вторым типом миграции химических элементов, когда их форма нахождения не изменяется, но они перемещаются в пространстве. Перемещение происходит, как правило, в пределах биосферы – чаще всего с миграцией элементов в минеральной или коллоидной форме. Перемещение коллоидов и минералов может происходить в воздушной и водной средах, а также на границе сред (скатывание обломков по склонам).

Биогеохимические барьеры, в отличие от многих других, связаны в основном с первым типом миграции химических элементов, когда изменяется их форма нахождения без значительного перемещения в пространстве. По своей сути они представляют собой накопление

химических элементов растительными и животными организмами. Эти геохимические барьеры относятся к числу наиболее распространенных в биосфере и могут быть как природными, так и техногенными. Концентрация химических элементов на биогеохимических барьерах непосредственно является частью биологического круговорота этих элементов.

Накопление химических элементов (их соединений) на геохимических барьерах часто приводит к аномальным концентрациям этих элементов (их соединений). При определенных условиях их концентрации и общее содержание на барьере резко возрастают и образуются месторождения полезных ископаемых. До недавнего времени рассматриваемые процессы были только природными. Сейчас техногенные процессы достигли таких масштабов, что и на природных, и на техногенных барьерах возможно накопление определенных элементов (их соединений) в промышленных концентрациях. Так формируются техногенные месторождения различных полезных ископаемых, в первую очередь – металлов.

Исследования последних десятилетий в области геохимических барьеров показали настоятельную потребность в выделении дополнительных классов. В связи с этим выделяется самостоятельный класс *комплексных геохимических барьеров*. Следует отметить, что природно-техногенные геохимические барьеры третьего типа всегда являются комплексными. Их число, а также научная и практическая значимость непрерывно возрастают.

В своем типичном проявлении комплексный геохимический барьер представляет собой пространственное наложение друг на друга нескольких классов геохимических барьеров. Как правило, накладывающие друг на друга барьеры генетически связаны между собой. Среди природных барьеров комплексные барьеры по распространенности занимают одно из первых мест.

В типе техногенных геохимических барьеров В.А. Алексеенко также предложено (1997) выделять еще один самостоятельный класс – *класс социальных барьеров*. После выхода последних работ А.И. Перельмана в научной литературе начал широко использоваться термин «*социальная миграция химических элементов*». По аналогии с социальной миграцией, В.А. Алексеенко считает целесообразным введение понятия «*социальный геохимический барьер*».

По мнению В.А. Алексеенко, что объединяет и что отличает эти барьеры с рассмотренными природными и техногенными барьерами?

Во-первых, на них, как и на всех ранее рассмотренных барьерах, прекращается перемещение целого ряда веществ, участвующих в определенном виде миграции – социальной (техногенной).

Во-вторых, так же, как и на других барьерах, в этом случае прекращают миграцию не все участвующие в ней вещества, а только часть из них.

В-третьих, барьеры созданы искусственно там, где в природных условиях они не возникали, по крайней мере для всех тех веществ, которые на них концентрируются.

В-четвертых, по способу образования (вывоз и складирование) они отличаются от всех ранее рассмотренных техногенных барьеров.

В-пятых, по специфике концентрации веществ и способу образования этим барьерам нет аналогов среди природных барьеров.

В-шестых, концентрирующиеся на них вещества не объединяются ни одним общим физическим или химическим свойством (а это является обязательным условием концентрации веществ на природных и техногенных барьерах.) Все вещества на техногенных барьерах объединяет только одно социальное условие: ненужность обществу на данном этапе его развития.

В-седьмых, образование рассматриваемых барьеров и состав накапливающихся на них веществ являются отражением конкретного уровня развития как определенного сообщества людей, так и всего человечества.

Все это в сумме и обуславливает, по мнению В.А. Алексеенко, обособление *социальных геохимических барьеров*. Широкое (и все возрастающее) распространение этих барьеров, а главное, все возрастающее негативное воздействие их на среду, окружающую человека, и непосредственно на его здоровье делают необходимым не только самостоятельное выделение, но и детальное эколого-геохимическое изучение данных барьеров.

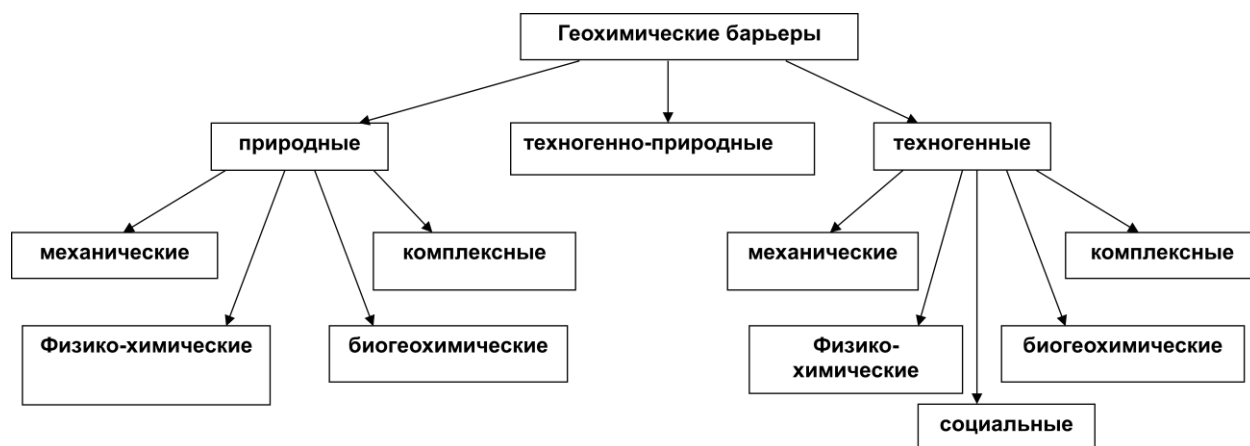
Геохимические барьеры могут существенно отличаться друг от друга не только концентрациями определенных элементов и их общим количеством на барьере, но и величиной самих барьеров. По этому критерию А.И. Перельман выделил *макро-, мезо- и микробарьеры*.

К *макрогеохимическим барьерам* относятся зоны с резким уменьшением интенсивности миграции химических элементов на расстоянии в тысячи метров. Мощности зон могут достигать нескольких сотен метров. Такими барьерами являются, например, дельты крупных рек, где происходит смешивание пресных речных вод с морскими, которые являются слабыми электролитами.

Протяженность *мезогеохимических барьеров* обычно колеблется от первых метров до тысячи метров. Их примером могут быть краевые зоны болот, где резко изменяются окислительно-восстановительные условия и могут накапливаться многие химические элементы, предварительно выщелоченные из водораздельных и склоновых участков.

Размеры *микрогеохимических барьеров* могут колебаться от долей миллиметра до первых метров. К ним относятся барьеры выделяемые в отдельных растениях и барьеры, на которых формируются рудные прожилки и жилы в пределах месторождений полезных ископаемых.

Все вышеизложенное позволяет разделить геохимические барьеры на следующие типы и классы.



Количественные характеристики геохимических барьеров

К числу важнейших количественных параметров относится *градиент барьера*. Он определяется по следующей формуле:

$$G = \frac{dm}{dl}, \text{ или } G = \frac{m_1 - m_2}{l},$$

m_1 – показатель, характеризующий изменение геохимической обстановки на барьере, установленный в миграционном потоке перед барьером (им могут быть рН, t, P, Eh, количество растворенного в воде кислорода или сероводорода и т.д.); m_2 – показатель характеризующий геохимическую обстановку в миграционном потоке сразу же после барьера; L – мощность (ширина) барьера.

Еще одной количественной характеристикой геохимических барьеров является *контрастность барьера* (S):

$$S = \frac{m_1}{m_2},$$

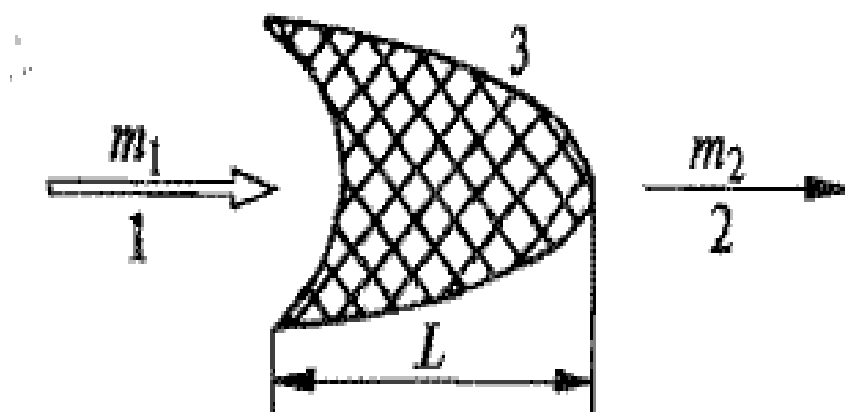


Рисунок. Параметры геохимических барьеров (По А.И. Перельману):

1, 2 – направления миграции химических элементов соответственно до и после барьера; 3 – область концентрации элементов на барьере; L – длина барьера; m_1 и m_2 – геохимические характеристики среды соответственно до и после барьера.

Так как в итоге на геохимическом барьере в большинстве случаев формируются геохимические аномалии, то о контрастности барьера можно судить и по *контрастности образовавшихся геохимических аномалий*:

$$K = \frac{C_a}{C_{\phi}},$$

где C_a – среднее содержание рассматриваемого компонента в аномалии; C_{ϕ} – фоновое содержание компонента в ландшафте (в определенном типе пород, почв, осадков, вод, растений и т.д.), аналогичном ландшафту, в котором расположен рассматриваемый барьер.

Обычно интенсивность накопления химических элементов (их соединений) увеличивается с возрастанием значений градиента и контрастности геохимических барьеров. Для расчета концентрации элементов на барьере была выведена следующая формула:

$$h = K \frac{C_1 - C_2}{a_1 - a_2},$$

где, h – концентрация элемента на барьере; K – коэффициент, зависящий от «инертной» массы (почв, осадков, живого вещества и т.д.), на которой происходит накопление рассматриваемого вещества; C_1 – содержание рассматриваемого вещества в миграционном потоке до барьера; C_2 – то же, после барьера; a_1 – общее содержание всех веществ, мигрирующих в потоке до барьера и a_2 – после него.

Из приведенной формулы видно, что для концентрации какого-нибудь элемента на барьере не обязательно его высокое содержание в миграционном потоке. Если данный участок является барьером только для одного или немногих элементов (соединений), а у большинства остальных элементов на этом участке интенсивность миграции не изменяется, то даже при низкой концентрации рассматриваемого элемента в миграционном потоке его концентрация на барьере может со временем стать очень высокой, вплоть до образования рудных тел.

Этой особенностью геохимических барьеров необходимо чаще пользоваться при формировании техногенных барьеров. Особое внимание следует при этом уделять формам нахождения химических элементов в миграционном потоке, их относительному количеству и особенностям самой среды миграции. Именно эти факторы во многом определяют процесс осаждения элементов (их соединений) на различных геохимических барьерах.

Природные барьеры. Формирование природных геохимических барьеров происходит на участках изменения геохимических (эколого-геохимических) обстановок, причем эти изменения должны обуславливаться природными факторами. Кроме того, смена одной геохимической обстановки

другой должна происходить достаточно резко, а следовательно, - на довольно коротком расстоянии.

Если на природном барьере идет концентрация веществ, источник которых также природный, то можно говорить о возникновении природной геохимической аномалии на природном барьере.

Если же источник концентрирующихся веществ техногенный, то на природном барьере идет формирование техногенной аномалии. При высокой концентрации, больших размерах и экономической целесообразности извлечения отложившихся веществ вместо аномалий разговор будет идти о природных или техногенных месторождениях, возникших на природном геохимическом барьере.

По генетической классификации А.И. Перельмана все природные барьеры разделяются на четыре основных класса: *физико-химические, механические, биогеохимические и комплексные*.

Техногенные барьеры. В результате антропогенной деятельности на отдельных участках биосферы происходит изменения, приводящие к формированию всех известных в природных условиях геохимических барьеров. На них, как и на природных, происходит отложение веществ из различных миграционных потоков. Последние могут быть как техногенного, так и природного происхождения.

Техногенные барьеры могут возникать и при встрече двух различных потоков мигрирующих веществ, если в ее результате изменится интенсивность миграции и начнется отложение части мигрирующих веществ. В этом случае необходимо, чтобы хоть один из потоков был техногенной природы.

Причины осаждения веществ на техногенных барьерах те же, что на и соответствующих им природных. Необходимо отметить, что техногенные барьеры обычно возникают в местах проживания и работы людей. В связи с этим происходящие на них эколого-геохимические изменения часто оказывают большее влияние на людей, чем даже более крупные, но удаленные природные барьеры.

Различают пять классов техногенных геохимических барьеров: физико-химические, механические, биогеохимические, социальные, комплексные.

Техногенно-природные барьеры. Гораздо чаще, чем в вышерассмотренных примерах, образование отдельных техногенных геохимических барьеров влечет за собой формирование природных барьеров. Такие барьеры выделяются в отдельный класс техногенно-природных комплексных барьеров.

Примеров барьеров выделенного типа чрезвычайно много. Подавляющее большинство техногенных барьеров, как запроектированных, так и возникших «случайно» в результате определенной антропогенной деятельности, вызывает формирование в этой же барьерной зоне новых, но уже природных геохимических барьеров. Деление данного класса барьеров на подклассы пока не разработано.

Рассмотрим конкретные примеры таких комплексных техногенно-природных барьеров:

1. Строительство плотин на реках представляет собой заранее запланированное создание комплексного техногенного барьера для переносимых волочением по дну в водных потоках минералов и переносимых в водных растворах коллоидов.

2. Менее сложным будет техногенно-природный барьер, возникающий при большом поднятии уровня грунтовых вод, связанном орошении.

3. Довольно сложная картина формирования комплексных техногенно-природных геохимических барьеров наблюдается при откачивании из шахт кислых глеевых вод.

Вопросы для самоподготовки:

1. Дайте определение понятия «Геохимические барьеры». Приведите примеры барьеров?
2. Какова роль А.И. Перельмана в становлении учения о геохимических барьерах?
3. Каковы отличительные особенности различных типов барьеров?
4. Дайте подробную характеристику типам геохимических барьеров?
5. Дайте подробную характеристику классам геохимических барьеров?
6. Количественные характеристики геохимических барьеров?

7-лекция. Общие понятия о геохимических аномалиях. Геологическая оценка геохимических аномалий. Геохимическое поле и его локальные аномалии

К важнейшим понятиям прикладной геохимии относятся «геохимическое поле», «геохимический фон», «геохимическая аномалия».

Геохимическое поле – это пространство, характеризующееся количественными содержаниями химических элементов.

Нормальные геохимические поля – области геосфер с близкими к кларковым содержаниями химических элементов за пределами месторождений полезных ископаемых. Особенности распределения элементов в коренных горных породах, в рыхлых отложениях, водах, растениях и атмосфере, не затронутых какими-либо рудообразующими и техногенными процессами, определяют местный геохимический фон.

Геохимический фон – это среднее содержание элемента в пределах геохимически однородной системы (определенного района или участка), свободной от влияния рудных концентраций.

Геохимическая аномалия - это отклонение от геохимических норм, свойственных либо определенному типу – пород, растений, вод, либо – геохимическому ландшафту, либо определенному району. Это значительное повышение или понижение содержания элементов по сравнению с фоном.

Геохимические аномалии различаются по размерам: локальные, отвечающие по размерам рудным телам или месторождениям; региональные,

соответствующие полям концентрации и перераспределения или полям рассеяния.

Региональные аномалии выявляются при мелкомасштабных геохимических исследованиях, а **локальные** – при средне- и крупномасштабных.

Геохимические аномалии по отношению к телам или месторождениям полезных ископаемых можно разделить на **перспективные, неперспективные и ложные.**

Перспективные аномалии генетически связаны с полезными ископаемыми, поэтому они в первую очередь должны исследоваться при поисках отдельных тел и месторождений полезных ископаемых.

Неперспективные аномалии – это геохимические аномалии, связанные с повышенными, но не промышленными концентрациями элементов в горных породах (это могут быть отдельные точки и зоны рассеяния).

Ложные аномалии отличаются от выше описанных тем, что они не связаны со сколько-нибудь повышенным для данного типа пород содержанием каких-либо элементов.

На первых этапах работ, очень трудно отличить неперспективные аномалии от перспективных, для этого необходимо учитывать конкретные геохимические и геологические особенности участка. Часто большинство трудно различимых аномалий отбраковывается после проведения горных и буровых работ.

Возникновение ложных аномалий вызвано либо неправильным объединением в одну выборку проб, либо неправильным ландшафтно-геохимическим районированием территории, либо при проведении поисков не учитывались биогеохимические особенности растений.

Классификация аномалий

1. По знаку. Если содержания элементов превышают фоновые, аномалии называются **положительными**; если концентрации ниже фоновых – **отрицательными**.

2. По происхождению аномалии делятся на **природные и техногенные**.

3. По характеру геологической среды, геохимические поля которой изучаются, аномалии подразделяются на **эндогенные и экзогенные литохимические**, а также на **биогеохимические** (точнее, **фитогеохимические**), **гидро- и атмогеохимические**, т.е. аномалии, выявляемые при опробовании коренных пород, продуктов их выветривания, растительности, природных вод, почвенного или приземного воздуха.

В зависимости от распределения содержаний элементов аномалии могут быть **положительными** или **отрицательными**. Первые отличаются повышенными концентрациями элементов-индикаторов, вторые – резко пониженными.

Все ранее рассмотренные геохимические аномалии относятся к **природным**, т.е. образовавшимся без вмешательства человека.

Контрастность аномалий

Количественной характеристикой интенсивности проявления геохимических аномалий является их **контрастность**, выражаемая коэффициентом концентрации данного химического элемента в пределах аномалии (обычно в точке максимума) по сравнению со средним содержанием в фоновой совокупности, который рассчитывается по формуле:

$$\hat{E}\hat{E} = \frac{x_{a\hat{i}}}{x_{\hat{o}}}$$

где КК – коэффициент концентрации, $x_{ан}$ – аномальное содержание, $x_{ф}$ – фоновое.

По этому показателю могут различаться *слабые* и *уверенные* геохимические аномалии. **Слабая аномалия** – область содержаний химических элементов, отвечающих нижнему аномальному содержанию. **Уверенная аномалия** – область содержаний химических элементов, в n раз ($n > 2$) превышающих нижнее аномальное содержание.

Геохимические индикаторы

Элементы, распределение которых может быть использовано в качестве критерия для поисков месторождений полезных ископаемых, называются **элементами-индикаторами** оруденения.

Элементы, концентрирующиеся в рудах данного типа месторождений, являются *прямыми* индикаторами; а наиболее характерные элементы – спутники рудной минерализации выделяются в группу *косвенных* индикаторов.

Для обеспечения оптимальной эффективности поисков элемент, используемый в качестве прямого индикатора, должен удовлетворять двум условиям. Он должен обладать хорошей миграционной способностью, которая позволит обнаруживать его повышенные концентрации на достаточном удалении от месторождения. Кроме того, аналитический метод определения этого элемента должен быть быстрым, чувствительным и недорогим.

Ассоциации элементов – группы совместно накапливающихся на отдельных участках земной коры в коренных породах, почвах, растениях, водах, атмосфере элементов.

Совместное накопление элементов может объясняться общностью внутренних и внешних факторов миграции. В тех случаях, когда на концентрацию решающее влияние оказывают сходные внутренние факторы, ассоциации элементов сохраняются в широком диапазоне геологических и ландшафтно-геохимических условий. Так, устойчивы ассоциации: уран – свинец – гелий; калий – аргон, образование которых связано с радиоактивным распадом.

Если же на образование ассоциаций основное влияние оказывают внешние факторы, совместное нахождение элементов ограничено комплексом определенных условий. Ассоциация Au – Cu – As – Pb – Zn – Fe

типична только для золотосульфидных руд, при выветривании которых могут возникнуть новые ассоциации: Au – As – Fe; Cu – As – Zn – Au – Fe.

Исходя из положения В.И.Вернадского, что «в любом природном объекте содержатся все химические элементы», следует отметить, что довольно часто на отдельных участках земной коры в коренных породах, почвах, водах, атмосфере ряд элементов накапливается совместно. И это совместное накопление принято называть «ассоциация элементов». Такое совместное накопление элементов можно объяснить общностью условий миграции, обусловленных внутренними и внешними факторами. Если на концентрацию определенных элементов решающее влияние оказывают сходные внутренние факторы, то ассоциации элементов, находящихся в повышенных содержаниях, сохраняются в широком диапазоне различных ландшафтно-геологических условий. Например: устойчивые ассоциации - U, Pb, He, Th-Pb-He, K-Ar, образование которых связано с радиоактивным распадом.

Если же на образование ассоциаций основное влияние оказывают внешние факторы, то совместное нахождение элементов ограничено комплексом определенных условий (Т, Р, рН и т.д.). Например: ассоциация – Au-Cu-As-Pb-Zn-Fe типична только для золотосульфидных руд, при выветривании которых могут возникать новые ассоциации: Au-As-Fe, Cu-As-Zn-Au-Fe и т.д.

Для техногенных геохимических аномалий характерны своеобразные ассоциации химических элементов, которые определяются в основном уровнем развития науки и техники в период загрязнения. Такие аномалии представлены – свинцом, цинком, медью, молибденом, никелем, ванадием, кобальтом, барием, марганцем, титаном, хромом, железом – их еще называют «загрязняющими веществами». В техногенных аномалиях контуры, образуемые отдельными элементами, часто не совпадают. Контрастности техногенных аномалий каждого элемента могут быть резко различными.

При проведении геохимических исследований часто приходится иметь дело с ассоциациями элементов, составляющих минералы, слагающие различные горные породы (осадочные, магматические, метаморфические). Как пример можно привести данные об ассоциациях элементов, находящихся в повышенных концентрациях в коренных породах на месторождениях полезных ископаемых (таблица 1).

Как известно, в подземных водах на месторождениях почти всех типов встречаются в повышенных содержаниях Cu, Zn, Mo, являющиеся «проходящими» минералами. Их содержание не свидетельствует об оруденении, но значительные концентрации этих элементов могут иметь поисковое значение. В связи с этим, применение гидрохимического метода поисков рудных месторождений предполагает знание ассоциаций элементов, находящихся в повышенных содержаниях в водах месторождений различного типа.

Ассоциации элементов, находящихся

Таблица 1

Типы полезных ископаемых	Ассоциации элементов
Магматические месторождения	
Хромитовые	Cr, Fe, Mg, (Pt, Al)
Платиновые	Cr, Fe, Pt, (Os, Ir), Mg
Титано-магнетитовые	Fe, Ti, V
Медно-никелевые (сульфидные)	Ni, Cu, (Pt, Pd, Co)
Апатитовые	P, Ti, U, Zr, Th, Be, F, Cl, Sr, Nb, Ta, TR
Стратиформные месторождения	
Медные	Cu, Fe, (Pb, Zn, Ag)
Свинцово-цинковые	Pb, Zn, Ag, Fe, Mg (Ba, F)
Скарновые месторождения	
Железорудные	Fe, Ca, Al, Si
Медные	Cu, Fe, Ca, Al, Si, (Mo, Co), (Pb, Zn)
Молибденово-вольфрамовые	Mo, W, Fe, Cu, Al, Si
Свинцово-цинковые	Pb, Zn, Fe, Cu, Ag, Bi, Al, Si
Оловорудные	Sn, Fe, Cu, (Mo, As, Zn, Pb, Bi, Ag, W), Si
Осадочные месторождения	
Борные	B, Mg, K
Железные	Fe, Mn
Марганцевые	Mn, Fe

Алюминевые	Al, Fe
Гидротермальные месторождения	
<i>Кварцевого парагенезиса</i>	Au, As, Fe, Bi, Mo, W, U, Si, Cu
<i>Сульфидного парагенезиса:</i>	
-свинца и цинка	Pb, Ba, Zn, Cu, Fe, U, Mo
-пятиэлементной формации	Co, Bi, Ni, Ag, Ca, Ba, U, Fe, As, (Pb, Zn, Cu)
-касситерита	Sn, Pb, Zn, Fe, W
<i>Карбонатного парагенезиса</i>	
-железа	Fe, Mg, Ca, (Cu, Pb)
-марганца	Mn, Mg, Ca, (Fe, Ba)
-магния	Mg, Ca
Колчеданные	Fe, Cu, S, Zn, Pb, (Au, Ba)

Кроме прямых индикаторов оруденения в поверхностных и подземных водах, большое значение имеют косвенные элементы-индикаторы. Так, одним из лучших гидрохимических индикаторов полиметаллического оруденения является кадмий.

Гидрогеохимические поиски кимберлитовых трубок могут вестись по повышенным концентрациям Zn, Ni, Co, Cr, V, Ga, Cu.

Использование газовой съемки для поисков рудных месторождений началось сравнительно недавно. Определенные ассоциации газов отмечаются как над радиоактивными, так и над нерадиоактивными рудными телами. Так в коренных породах и почвах над полиметаллическими и ртутными месторождениями в повышенных содержаниях встречаются диоксид углерода, водород и пары ртути. Над колчеданными месторождениями – диоксид углерода (до 4%) и сероводород; над золотосодержащими сульфидными рудами – диоксид углерода и азот, а над группой сульфидных месторождений отмечаются повышенные содержания – H₂S, CO₂, SO₃.

Особое место занимают ассоциации элементов, вызванные биогеохимическими процессами. Их образование с одной стороны обусловлено физиологическими потребностями живой материи, а с другой - химическим составом окружающей и питающей среды. С изменением состава окружающей среды (коренных пород и почв) изменяется содержание в растениях металлов. Особенно резкие изменения происходят над месторождениями. Работами многих исследователей выделены

специфические ассоциации основных элементов, находящихся в повышенных содержаниях в золе растений над различными типами месторождений (таблица 2).

Ассоциации элементов над различными типами месторождений

Таблица 2

Тип месторождений	Ассоциации элементов
Скарновые	
медно-кобальтовые	Co, Ni, Cu, As, (Ag, Pb, Zn)
медные	Mo, Cu
молибденово-вольфрамовые	Mo, W, (Bi)
Грейзеновые	
сульфидные	Be, Mo, Bi
редкометалльные	Be, F, Zr, (Cu, Mo, Pb)
Гидротермальные	
золото-кварцевые	Zn, Au, (Pb, Cu)
золото-сульфидные	Au, Cu, As, (Ag, Pb, Mo)
оловорудные	Sn, Pb, Cu, Zn
медные	Mo, Cu, Zn
молибденовые	Mo
полиметаллические	Zn, Pb, (Ti, Mn)
Колчеданно-полиметаллические	Pb, Zn, Mo, Ag, (Sn, Cu)
Медно-колчеданные	Mo, Cu, Zn, Co, (Ag)
Стратиформные свинцово-цинковые	Pb, Zn, (Ag)
Никеленосные коры выветривания	Ni, (Co, Cu)

В результате геологических процессов эндогенного или экзогенного характера, сопровождающихся привнесом одних и выносом других химических элементов, в коренных породах, рыхлых отложениях и почвах могут возникать локальные участки, характеризующиеся аномальными по сравнению с геохимическим фоном содержаниями химических элементов – так называемые *литохимические аномалии*. Локальные участки, отличающиеся аномальными содержаниями химических элементов в подземных и приповерхностных водах, называются *гидрохимическими аномалиями*, а участки, характеризующиеся аномальными содержаниями выделяющихся из земных недр газов – *атмохимическими аномалиями*. Наличие аномально повышенных содержаний химических элементов в породах, почвах, водах и газах вызывает появление аномальных содержаний химических элементов в растениях, произрастающих на этой площади. В результате этого образуются *биогеохимические аномалии*, в контурах которых все растения или только отдельные их виды отличаются повышенными содержаниями некоторых элементов.

Критерии выделения геохимических аномалий

Концентрация химического элемента в каждой точке земной поверхности есть положительная функция пространства и времени:

$$C_x = f(x, y, z, t) > 0 < 100 \%$$

Это означает, что в любой точке, доступной для наблюдения, содержание элемента составляет менее 100 % (следствие первого закона В.И. Вернадского) и содержание химического элемента меняется от точки к точке и во времени (следствие проявления закона миграции элементов).

Однако, в практике работ график содержания интересующего нас элемента в породах любого участка выражается не в четырехмерном пространстве, как это отражено в формуле (1), в одновременном исходя из следующих допущений:

- проба, предназначенная для определения интересующего нас элемента, отбирается, как правило, с одной и той же глубины ($Z = \text{const}$);
- считается, что содержание определяемого элемента в той же точке для относительно короткого промежутка времени является постоянным ($T = \text{const}$);
- отбор проб осуществляется вкрест простирания геологического объекта, а в этом случае ось Y , направленная по простиранию опробуемого объекта, также имеет нулевое значение ($Y = 0$).

В конечном виде функция или формула имеет следующий вид:

$$C_x = f(x)$$

График содержания элемента по профилю опробования, построенной на основании результатов анализа проб, может иметь в этом случае двух видов:

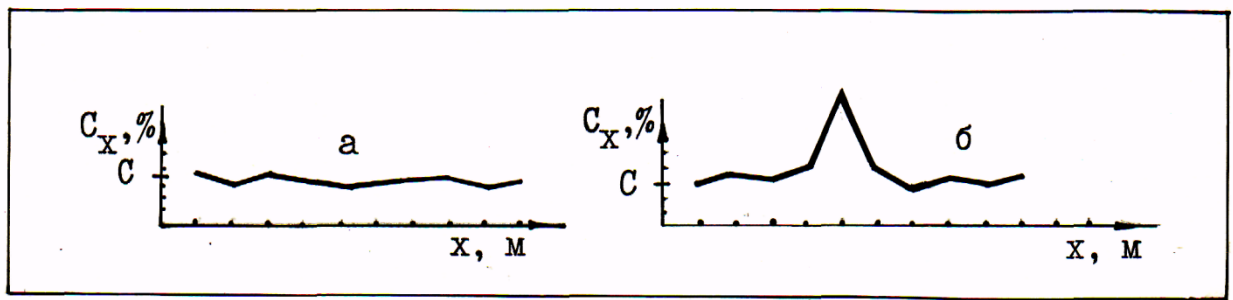


Рисунок 1 - Пример обычного (а) и аномального (б) содержания химического элемента.

C – уровень содержания соответствующего кларку.

В 99,9 – 99,99% случаев содержание элемента по профилю опробования будет близким к кларковому (рис.1, а) и лишь в 0,1 – 0,01% случаев содержание его будет гораздо больше (рис.1, б). Это и есть так называемое аномальное содержание элемента.

Таким образом, согласно закону всеобщего рассеяния элемента в геосферах, установленного В.И. Вернадским, $C_x = f(x) > 0$ и в 99,99% случаев равно кларку. Например кларк свинца в литосфере составляет $1,6 \times 10^{-3} \%$, он же для гидросферы является в 1000 раз меньшим.

Заведомо (а priori) можно утверждать, что график содержания металла вдоль профиля опробования, проходящего через обогащенный этим металлом участок, должен иметь вид, изображенный на рисунке 1,б. При рассмотрении данного графика перед геологом исследователем возникает принципиальный вопрос поисковой геохимии: *является ли данное содержание рядовым, не заслуживающим нашего внимание, или оно аномально?*

Для решения этой проблемы т.е. обнаружения и выделения геохимических аномалий существует *два критерия*. На графике содержаний элемента по профилю можно выделить явные аномалии, т.е. такие концентрации элемента, которые заведомо могут считаться *не свойственными данной геологической среде*. Например содержание меди, равное 0,5%, в гранитах является необычным, поскольку оно более чем в 100 раз превышает значение кларка меди в породах земной коры. В этом случае геолог вполне обоснованно считает, что им обнаружен участок проявления оруденения в гранитах. Макроскопически в породах будет видна вкрапленность халькопирита, а если порода подверглась к тому же выветриванию, в ней будет присутствовать также яркие вторичные минералы (малахит, хризоколлы и др.). Без какой-либо дискуссии мы обязаны считать этот интервал опробованного профиля явной геохимической аномалией, не требующей для своего обоснования математической или иной аргументации (рисунок 2).

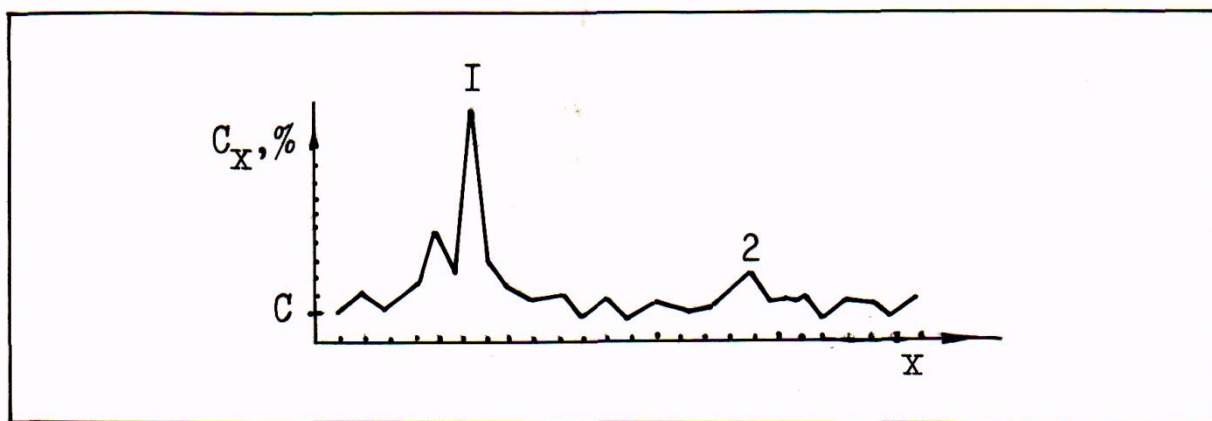


Рисунок 2 – Аномалия явная (1) и скрытая (2).
C – уровень содержания соответствующего кларку.

Утверждение о том, что точка 2 на профиле опробования (рис.2) является аномалией, требует некоторого обоснования с использованием понятия *геохимический фон*. Геохимический фон – это среднее содержание интересующего нас элемента в горных породах в удалении от явных аномалий. Таким образом, для определения величины геохимического фона или иначе фоновое содержание элемента в породе, необходимо, прежде всего, выбросить из рассмотрения участки локализации явных аномалий.

Если сопоставить между собою графики содержания одного и того же элемента по двум участкам, значительно удаленным друг от друга, можно установить следующее. Содержания элемента на рассматриваемых участках будут различаться как *по своему уровню*, иначе абсолютной величине их значений, так и *по степени их устойчивости*, то есть характеру колебания уровня фона относительно его среднего содержания (рисунок 3).

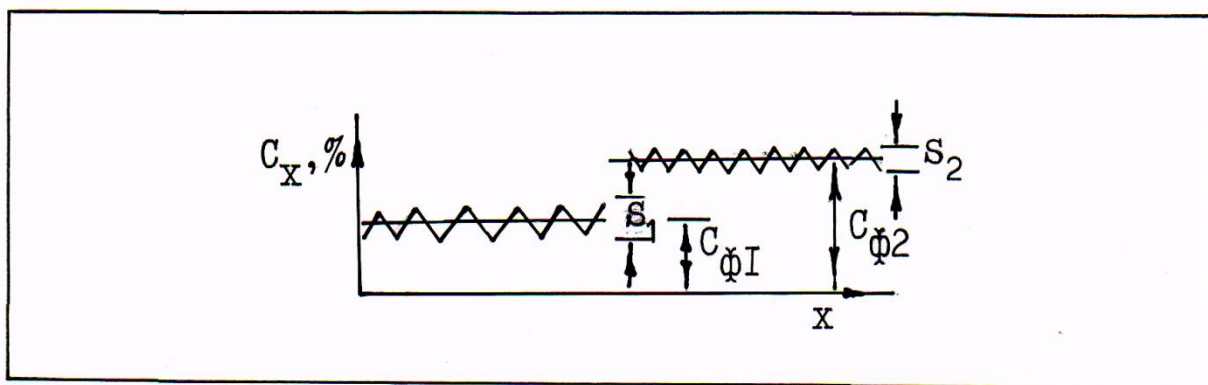


Рисунок 3 – Основные параметры распределения элемента в породах (S, Cφ), используемые для вычисления нижней границы геохимической аномалии.

В данном случае (рис.3) по уровню содержания элемента $C_{\phi 2} > C_{\phi 1}$, а по степени изрезанности $S_1 > S_2$, где S – величина, характеризующая степень устойчивости (или другими словами степень изрезанности) кривой. Она получила название среднеквадратичного или стандартного отклонения

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C_i - C_{\phi})^2}{n-1}}$$

случайных значений содержаний от их среднего значения и определяется по следующей формуле:

где, C_i – значения содержания определяемого элемента поочередно во всех точках пробоотбора;

$C_{ср}$ – среднеарифметическое значение содержания этого же элемента в выборке (геохимический фон).

Величина среднеквадратичного (стандартного) отклонения (S) используется в качестве основного критерия для выделения геохимических аномалий.

Для выделения аномалий необходимо определить минимальное аномальное содержание ($C_{ан}$) или верхний и нижний пределы его колебания относительно нормального фонового ($C_{ф}$) содержания.

$$C_{ан} = C_{ф} + 3S$$

где $C_{ан}$ – аномальное содержание элемента,

$C_{ф}$ – фоновое содержание элемента,

S – среднеквадратическое отклонение.

Поэтому, если точка графика лежит выше этого значения, она является аномальной, если ниже – колебанием фона (рисунок 4).

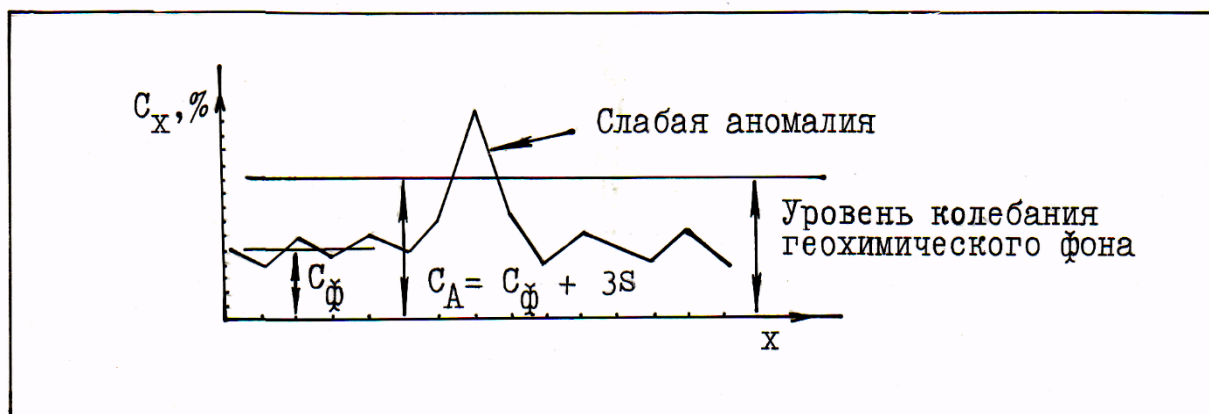


Рисунок 4 – Принцип определения нижней границы (порога) геохимической аномалии.

Вопросы для самоподготовки:

1. Что такое геохимическая аномалия?
2. Как подразделяются геохимические аномалии по размерам?
3. Как классифицируются геохимические аномалии?
4. Что такое «ассоциация элементов» и чем она обусловлена?
5. Какие Вам известны ассоциации элементов в природных водах?
6. Какие существуют ассоциации элементов в газах?
7. Какие характерны ассоциации элементов для растений?

8. Каковы основные принципы, используемые при выделении геохимических аномалий?

**8-лекция. Геохимические ландшафты. Классификация ландшафтов.
Геохимические съемки. Виды и масштабы геохимических съемок
(картирования)**

Геохимические поиски месторождений полезных ископаемых ведутся на земной поверхности, в области сочленения литосферы с атмосферой и гидросферой, в условиях активной современной механической, солевой и биогенной миграции химических элементов.

В итоге методика этих геохимических поисков и оценка выявленных литохимических, гидрохимических, атмохимических и биогеохимических аномалий в большой мере определяется закономерностями гипергенной миграции элементов. Глубина, на которую распространяются процессы гипергенеза на суше, зависит от многих факторов и их разнообразного сочетания, определяющего разрушение пород и вынос подвижных продуктов выветривания элювиальными процессами. Наиболее активно эти процессы протекают до глубин грунтовых вод в так называемой зоне просачивания (инфильтрации), где происходит достаточно свободная и быстрая миграция атмосферных вод. Воды этой зоны богаты кислородом, углекислотой, часто органическим веществом, поэтому характеризуются значительной окисляющей и растворяющей способностью.

Ниже уровня грунтовых вод происходит подземный сток в сторону гидрографической сети (реки, озера и т. д.), на основании чего выделяется одна общая верхняя зона активного водного обмена в гипергенной оболочке.

Исключительно важную роль в составе и строении зоны гипергенеза играют разнообразные генетические типы почвенного покрова, кора выветривания и зона окисления, механические и химические осадки, биогенные продукты аккумуляции, геохимические ландшафты и связанные с ними химические элементы.

С зоной гипергенеза связаны крупные месторождения бокситов, каолинов, железа, марганца, никеля, кобальта, редких элементов. В зоне гипергенеза формируются различные генетические и геохимические типы ландшафтов (зональные, региональные, элементарные).

Геохимический ландшафт это участок земной поверхности, отличающийся особенностями миграции химических элементов, обусловленных комплексом взаимосвязанных и взаимозависящих природных факторов и процессов. Главную роль при этом играют поверхностный и подземный сток, почвообразовательные процессы, биогенные аккумуляции и т.д.

В природных условиях ландшафты представлены разными категориями: огромными зонами (тайга, степь, пустыня); крупными областями, обусловленными тектоническими нарушениями и характером

рельефа; местными ареалами т.д. Различные генетические типы и разновидности почв (лессы, чернозем, суглинки, супеси и т. д.) наиболее ярко отражают геохимические ландшафты, т.к. однородность почвы должна соответствовать определенному составу растительности, однородному составу почвообразующей породы, определенному макро- и микроклимату. Элементы, активно мигрирующие в почвах и природных водах и определяющие характерные черты ландшафта в данной области, районе, участке рельефа получили название «типоморфных». К главным типоморфным элементам и ионам относятся: Si, Al, Fe, H, Ca, Na, Mg, Cl, SO₄ и другие, миграция которых в ландшафтах накладывает отпечаток на почвы, природные воды, растительный покров и связывает все черты ландшафта крепкой причинной связью. Так, в степной зоне характерное для ландшафтов сочетание элементов – Ca, Mg, уголекислота, образующих карбонаты; в меньшей степени – Na, Cl, H, сульфатный анион. Для пустынной зоны важнейшими мигрантами в ландшафтах являются катионы и анионы, ведущие к образованию хлоридных, сульфатных и в меньшей степени карбонатных солей.

Выделяются следующие геохимические показатели ландшафта:

- 1) количество живого вещества, ежегодно продуцирующегося в ландшафте;
- 2) общее количество живого вещества, содержащегося в ландшафте;
- 3) качество живого вещества, т.е. специфика отдельных видов организмов и органогенных соединений (белки, углеводы, лигнин и др.);
- 4) интенсивность разложения мертвых органических остатков;
- 5) количество и качество мертвого органического вещества, накапливающегося в ландшафте (гумус, торф и т.д.);
- 6) количество минеральных элементов почвы, ежегодно вовлекаемых в биологический круговорот;
- 7) ряды биологического поглощения (избирательная способность организмов к поглощению элементов);
- 8) коэффициенты миграции элементов;
- 9) типоморфные химические элементы и ионы;
- 10) геохимические особенности природных вод;
- 11) минеральные соединения, накапливающиеся в почвах или коре выветривания;
- 12) важнейшие обменные катионы почв, ила, коры выветривания;
- 13) редкие и рассеянные элементы;
- 14) геохимическое сопряжение и геохимическая контрастность ландшафта в пространстве и во времени.

Совокупность этих геохимических показателей может дать более или менее полное представление о:

- 1) составе элементов и их соединений в конкретном ландшафте;
- 2) миграции, рассеянии и концентрации элементов в коре выветривания и ландшафтах;
- 3) биологической, биогеохимической активности организмов;

4) тенденции и направленности геохимических процессов, а затем геохимических поисков.

Выделяются три основных типа ландшафтов:

- элементарные ландшафты
- геохимические ландшафты
- межбарьерные ландшафты

Элементарный ландшафт (по Б.Б.Полынову) «в своем типичном проявлении должен представлять один определенный тип рельефа, сложенный одной породой или наносом и покрытый в каждый момент своего существования растительным сообществом. Все эти условия создают определенную разность почвы, свидетельствуя об одинаковом на протяжении элементарного ландшафта развитии взаимодействия между горными породами и организмами». Одной из особенностей элементарного ландшафта является обязательное отсутствие внутренних причин, ограничивающих площадь их распространения. Так можно считать элементарным ландшафтом пятно солончака, а вот болотную кочку или муравейник – нельзя. У одинаковых элементарных ландшафтов должны быть аналогичные геоморфологические условия, одинаковые разности почв, одинаковая растительность, одинаковый состав грунтовых вод, одинаковые почвоподстилающие коренные породы (при этом учитывается состав горных пород, а не коры выветривания).

Для характеристики элементарных ландшафтов используются такие понятия как площадь выявления и мощность ландшафта. Под площадью выявления понимают наименьшую площадь, на которой представлены все части данного элементарного ландшафта. Мощность ландшафта определяют расстоянием от зоны распространения пыли в тропосфере до горизонта грунтовых вод. По вертикали элементарные ландшафты неоднородны и разделяются на отдельные ярусы. Основные из них – надземная часть ландшафта, в которой выделяется ярус надземного живого вещества, почва, почвоподстилающая кора выветривания с материнскими горными породами, водоносный горизонт (рисунок 4.1).

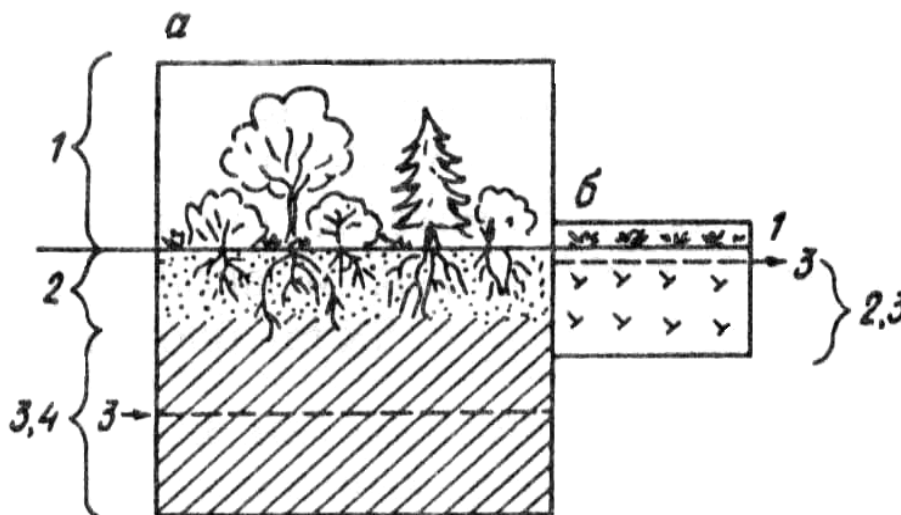


Рисунок 4.1 – Вертикальный профиль а) лесного и б) болотного ландшафтов.
1 – наземная часть ландшафта; 2 – почва; 3 – водоносный горизонт; 4 – кора выветривания, коренные породы.

Геохимический ландшафт – по определению А.И. Перельмана – «это парагенетическая ассоциация сопряженных элементарных ландшафтов, связанных между собой миграцией элементов». Наибольшее значение для осуществления связей между элементарными ландшафтами, составляющими единый геохимический ландшафт, имеют поверхностный и подземный сток. Для характеристики геохимических ландшафтов кроме мощности и площади выявления введены такие понятия как *геохимическое сопряжение* и *местный ландшафт*. *Геохимическое сопряжение* представляет собой закономерное для каждого геохимического ландшафта сочетание образующих его элементарных ландшафтов. Совокупность же элементарных ландшафтов, свойственных определенной геоморфологической структуре геохимического ландшафта, получила название *местного ландшафта*. Геоморфологической структурой, объединяющей элементарные ландшафты в местный, может быть водораздел, склон, терраса, лог и т.д.

Межбарьерные ландшафты - представляют собой совокупности элементарных ландшафтов, связанных единым видом миграции элементов и расположенных между двумя геохимическими барьерами одного класса. Выделение этих ландшафтов связано не только с конкретным видом миграции химических элементов, но и с определенной формой их нахождения в миграционном потоке. Так, элементарные ландшафты между механическими барьерами (рис. 4.3, а) объединены процессом механической миграции элементов, находящихся в водах постоянных и временных потоков в минеральной форме. На механическом барьере часть этих элементов, входящих в состав наиболее тяжелых минералов, таких как самородные золото и платина, киноварь, вольфрамит и др., концентрируется, временно прекратив миграцию. Элементарные ландшафты, расположенные между глеевыми барьерами (рис. 4.3, б), связаны миграцией элементов, находящихся в форме водных растворов. Часть этих элементов (Cu, Mo, U и др.) прекращает миграцию на глеевых барьерах, перейдя в сравнительно трудно растворимую минеральную форму.

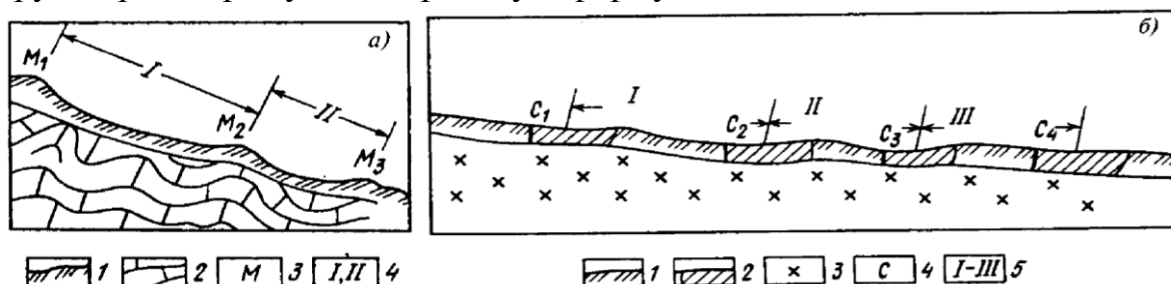


Рисунок 4.3 – Межбарьерные ландшафты (разрез), связанные с миграцией элементов:

- а* – механический (1 – почвы; 2 – коренные горные породы; 3 – механические барьеры; 4 – первый и второй межбарьерные ландшафты);
- б* – в форме водных растворов (1 – почвы; 2 – зоны заболачивания; 3 – коренные горные породы; 4 – глеевые барьеры; 5 – межбарьерные ландшафты)

Выделение межбарьерных ландшафтов может способствовать в определенных ландшафтно-геохимических условиях увеличению эффективности шлиховых поисков месторождений, поисков по вторичным литохимическим ореолам и потокам рассеяния. Для этого необходимо на ранних стадиях поисков в первую очередь проводить опробование геохимических барьеров. Так, если в рассматриваемом примере (рис. 4.3, *а*) результаты поисков по потокам рассеяния показывают, что существенная концентрация золота отмечается на третьем механическом барьере, то можно уверенно предполагать, что источник металла, поступающего в водный поток, расположен в пределах межбарьерного ландшафта, ограниченного вторым (М2) и третьим (М3) механическими барьерами.

Точно так же можно использовать межбарьерные ландшафты при поисках месторождений по вторичным ореолам в районах с часто меняющимися условиями миграции элементов, например на пологих слабозаболоченных склонах, где каждый участок представляет собой своеобразный глеевый барьер. И если участок с резко повышенной концентрацией молибдена приурочен к барьеру С4 (рис. 4.3, *б*), то вероятный источник металла, мигрирующего в форме растворов, должен располагаться в пределах третьего межбарьерного ландшафта.

Классификация ландшафтов

Классификация по уровням позволяет систематизировать имеющиеся многочисленные данные о состоянии окружающей среды, составлять карты геохимических ландшафтов различных масштабов и таким образом решать важнейшие прикладные задачи, связанные с проблемами окружающей среды и поисков месторождений полезных ископаемых.

Первый классификационный уровень

На первом (самом высоком) таксонометрическом уровне А.И. Перельманом предложено учитывать основные формы движения материи. В соответствии с этим, на рассматриваемом уровне ландшафты в зависимости от преобладания в них основного вида миграции можно разделить на: *абиогенные, биогенные и техногенные.*

Основная отличительная черта *абиогенных* ландшафтов – отсутствие биогенной миграции элементов, а, следовательно, биологического круговорота элементов. К таким ландшафтам относятся центральные части Антарктиды и Гренландии, а также хребты и вершины гор, покрытые ледниками. В пределах этих ландшафтов преобладают механическая и физико-химическая миграция элементов. Кроме того, в абиогенные ландшафты все больше попадает элементов за счет процессов техногенеза.

В *биогенных* (природных) ландшафтах всегда существует биологический круговорот элементов, а ведущим видом миграции элементов

обычно являются биогенные. Механическая и физико-химическая миграции в этих ландшафтах, как правило, играют подчиненную роль. Следует отметить, что все большая часть биогенных ландшафтов испытывает постоянно растущее антропогенное (техногенное) воздействие.

В *техногенных* ландшафтах биологический круговорот элементов в значительной степени нарушен, а определяющим видом является техногенная (социальная) миграция, аналогов которой по комплексу элементов свойственных их техногенным соединениям и дальности их перемещения в природе практически нет.

Выявляется общая тенденция к постепенному переходу биогенных ландшафтов в техногенные и к всё возрастающей скорости формирования ноосферы.

Второй классификационный уровень

На втором классификационном уровне деление биогенных ландшафтов базируется на особенностях биогенной миграции элементов, оценка которых включает учет количественной роли биогенной миграции и скорости перехода элементов в форму, соответствующую основному виду миграции (в природных ландшафтах это – скорость перехода элементов из водных растворов, газовых смесей и минеральной формы в биогенную). Кроме того, в определенной мере учитывается и скорость обратного перехода, связанного в биогенных ландшафтах с разложением растений (их отдельных частей), поступающих в результате отмирания в почву. Основными показателями для такого учета служат величины общей биомассы (Б) и ежегодной продукции (П). По изменению отношения биомассы к ежегодной продукции среди биогенных ландшафтов выделяют пять групп: 1) леса; 2) степи (луга, саванны); 3) пустыни; 4) тундры и верховые болота; 5) примитивные пустыни. Их формирование и обычная зональность размещения в основном определяются климатом. Группы в свою очередь подразделяются на типы в зависимости от изменения отношения $\lg П / \lg Б$ (коэффициент К).

Третий классификационный уровень

Все ландшафты разделяются в зависимости от особенностей миграции химических элементов непосредственно в почвах, т.к. в почвах природных ландшафтов наблюдается наибольшее напряжение геохимических процессов, при этом, максимум характерен для гумусового горизонта, который можно считать своеобразным геохимическим центром.

Кроме того почвы – это важнейшее звено, связывающее почвоподстилающие породы и воды (т.е. постоянные и основные природные источники элементов, поступающих в ландшафт) с приземной атмосферой и живыми организмами.

Перемещение элементов в почвах во многом определяется такими факторами как режим кислорода и серы (окислительные и восстановительные обстановки), щелочно-кислотные условия и набор типоморфных минералов.

В различных ландшафтных условиях выделяются три окислительно-восстановительных обстановки: 1) окислительная со свободным кислородом;

- 2) глеевая, восстановительная без свободного кислорода и без сероводорода;
- 3) сероводородная.

Щелочно-кислотные условия несколько условно разделяются на: сильнокислые (рН) - меньше 3-х; кислые и слабо кислые (рН-3-6,5); нейтральные и слабо щелочные (рН – 6,5-8,5); сильно щелочные (рН – более 8,5).

Четвертый классификационный уровень

На этом уровне биогенные и техногенные ландшафты разделяются с учетом особенностей воздушной (атмосферной) миграции элементов. Выделяются следующие ландшафты: 1) подверженные воздушной эрозии; 2) не подверженные воздушной эрозии; 3) с современным отложением эолового материала.

Пятый классификационный уровень

На этом уровне ландшафты подразделяются с учетом геоморфологических особенностей района. При проведении мелкомасштабных исследований, охватывающих большие территории, а также при работе в горных условиях рекомендуется выделять ландшафты: 1) равнинных областей; 2) низкогорья и среднегорья; 3) высокогорных областей. Эти ландшафты отличаются по интенсивности процессов миграции, определяющейся в основном силами гравитации.

Шестой классификационный уровень

На этом уровне деление ландшафтов происходит с учетом изменения состава коренных горных пород, на которых и под влиянием которых происходит формирование почв. Для выделения различных ландшафтов необходимо в первую очередь классифицировать осадочные породы, карбонатно-терригенные и терригенные. Такое разделение обусловлено их большим влиянием на карбонатность и щелочность почв.

Магматические породы при классификации ландшафтов разделяются на кислые и основные. Выделяются интенсивно метаморфизованные породы.

Мелкомасштабное ландшафтно-геохимическое районирование территории весьма важно для обоснования методики геохимических поисков рудных месторождений. В задачу его, в частности, выделение районов, в которых производство наземных литохимических является не эффективным и должно быть заменено на гидро, - атмо, - или биогеохимическое либо выполняться в варианте глубинных поисков.

Седьмой таксономический уровень.

Объединение биогенных и техногенных ландшафтов ведется по геоморфологическим особенностям района, при этом различают элювиальные (водораздельные), супераквальные (надводные) и субаквальные (подводные) области. М.А. Глазовская предложила выделять по геоморфологическим особенностям дополнительный ряд ландшафтов: 1) трансэлювиальные, включающие верхние части склонов; 2) трансаккумулятивные, расположенные в нижних частях склонов и сухих ложбин; 3) транссупераквальные на участках склонов надводных ландшафтов (сюда же относятся пойменные ландшафты); 4) собственно

супераквальные, расположенные в пределах замкнутых понижений со слабым водообменом; 5) трансаквальные, включающие реки и проточные озера; к этим же ландшафтам тяготеют водохранилища и дельтовые болота.

Восьмой таксономический уровень.

В основу объединения биогенных и техногенных ландшафтов положены закономерности миграции и соотношение между элементами, поступающими в данный ландшафт от их постоянного природного источника, которым являются почвоподстилающие образования. В связи с этим на данном уровне объединение ландшафтов ведется в зависимости от изменения состава почвоподстилающих горных пород и кор выветривания. При проведении ландшафтно-геохимического картографирования в масштабе 1:500 000-1:200 000 выделяются самостоятельные ландшафты над карбонатными, карбонатно-терригенными и терригенными осадочными породами; над интрузивными и эффузивными кислыми, средними и основными породами, а также над интенсивно метаморфизованными породами. Если в районе работ встречаются почвоподстилающие толщи (свиты, горизонты), резко отличающиеся от аналогичных по петрографическому составу пород содержанием ряда элементов (особенно рудных), то расположенные над ними ландшафты следует также выделять отдельно. При детальном исследовании может проводиться более дробное деление горных пород с учетом не только их минералого-геохимических особенностей, но и возраста.

Геохимические съемки (цель, задачи, условия проведения)

Исследования геохимического поля с целью поисков месторождений полезных ископаемых ведутся методами геохимических съемок. В основе геохимических методов поисков месторождений полезных ископаемых лежат четыре важнейших *положения геохимии*, имеющие первостепенное прикладное значение и подтвержденные бесспорными опытными данными:

а) *повсеместное распространение* химических элементов во всех геосферах – что подтверждается результатами химических анализов любых горных пород, минералов, природных вод, органических образований;

б) *непрерывная миграция* элементов во времени и пространстве находит отражение как в гигантских тектоно-магматических процессах, преобразующих земную кору, так и в тончайших химических реакциях, протекающих в живом веществе, в непрерывном поступательном развитии окружающего мира. Как мы уже знаем – миграция химических элементов определяется многочисленными внутренними и внешними факторами.

в) *многообразие видов и форм существования элементов* в природе – находит отражение во множестве тех природных химических соединений, механических смесей и растворов, которые они образуют в различных агрегатных состояниях, и многообразии физико-химических связей между элементами. Наряду с минеральной формой существования элементов, насчитывающей около 3000 видов, широко проявлены - безминеральные формы, которые для гидросферы, биосферы и атмосферы служат основной

формой существования большинства химических элементов (N, H, Ar, Cl, F, B);

г) *преобладание рассеянного состояния* элементов над концентрированным, особенно для рудообразующих элементов. В процессе миграции химических элементов, с учетом многообразия видов и форм их существования, возможно возникновение природных образований, с практически любым (весьма низким или очень высоким) содержанием конкретного элемента.

В основе геохимических съемок лежит систематическое измерение содержаний химических элементов вдоль заранее выбранных направлений – профилей или маршрутов. Система таких профилей геохимического опробования, распространенных по площади (или на глубину), образуют участок поисковой геохимической съемки, а выявленные при этом геохимические аномалии рассматриваются в качестве объектов, подлежащих оценке. В зависимости от опробуемого вещества, по наименованию исследуемых геосфер различаются: литохимические, гидрохимические, атмохимические (газовые) и биогеохимические методы поисков и одноименные им виды геохимических съемок.

По условиям производства различают наземные (пешеходные и автомобильные), воздушные (самолетные и вертолетные) и подземные геохимические съемки. Геохимические съемки выполняются с отбором и без отбора проб (замеры приборами), с точечными или непрерывными определениями содержаний химических элементов по профилям.

При литохимических съемках опробуются горные породы на дневной поверхности, горные выработки, скважины, продукты современного или древнего выветривания горных пород и почв. При поисковых литохимических съемках в пробах определяются содержания до 35-45 иногда до 55 химических элементов. В настоящее время еще нет контактных или дистанционных методов одновременного определения многих элементов, но уже ведутся съемки без пробоотбора на какой либо один химический элемент (Be, B, F, Hg) или сумму нескольких элементов (Pb, Zn, Cu) – прибор «Поиск». Наибольшее и весьма эффективное применение получили гамма-спектральные – пешеходные, автомобильные и особенно аэрогеохимические съемки, при которых одновременно определяются содержания урана (по радону), тория и калия. При гидрохимических съемках в поисковых целях опробуются природные поверхностные и подземные воды. Атмохимические съемки обычно выполняются путем опробования подземной атмосферы (почвенного воздуха), реже исследуется состав приземной атмосферы. Поисковые биохимические съемки ведутся путем исследования химического состава растительности.

По целевому назначению геохимические съемки делятся на: 1) рекогносцировочные, при необходимости выполняемые в масштабе 1:1000000 и мельче; 2) собственно поисковые, последовательно выполняемые на всей территории горнорудных районов в масштабе 1:200000, а затем в масштабе 1:50000; 3) детальные (поисково-оценочные) в масштабе 1:10000

на выборочных участках; 4) разведочные в масштабе 1:1000 и крупнее в пределах рудных полей.

Для отнесения геохимических съемок к определенному масштабу плотность наблюдений должна составлять не менее 1 точки на 1 см² отчетной карты. Плотность наблюдений при проведении литохимических съемок сведены в таблицу 4.3.

Плотность наблюдений при проведении литохимических съемок

Таблица 4.3

Масштаб	Расстояние между профилями	Шаг опробования	Плотность точек наблюдения	
			на 1 км ²	на 1 см ² карты
1:50 000	500	50-100	40-20	10-5
1:10 000	100	20-45	500-400	5-4
1:5 000	50	10-20	2000	5
1:2 000	25	10	4000	2-3

Рудные месторождения могут сопровождаться одновременно несколькими аномалиями (литохимическими, гидрохимическими, атмохимическими, биохимическими). Однако из соображений целесообразности геохимические поиски должны проводиться только одним, в редких случаях двумя методами. Накопленный опыт показывает, что в широком диапазоне геологических условий преимущества для поисков рудных месторождений имеют литохимические исследования. Это положение сохранится, по-видимому, до тех пор, пока промышленная добыча металлов будет ориентироваться на их извлечение из литосферы. С ростом требований к глубинности поисков и прогрессом в методике атмохимических съемок, увеличится роль газовой съемки, поскольку именно в газовой фазе миграция химических элементов протекает наиболее активно.

Использовать нужно тот из видов геохимических съемок, который в данных геологических ландшафтах и других условиях даст наибольший геолого-экономический эффект.

Вопросы для самоподготовки:

1. Дать характеристику геохимическому ландшафту.
2. Как подразделяются ландшафты?
3. Дать классификацию ландшафтов.
4. Каковы основные положения, лежащие в геохимических методах поисков?

5. Как подразделяются геохимические съемки по условиям производства?
6. Как делятся геохимические съемки по целевому назначению?

9-лекция. Первичные ореолы рудных месторождений. Оценка первичных ореолов. Зональность первичных ореолов. Оценка продуктивности первичных ореолов и прогноз скрытого оруденения

Под ореолами понимаются области повышенной концентрации рудного вещества вокруг месторождений, генетически связанные с формированием или разрушением этих месторождений. Выделяются первичные и вторичные ореолы.

Каждая залежь полезного ископаемого на периферии промышленных содержаний ценных компонентов окружена областью их убывающих (некондиционных) содержаний, постепенно приближающихся к местному фону.

Эта зона повышенных содержаний рудных или сопутствующих элементов в околорудных (коренных) породах, образованная одновременно с рудным телом в результате тех же процессов эндогенного, экзогенного (первично-осадочного) или метаморфогенного рудообразования называется его первичным ореолом.

Граница между рудным телом и его первичным ореолом часто имеет не геологический, а только временный, экономический смысл, отделяя промышленные руды от забалансовых. При пересмотре требований к среднему содержанию металла в рудах и, следовательно, нижнего промышленного (бортowego) содержания форма рудного тела в его границах с первичным ореолом соответственно изменится.

Однако, понятие о первичном геохимическом ореоле месторождения или рудного тела значительно шире существующего понятия о «забалансовых рудах», внешний контур которых определяется только более низким, чем бортowego, содержанием ценного металла, и которые в недалекой перспективе могут стать предметом промышленной отработки.

Первичный ореол включает зону рудовмещающих пород с содержаниями металлов, лишь в самой незначительной степени превышающих местные фоновые содержания, а также зоны аномальных содержаний элементов-спутников оруденения, не являющихся ценными компонентами залежи.

По периферии первичного ореола содержания рудных элементов постепенно приближаются к фоновым, что определяет сложную конфигурацию и условный характер его внешней границы.

В простейшем случае первичный ореол основного рудного элемента повторяет в расширенных границах форму рудного тела.

Контуры первичных ореолов элементов-спутников могут существенно отличаться от формы рудных тел.

В основном, методы поисков месторождений по их первичным ореолам рассматриваются на примере рудных месторождений, хотя основные положения этой методики применимы к поискам любых твердых полезных ископаемых, а в принципе и месторождений нефти и газа.

Литохимическую аномалию в рудовмещающих породах допустимо называть «первичным ореолом» только при условии доказанного или предполагаемого ее развития, вокруг или около рудного тела или месторождения.

Поскольку образование первичных ореолов обязано рудоотложению, т.е. процессам концентрации химических элементов, то не следует называть их «ореолами рассеяния», оставляя этот термин для обозначения вторичных (гипергенных) геохимических ореолов, возникающих в процессе ликвидации (рассеяния) ранее сформированных месторождений.

Первичный ореол основного рудного элемента в границах нижнего аномального содержания, в первом приближении, воспроизводит в расширенном виде контур рудного тела, с отступлениями, подчиняющимися структурно-тектоническому, магматическому или литолого-стратиграфическому контролю оруденения.

Граница между рудным телом и его первичным ореолом часто имеет не геологический, а только временный экономический смысл, отделяя промышленные руды от забалансовых.

Первичный ореол включает зону рудовмещающих пород с содержаниями металлов, лишь в самой незначительной степени превышающими фоновое содержание. Контуры первичных ореолов иногда повторяют форму рудного тела, а иногда существенно отличаются от формы рудного тела. (Рисунок 1).

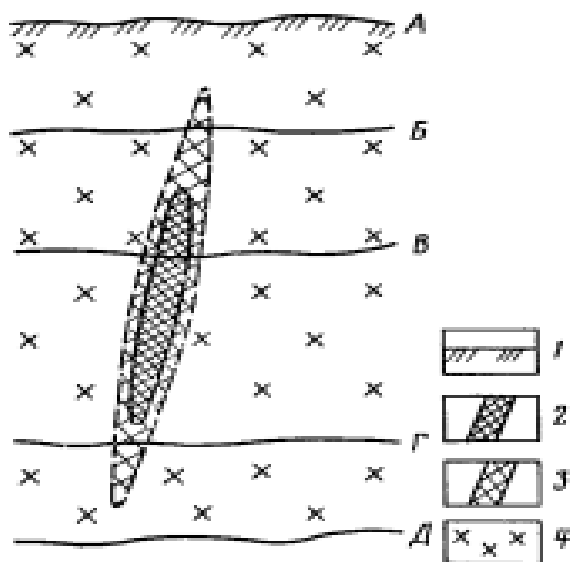


Рисунок 1 – Уровни денудационного среза рудного тела и его первичного ореола.

1 – первоначальная дневная поверхность; 2 – рудное тело; 3 – первичный ореол основного рудного элемента; 4 – рудовмещающие породы.

Уровень А – отвечает условиям слепого залегания рудного тела, сопровождаемого слепым первичным ореолом;

Уровень Б – вскрывает надрудный первичный ореол, сопровождаемый слепым рудным телом;

Уровень В – вскрывает рудное тело и примыкающий к нему первичный ореол;

Уровень Г – отвечает условиям, когда рудное тело уже уничтожено денудацией, сохранился лишь подрудный интервал первичного ореола;

Уровень Д – отвечает стадии полной ликвидации гипергенными процессами коренного месторождения и его первичного ореола.

Аномальные содержания рудных элементов, образованные не одновременно с рудным телом, в результате других процессов, не могут именоваться его первичным ореолом.

Литохимические аномалии вслед за их обнаружением требуют оценки. Эта задача смещается в область методики разведки, если скважина, канава или шурф вскрыли богатое или мощное рудное тело, хотя и в этом случае геохимические исследования играют существенную роль.

Важнейшую геолого-поисковую задачу, в решении которой геохимическим методам принадлежит основная роль, составляет *оценка непромышленных проявлений рудной минерализации*, допускающих предположение об их принадлежности к числу первичных ореолов скрытых рудных тел (рисунок 2).

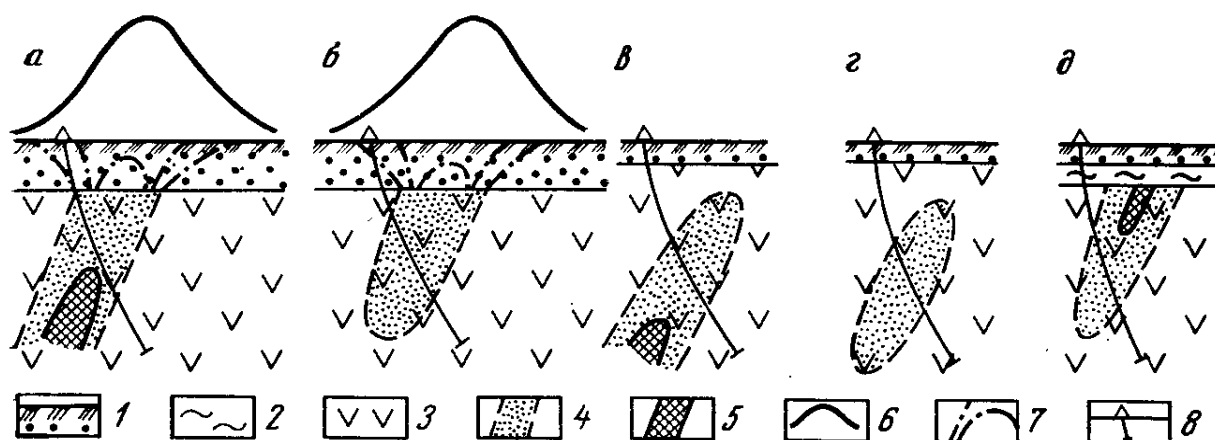


Рисунок 2 – Различные варианты вскрытия скважиной первичного геохимического ореола.

Оруденение на современной поверхности: а – первичный надрудный ореол; б – зона рассеянной минерализации (ЗРМ) или подрудный ореол. Оруденение в скрытом залегании: в – первичный надрудный ореол слепого рудного тела; г - ЗРМ; д – подрудный первичный ореол погребенного месторождения.

1 – элювий-делювий; 2 – дальнеприносные отложения; 3 – рудовмещающие породы; 4 – непромышленная минерализация или первичный ореол; 5 – рудное тело; 6 – график содержаний рудного элемента в гипергенном ореоле рассеяния; 7 – вторичный ореол рассеяния; 8 – поисковая скважина.

Все пять скважин пересекли зону минерализации, но только в случаях а и б не промышленная минерализация заслуживает *разведки на глубину*.

Решение о принадлежности выявленной аномалии к надрудному ореолу или к другим горизонтам рудной зоны принимается на основе анализа ее устойчивых геохимических характеристик с учетом генетического типа оруденения.

Рудное тело и его первичный ореол должны рассматриваться в качестве единой, сложно построенной литохимической аномалии – зона рудной минерализации с условным внешним контуром и определенными внутренними закономерностями пространственно-упорядоченного распределения химических элементов.

Изолированное, в отрыве от рудного тела изучение геохимических характеристик первичного ореола *недопустимо* и может привести к неверным выводам.

Закономерности внутреннего строения рудных зон выявляются путем геохимического изучения различных по генезису, структурно-геологической и литолого-стратиграфической приуроченности хорошо разведанных месторождений главнейших промышленных типов.

Численные величины параметров, характеризующих ореольные и рудные сечения эталонных месторождений, служат критериями оценки литохимических аномалий при поисках. Успешное ведение литохимических исследований по первичным ореолам немыслимо без понимания закономерностей процессов рудообразования. В свою очередь, исследования первичных геохимических ореолов обогащают учение о рудных месторождениях дополнительными данными.

Наиболее полно исследованы первичные ореолы эндогенных месторождений. Наибольшее внимание было уделено изучению первичных ореолов гидротермальных месторождений.

Это работы Н.И. Сафронова, С.В. Григоряна, Л.Н. Овчинникова, В.З. Фурсова, Н.А.Озеровой, Н.М. Страхова.

Общепринятыми являются представления о гидротермальном рудообразовании в результате выпадения металлов из горячих газовой-жидких высокоминерализованных растворов, движущихся в горных породах вдоль ослабленных зон, в направлении из глубины к поверхности.

Перенос металлов гидротермами предполагается в форме галоидных комплексов, преимущественно хлоридов типа $\text{Na} [\text{MeCl}_4]$ или $\text{Na} [\text{MeCl}_3]$, иногда фторидов, при участии гидросульфидных комплексов и CO_2 . Осаждение рудных минералов из гидротерм происходит вследствие падения T и P , в результате взаимодействия растворов с боковыми породами а также водами, изменения pH и Eh и др. условий нарушающих фазовые равновесия в системе *раствор-порода*.

Многокомпонентный состав гидротерм и различия в условиях осаждения отдельных компонентов раствора определяют минералогическую и химическую зональность оруденения.

Максимально первичные ореолы распространяются вдоль предполагаемых направлений напорного течения (инфильтрации) растворов – по восстанию и простиранию рудных тел, по которым эффективные

размеры ореолов могут достигать многих сотен метров. Более ограничены околорудные первичные ореолы, возникающие в результате диффузии растворов по направлению вкрест простираения рудных зон, в отдельных случаях их эффективные размеры составляют только первые метры.

Однако, чаще околорудные ореолы месторождений формируются в результате сочетания инфильтрации и диффузии растворов, захватывая обширную зону постепенно затухающей трещиноватости боковых пород.

Вследствие этого первичные ореолы гидротермальных месторождений в сечении нередко имеют сложную форму, характеризуюсь чередованием резко аномальных (инфильтрация) и повышенных околофоновых (диффузия) содержаний рудных элементов.

В отличие от одного двух, реже 3-4 металлов, обычно являющихся полезными компонентами рудных месторождений, геохимические исследования во всех случаях обнаруживают полиэлементный состав гидротермального оруденения.

В первичных ореолах и рудах гидротермальных месторождений до 30-35 и более элементов образуют аномальные концентрации, отчетливо указывая на их участие в процессе рудообразования.

Первичными ореолами месторождения являются также зоны околорудных гидротермально измененных пород. Их оконтуривание обычно ведется визуально (по окраске), реже по данным химических анализов на K, Na, Si, Al, Mg, Fe и др. петрогенные элементы, привнос или вынос которых происходит при серицитизации, окварцевании, доломитизации, гематитизации и других процессах, сопровождающих рудоотложение.

Однако, обширные зоны измененных пород возникают и вне связи с оруденением или в до рудную стадию и служат только косвенными поисковыми признаками.

Прямое поисковое значение имеют аномальные содержания рудных элементов, которые по изоконцентрам первичного ореола способны указать положение эпицентра слепой рудной залежи.

Параметры первичного ореола

Основные параметры первичного ореола следующие:

- 1) элементный состав;
- 2) морфология;
- 3) зональность;
- 4) продуктивность.

Элементный состав ореола в целом отражает состав рудного тела и характеризуется геохимическим спектром. Геохимический спектр – это характеристика вещественного состава ореола, выраженная в коэффициентах концентрации относительно кларка ($KK = C_{ср}/\text{кларк}$).

Морфология ореола в плане и разрезе во многом определяется формой рудных тел, но, если рудные тела сближены, форма ореола может быть сложной (рис.3, а). Размеры первичных ореолов зависят от концентрации элемента, проницаемости пород, размеров рудного тела. Существует эмпирически установленная зависимость: чем крупнее и богаче рудное тело,

тем меньше по отношению к рудному телу относительные размеры первичного ореола (рис. 3, б).

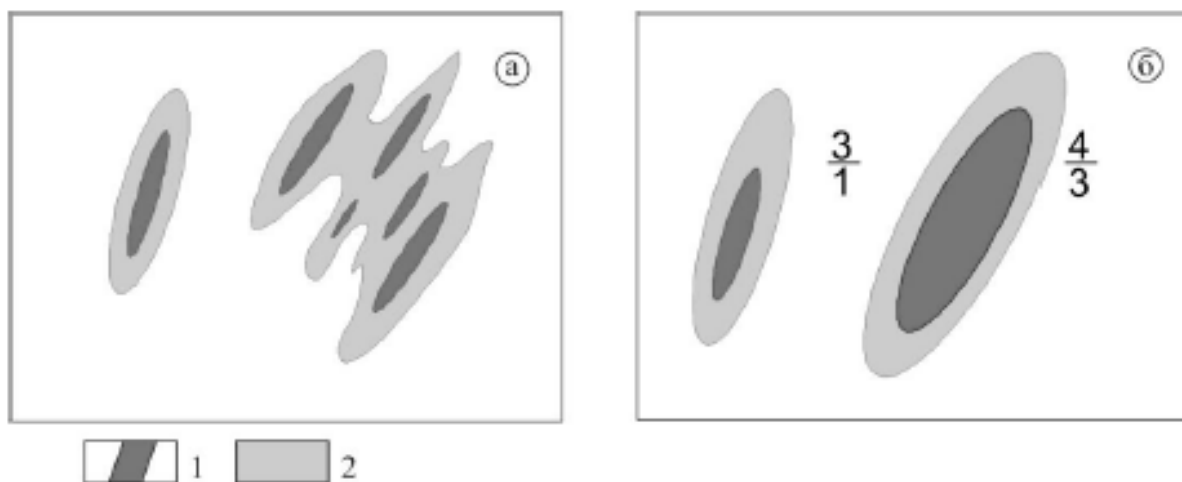


Рис. 3. Первичные ореолы рудных тел

а) морфология первичных ореолов; б) соотношения объемов первичных ореолов и рудных тел; 1 – рудные тела; 2 – первичные ореолы

Зональность первичных ореолов

Зональность первичных ореолов проявляется в закономерном изменении содержаний элементов в различных частях ореола. Различают *осевую*, *продольную* и *поперечную* зональность. *Осевая* зональность развивается в направлении движения гидротермальных растворов (обычно по восстанию рудного тела), *продольная* - в направлении растекания растворов по простиранию рудного тела, *поперечная* – в направлении, перпендикулярной к осевой плоскости рудного тела (рисунок 4).

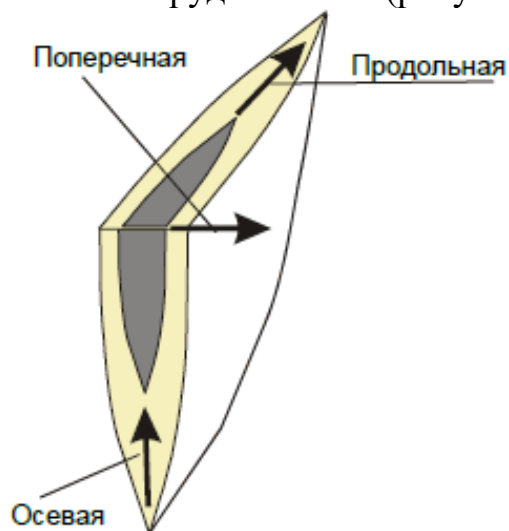


Рис. 4. Типы зональности в первичном ореоле

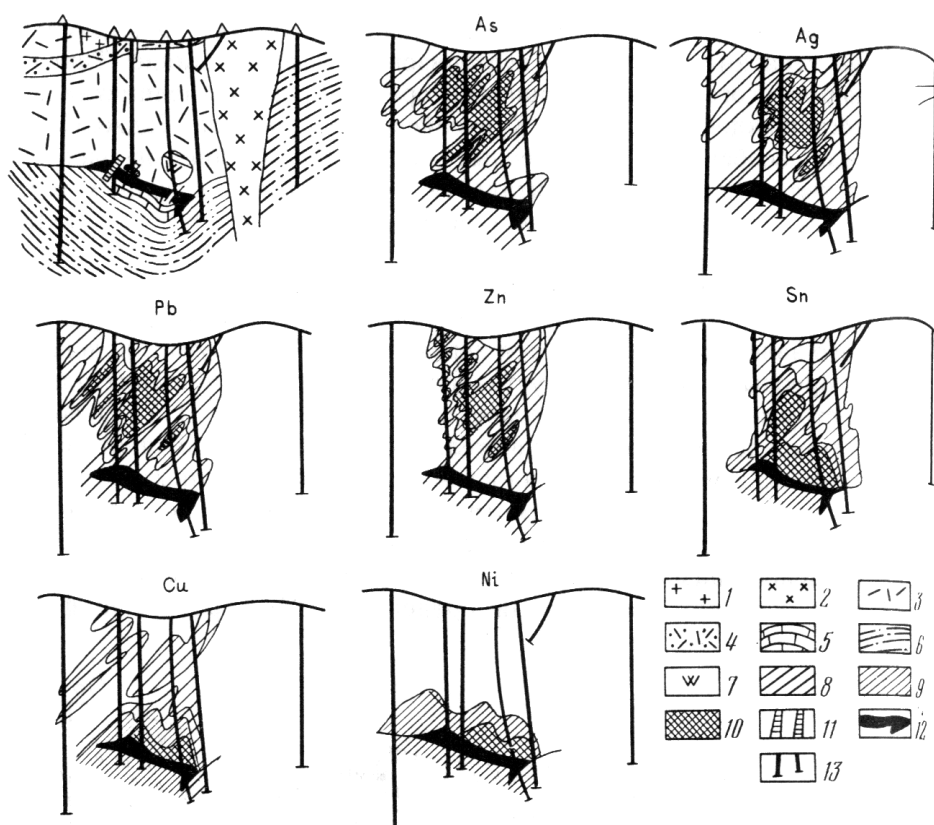


Рисунок 5 – Первичные геохимические ореолы месторождения Николаевского

1 – кварцевые порфиры; 2 – габбро-диориты; 3 – туфы и туфобрекчии кварцевых порфиров; 4 – туффиты; 5 – известняки; 6 – алевролиты, песчаники; 7 – кремнистые породы; 8,9 – первичные ореолы (8 – менее интенсивные, 9 – более интенсивные); 10 – поля максимальных концентраций; 11 – дайки порфиров; 12 – рудные тела; 13 – скважины.

Важнейшее значение для методики геохимических поисков имеет зональность рудоотложения, т.е. закономерное изменение соотношений между двумя или несколькими компонентами оруденения по простиранию, падению и мощности рудной зоны (рисунок 5).

Эммонс (1924) установил ряды зональности отложения рудных элементов (по направлению падения температуры и глубины): Sn, W, As, Bi, Au(1), Cu, Zn, Pb, Ag, Au(2), Sb, Hg.

Наиболее полно вертикальная зональность первичных ореолов гидротермальных сульфидных месторождений была освещена в работах С.В. Григоряна и Л.Н. Овчинникова (1981-83 гг.), которые в результате изучения более 300 различных месторождений дают обобщенный ряд зональности отложения элементов (снизу-вверх): W(1) – Be – As(1) – Sn(1) – Au(1) – U – Mo – Co – Ni – Bi – W(2) – Au(2) – Cu(1) – Zn – Pb – Sn(2) – Ag – Cd – Au(3) – Cu(2) – Hg, As(2), Sb – Ba, справа этот ряд можно дополнить – Te, J.

Среди 35-40 главнейших элементов-индикаторов оруденения Л.Н.Овчинников выделяет: 8 «сквозных» элементов – Cu, Zn, Pb, Co, Ni, Sn, Mo, Ba, формирующих первичные ореолы эндогенных месторождений

большинства генетических типов; 7 элементов – Sc, Ti, Cr, V, Sr, Y, Zr – характерные компоненты первичных ореолов месторождений литофильных металлов (редкометалльные пегматиты, грейзеновые, апогранитовые и др.) и сидерофильных металлов; 5 элементов – Be, Na, K, Bi, W – участвуют в образовании первичных ореолов литофильных месторождений (золоторудных, редкометалльных, флюоритовых).

Из ореолов многих месторождений возможен вынос Fe с образованием зон осветления, а также элементов группы железа – Ti, V, Cr, Sc и др.

Анализируя представленные ряды зональности, Л.Н. Овчинников предложил для характеристики гидротермального оруденения пользоваться понятиями о «высокотемпературных» (Sn, W, Mo, Co и др.), «среднетемпературных» (Ni, Cu, Zn, Pb) и «низкотемпературных» (Ag, As, Sb, Hg, Ba и др.) элементах и ассоциациях.

Рассмотрим обобщенную модель первичных ореолов эндогенных месторождений (рисунок 6).

1. Вокруг крутопадающего тела полиметаллических руд основные рудные элементы (Pb, Zn, Cu, Au ...) образуют первичные ореолы условно повторяющие его форму.

2. Более низкотемпературные элементы-спутники (Ag, As, Hg, ...) образуют первичные ореолы, смещенные по восстанию относительно рудного тела; в надрудном пространстве обособляются ореолы легколетучих элементов (Cl, Br, J, Li, F).

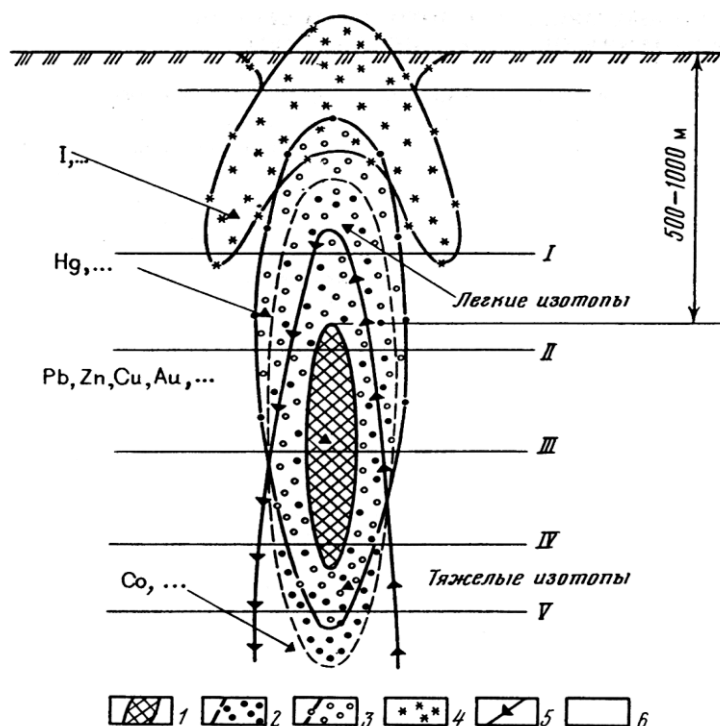


Рисунок 6 — Обобщенная схема первичного ореола гидротермального месторождения (По А.П.Соловову).

1 – рудное тело; 2 – ореол свинца; 3 – ореол ртути; 4 – ореол йода; 5 – ореол кобальта; 6 – современная денудационная поверхность. Римскими цифрами обозначены номера горизонтов (см.рис.1).

Эту картину дополняют смещенные по падению от центра р.т. ореолы элементов высокотемпературной ассоциации (W, Mo, Co, ...).

Для других типов гидротермальных месторождений основными рудными элементами могут быть Sn, W, Mo, Be, непромышленными элементами-спутниками - Cu, Pb, а роль легколетучих компонентов надрудного ореола может принадлежать F и Li.

По ассоциации элементов на определенном горизонте можно судить об эрозионном срезе месторождения.

В условиях глубокого залегания слепого рудного тела (до 500 – 1000 м) на современной дневной поверхности и в ближайших к ней горизонтах рудовмещающих пород первичный ореол может образовывать только йод (J). На уровне I (надрудного) горизонта тот же йод может образовать две изолированные аномалии, располагающиеся по обе стороны от ореолов ртути и свинца (Pb).

Бедные ореольные содержания Hg, Pb могут быть одинаково характерны и для (I), и для (V) горизонтов рудной зоны. Поэтому по абсолютным содержаниям элементов типоморфного комплекса невозможно различать надрудный (I) и подрудный (V) интервалы первичного ореола, эта задача решается только по соотношениям между содержаниями элементов, путем построения графиков отношений между количествами двух элементов, характеризующих их взаимное положение в зональном ряду.

Помимо закономерного тяготения более низкотемпературных и легколетучих элементов к верхним горизонтам рудной зоны, надрудные ореолы могут обогащаться легкими изотопами элементов, а соответственно – нижние горизонты – тяжелыми изотопами за счет их различной диффузионной подвижности.

Общая протяженность надрудных первичных ореолов гидротермальных месторождений над верхней кромкой промышленных руд может достигать 300 – 500 и более 1000 метров.

Продуктивность первичных ореолов

Продуктивность первичных ореолов вычисляется как произведение объема ореола на сферхфоновое содержание в нем химического элемента. Важным параметром первичных ореолов является их *линейная продуктивность*. Линейной продуктивностью названо количество металла, заключенного в ореоле вдоль линии (профиля) его опробования. Вычисление этого показателя для определенного горизонта (сечений) по скважине, канаве, горной выработке при постоянном шаге опробования производится по следующей формуле:

$$M = \Delta x (\sum Cx - n C\phi)$$

где, Δx – шаг пробоотбора, т.е. расстояние между соседними точками отбора проб в поисковом профиле;

Cx – значение содержания элементов в точках опробования;

$C\phi$ – величина фонового содержания элемента;

n – количество аномальных проб, попадающих на рассматриваемый ореол.

Вопросы для самоподготовки:

1. Дать определение первичного ореола рудного тела.
2. Охарактеризуйте морфологию первичных ореолов.
3. Каковы основные элементы-индикаторы собственно-магматических месторождений?
4. Каковы основные элементы-индикаторы гидротермальных месторождений?
5. Назовите основные отличия первичных ореолов эндогенных и экзогенных месторождений.
6. Каковы основные особенности первичных ореолов стратиформных месторождений?
7. Каковы основные факторы, обуславливающие геохимическую зональность постмагматических месторождений?
8. Дайте обобщенную схему первичного ореола гидротермального месторождения.
9. Охарактеризуйте зональность первичных ореолов.
10. Охарактеризуйте продуктивность первичных ореолов

10-лекция. Вторичные ореолы месторождений полезных ископаемых. Классификация вторичных ореолов месторождений. Поиски месторождений по вторичным ореолам

Каждое месторождение независимо от генетического типа и вида полезного ископаемого вслед за своим образованием подвергается воздействию внешних агентов, ведущих к перераспределению (миграции) слагающих его компонентов. Более общим является рассеяние и постепенная ликвидация ранее сформированных месторождений в результате взаимосвязанных процессов выветривания и денудации. Верхние горизонты крутопадающих залежей в зоне гипергенеза разрушаются, подвергаются различным физико-химическим изменениям, и вещество полезного ископаемого смешивается с продуктами выветривания вмещающих пород.

Зона повышенных содержаний ценных и сопутствующих компонентов залежи, прилегающая к месторождению и характеризующаяся промежуточными значениями между их высоким содержанием в полезном ископаемом и низкими фоновыми содержаниями во вмещающих породах, именуется *вторичным ореолом рассеяния* месторождений. Понятия о вторичных ореолах рассеяния месторождений полезных ископаемых впервые введено в мировую геологическую литературу Н.И. Сафроновым.

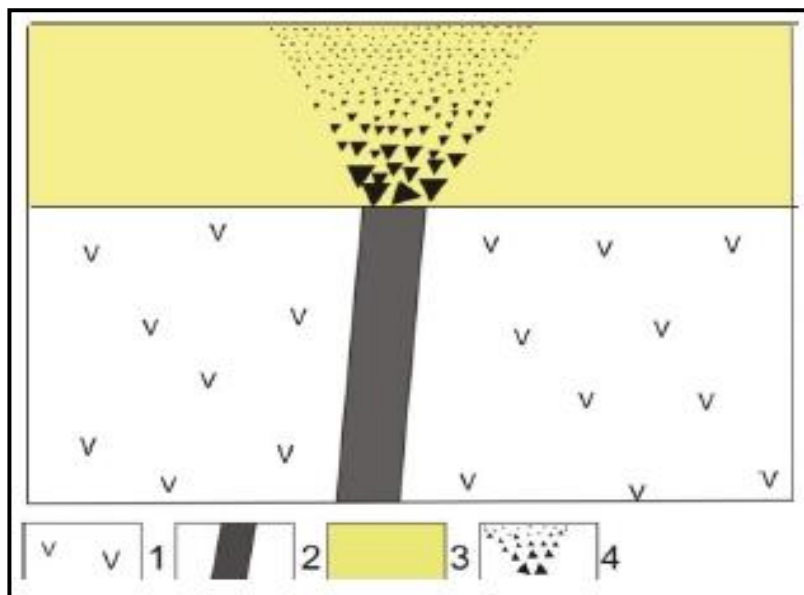


Рисунок 1 – Схема строения вторичного ореола рассеяния на горизонтальной плоскости водораздела.

1 – коренные рудовмещающие породы; 2 – рудное тело; 3 – кора выветривания; 4 – вторичный ореол рассеяния.

Б.Б. Полынов выделил четыре стадии выветривания пород:

1) Обломочная стадия. Характеризуется преобладающей ролью физических факторов выветривания с образованием крупнообломочных и мелкозернистых продуктов механического распада массивных горных пород. В условиях сурового климата и активной денудации выветривание ограничивается этой стадией.

2) Насыщенная сиаллитная кора выветривания. Характерна для умеренного климата. Происходит образование щелочной среды за счет гидролиза минералов. На этой стадии образуются вторичные минералы в результате окисления, гидратации, гидролиза и карбонатизации первичных пород.

3) Ненасыщенная сиаллитная кора выветривания. Формируется в условиях обильного увлажнения и замедленной денудации. Характеризуется выносом из продуктов выветривания щелочных и щелочноземельных элементов, вследствие этого среда становится кислой. Из вторичных минералов преобладают каолинит и галлуазит.

4) Аллитная кора выветривания. Формируется в условиях жаркого влажного климата, замедленной денудации и активного химического выветривания. Происходит накопления окислов железа, кремния и алюминия.

Исходным материалом образования вторичных ореолов рассеяния служат продукты выветривания рудных выходов и боковых пород.

Выветривание и денудация ведут к появлению на поверхности суши различных по типу и мощности рыхлых образований, развивающихся как за счет подстилающих горных пород, так и за счет перемещенных продуктов

выветривания, перекрывающих коренные породы в пониженных участках рельефа. По взаимоотношению с материнскими коренными породами среди них выделяются два класса: автохтонные и аллохтонные. Автохтонные рыхлые образования развиваются на месте или с незначительным перемещением за счет подстилающих пород (элювий, делювий, элювио-делювий). Аллохтонные (дальнеприносные) рыхлые отложения являются перемещенными продуктами выветривания и перекрывают коренные породы или рыхлые автохтонные образования в пониженных участках земной поверхности.

Эффективность литохимических поисков рудных месторождений по их вторичным ореолам рассеяния в основном зависит от генезиса рыхлых пород и их взаимоотношений с породами субстрата.

В условиях выровненного рельефа и в начальной стадии выветривания образуется *элювий* – оставшиеся на месте своего образования продукты выветривания коренных пород. По своему составу элювий отражает состав коренных пород и наличие в них оруденения с теми изменениями, которые вносят химическое выветривание и биогенные процессы. *Делювием* принято обозначать рыхлые новообразования любого петрографического состава, покрывающие склоны возвышенностей и представляющие собой продукты выветривания коренных пород, перемещенные действием силы тяжести и атмосферных осадков. Делювий, образуя сплошной покров у основания склона, достигает водораздела, где сливается с близким к нему по составу элювием. В результате рыхлые образования покрывают всю местность, образуя слабо волнистый элювиально-делювиальный покров.

При литохимических поисках месторождений по их вторичным ореолам рассеяния чаще всего приходится иметь дело именно с элювиально-делювиальными покровами т.е. со слабо перемещенными продуктами выветривания, по своему составу и местоположению еще сохраняющими отчетливую связь с материнскими коренными породами. Мощность элювиально - делювиальных отложений в большой степени зависит от скорости денудации, обычно колеблясь от 0,5-2 до 10-12 метров, редко более. Состав элювио-делювия в данной точке отражает состав коренных пород, расположенных гипсометрически выше по склону. По вертикальному разрезу элювиально-делювиальные отложения на глубине сменяются элювием, в свою очередь переходящим в плотную коренную породу. В составе элювиально- делювиальных отложений рудоносных пород выветривание непрерывно создает, а денудация непрерывно обновляет литохимические ореолы рассеяния месторождений, рудные тела которых выведены на уровень денудационного среза. Этот процесс, стремящийся к регулярному режиму, обеспечивает существование вторичных литохимических ореолов рассеяния месторождений в качестве устойчивых геологических образований зоны гипергенеза, подчиняющимся вполне определенным закономерностям.

Существует несколько принципов классификации вторичных ореолов. Классификация вторичных ореолов была предложена Н.И.Сафроновым еще в 1936 году и которая с некоторыми поправками, сохранилась до настоящего

времени. Классификация вторичных ореолов основана на принципе деления ореолов по трем признакам:

- 1) по фазовому состоянию (твердое, жидкое, газообразное);
- 2) по генезису или по условиям образования;
- 3) по степени доступности для обнаружения.

По фазовому состоянию вторичные ореолы рассеяния разделяются на *механические, солевые и газовые*.

В механическом ореоле рассеяния его минеральные компоненты присутствуют в форме твердых веществ, устойчивых в зоне гипергенеза или вторичных минералов и рудных обломков. Основными горизонтами развития механических ореолов рассеяния являются современные элювиально-делювиальные отложения и древние остаточные коры выветривания рудовмещающих толщ. Механические ореолы рассеяния образует абсолютное большинство рудных месторождений, в первую очередь – золота, платины, касситерита, хромита и многих других минералов.

В солевом ореоле рассеяния минеральные компоненты месторождения присутствуют в форме растворенных или сложно связанных с породами воднорастворимых соединений. Образование вторичных солевых ореолов обязано движению, диффузии, капиллярному подъему и испарению минерализованных вод, образующихся в результате растворения рудных минералов, чаще всего на стадии их гипергенных изменений. Солевое рассеяние характерно для равнинных районов с замедленной денудацией в условиях влажного и теплого климата для месторождений минеральных солей, медноколчеданных и колчеданно-полиметаллических залежей, флюорита и в разной степени для других типов рудных месторождений.

Газовые ореолы рассеяния образуются за счет диффузии и эффузии газовых компонентов месторождений через толщу рудовмещающих пород и рыхлого чехла к дневной поверхности. Газовые ореолы рассеяния характерны для месторождений радиоактивных руд, для нефтегазовых месторождений, а также они образуются над ртутными месторождениями.

Таким образом, вторичные литохимические ореолы рассеяния рудных элементов образуются в основном в твердой фазе, меньшее значение имеет солевое рассеяние и очень малую роль играет рассеяние в газовом состоянии.

По условиям образования или по генезису вторичные ореолы рассеяния делятся на *остаточные и наложенные*.

Остаточные ореолы рассеяния образуются за счет интервалов рудного тела или его первичного ореола, существовавших в профиле коренных пород до выветривания.

В контурах *наложенных ореолов* до развития вторичных процессов рассеяния первичная рудная минерализация отсутствовала. Важнейшая особенность вторичных остаточных ореолов рассеяния – это пропорциональность их линейной (М) и площадной (Р) продуктивностей тем же параметрам исходного коренного оруденения (М_р и Р_р).

По степени доступности для обнаружения различаются *открытые ореолы рассеяния*, т.е. выходящие на современную дневную поверхность и *закрытые ореолы*, выявляемые только на некоторой глубине от поверхности.

Схема классификационных признаков вторичных ореолов рассеяния. По А.П. Соловову.

Таблица 1

	Рудные тела и (или) их первичные ореолы вскрыты современной или более древней денудационной поверхностью
По фазе рассеиваемого вещества	Механические Солевые Газовые
По генезису	Остаточные Наложенные
По доступности для обнаружения	Открытые Закрытые

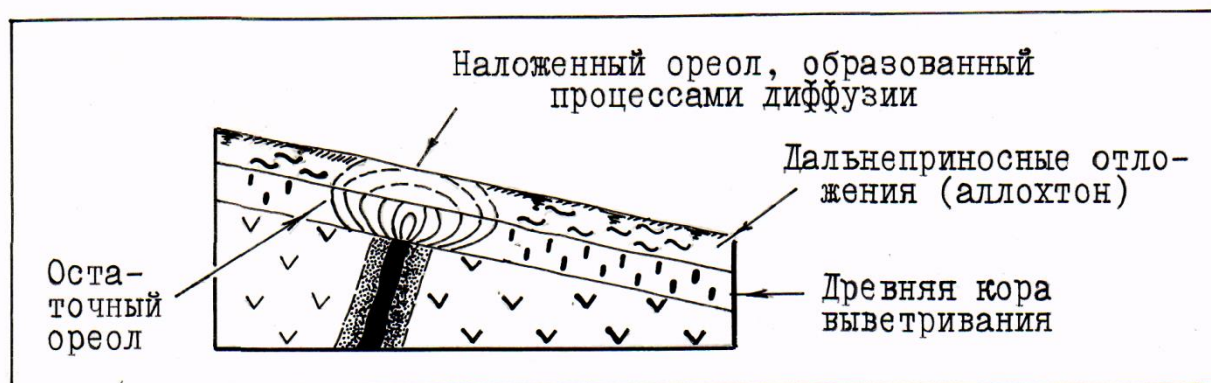


Рисунок 2 – Схема формирования наложенного ореола.

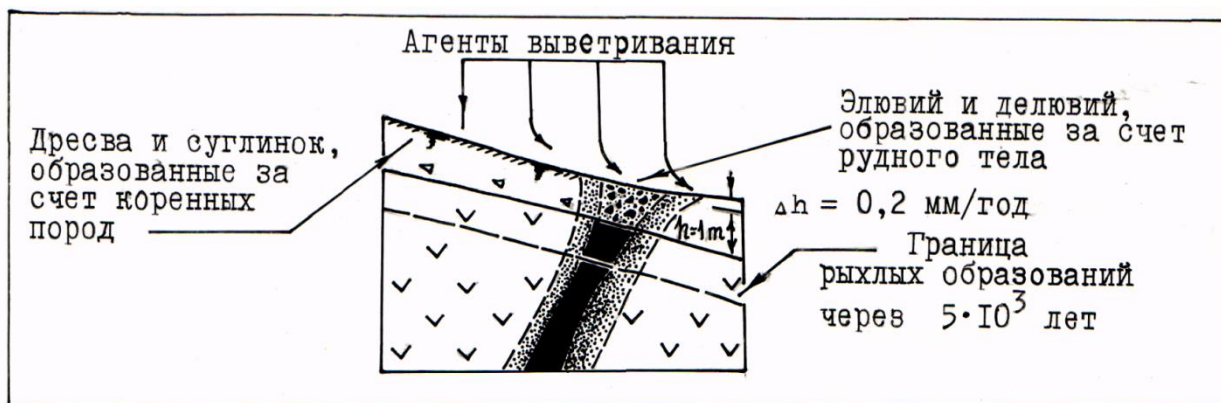


Рисунок 3 – Механизм образования остаточного вторичного ореола.

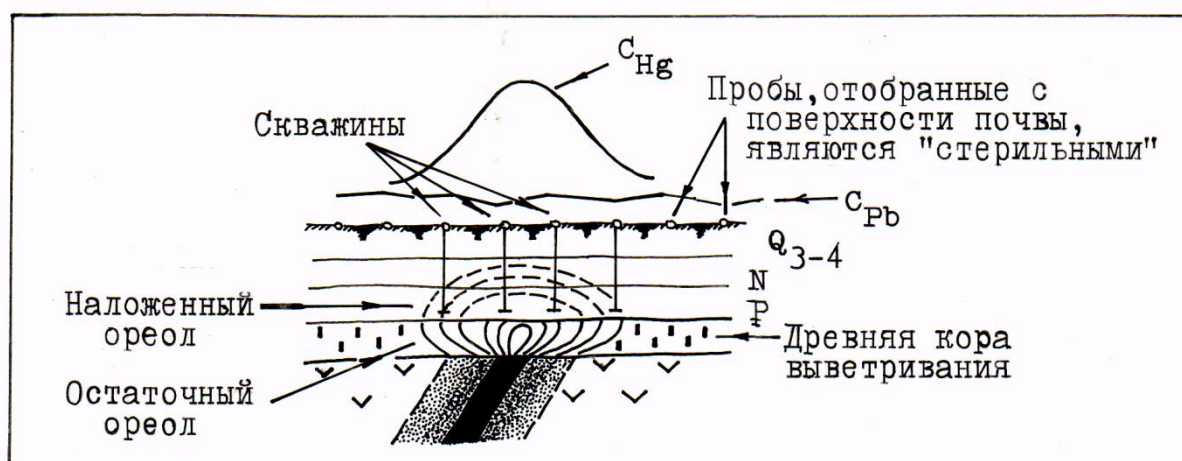


Рисунок 4 – Модель закрытого вторичного ореола.

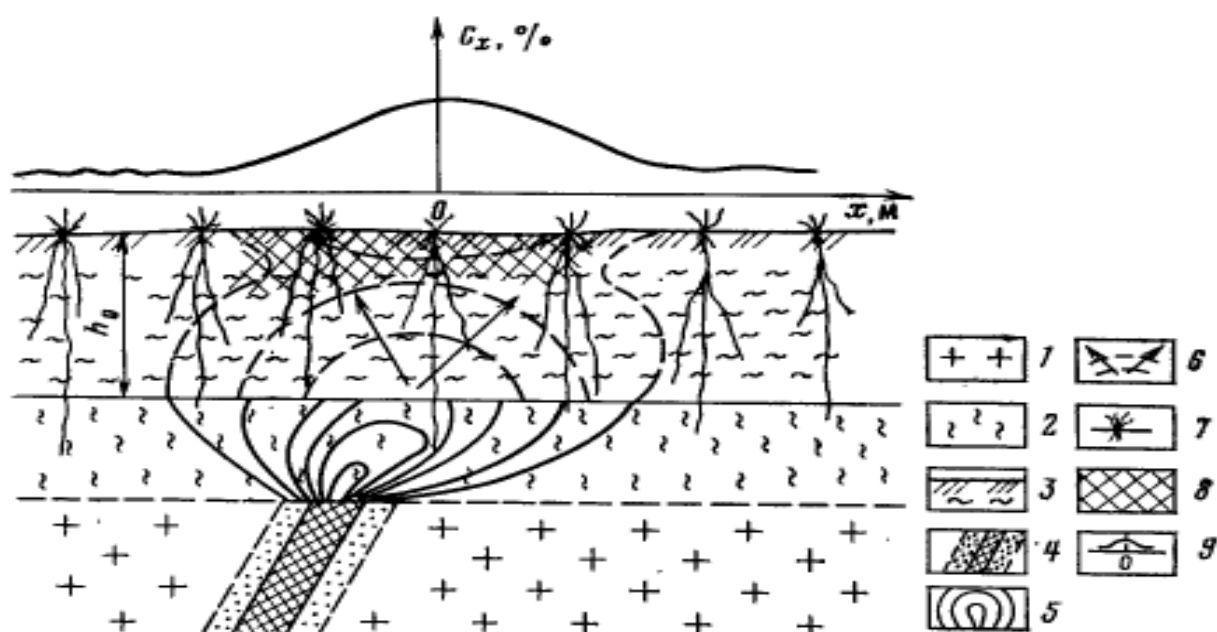


Рисунок 5 – Схема образования открытого наложенного литохимического ореола рассеяния.

- 1 – рудовмещающие породы; 2 – древняя кора выветривания; 3 – аллохтонные отложения; 4 – рудное тело и его первичный ореол; 5 – погребенный вторичный остаточный ореол рассеяния; 6 – вторичный наложенный ореол рассеяния; 7 – растения, способные образовать биогенную составляющую наложенного ореола; 8 – горизонты возможной испарительной, сорбционной и биогенной аккумуляции рудных элементов; 9 – график результатов наземной литохимической съемки.

Каждый из рассмотренных классификационных признаков характеризует основные особенности формирования вторичных ореолов рассеяния в конкретном районе, а различные сочетания этих признаков определяют их возможные типы. В основу выделения типов положены классификационные признаки, определяющие генетический тип ореола

(остаточный, наложенный) и его доступность для обнаружения, а также некоторые дополнительные характеристики их природы (диффузионный, выщелоченный и т. д.) или положение относительно коренного оруденения. При этом заранее допускается формирование литохимических ореолов рассеяния с одновременным или раздельным участием твердых, растворимых и газообразных компонентов, а роль каждой из фаз уточняется при описании отдельных типов. Признаки, определяющие тип ореола, рассматриваются на ближайшем к дневной поверхности горизонте, на котором он проявлен: открытые ореолы характеризуются на уровне дневной поверхности, а закрытые – на минимальной глубине их надежного развития. В практике геохимических поисков этот уровень получил наименование «представительного горизонта для опоискования».

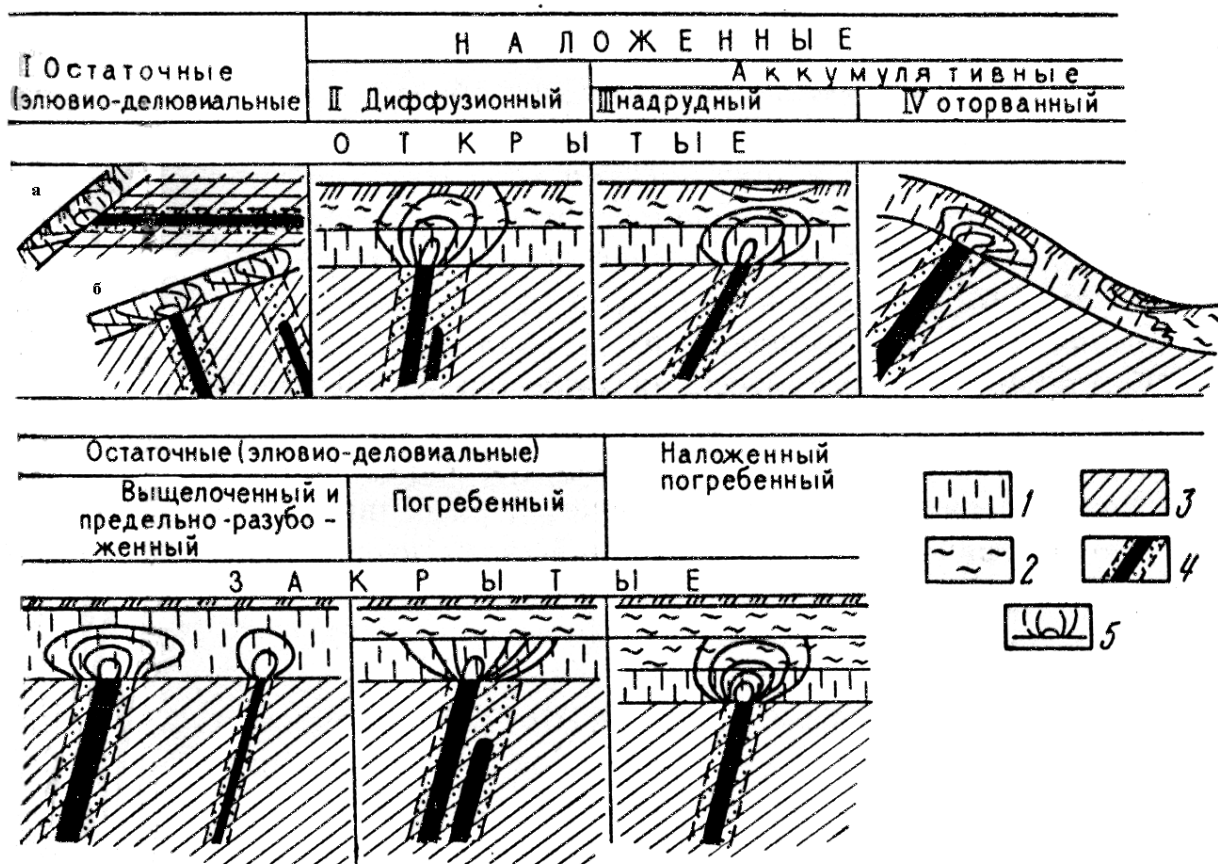


Рисунок 6 – Главнейшие типы вторичных литохимических ореолов рассеяния. По А.П. Соловову.

1 – элювиоделювий; 2 – перекрывающие отложения; 3 – рудовмещающие породы; 4 – рудные тела и их первичные ореолы; 5 – вторичные ореолы.

Первый тип. Наибольшее поисковое значение имеют открытые остаточные ореолы рассеяния месторождений. Ореолы этого типа образуют месторождения любых генетических типов, залегающие в верхнем структурном этаже, во всех активно денудлируемых районах. В подобных условиях на поверхности рудовмещающих пород развиты только их собственные продукты элювио-делювиального выветривания. Формирование остаточных ореолов в основном обязано механическому рассеянию. Наиболее благоприятны для их образования горные районы и этот признак

подчеркивается наклоном дневной поверхности при изображении ореолов первого типа.

В общем случае форма вторичных остаточных ореолов рассеяния в плане повторяет в увеличенном размере контуры выхода оруденения на поверхность коренных пород. В условиях расчлененного рельефа, открытые остаточные ореолы рассеяния могут образовывать горизонтально залегающие месторождения осадочного генезиса или древней коры выветривания (рисунок 6.1, тип Ia), хотя главнейшее значение ореолы этого типа имеют для поисков крутопадающих эндогенных и осадочно-метаморфогенных месторождений (рисунок 6.1, тип Ib). По таким остаточным ореолам рассеяния были открыты на глубинах 200-300 метров месторождение медноколчеданных руд на Южном Урале и полиметаллических руд в Ачисае.

Второй тип. Открытые, наложенные, диффузионные ореолы рассеяния характерны для равнинных районов с покровом аллохтонных (дальнеприносных) отложений, ограниченной мощности, главным образом, в умеренно влажной и аридной зонах. В этих ореолах резко преобладают процессы солевого рассеяния рудных элементов, в отдельных случаях наблюдались наложенные механические ореолы рассеяния устойчивых рудных минералов. Между формой наложенных диффузионных ореолов рассеяния и коренным оруденением возможны самые различные соотношения. За счет переменной мощности аллохтонных отложений ореолы этого типа могут по простиранию переходить в погребенное состояние (типы VI и VII), сочетаться с интервалами открытого остаточного ореола (тип I) или сменяться наложенными надрудными ореолами (тип III). Теоретическая дальность диффузии безгранична.

Третий тип. Образование надрудных (тип III) и оторванных наложенных ореолов рассеяния происходит в условиях, когда солевое рассеяние сочетается с противоположной тенденцией единого процесса миграции рудных элементов – их гипергенной аккумуляцией. Открытые наложенные аккумулятивные ореолы надрудного типа (тип III) отличаются от наложенных диффузионных наличием на глубине горизонта аллохтонных отложений в котором с применением существующих технических средств ореолы не прослеживаются по вертикали. Надрудные ореолы трудно отличить от ландшафтных геохимических аномалий, возникающих на различных геохимических барьерах в результате гипергенной аккумуляции металлов из окружающей среды и не связанных с наличием коренного оруденения на глубине. Здесь рудный элемент аккумулируется у дневной поверхности (экранизация), часто такие ореолы образуются над месторождениями Mo, W, U в ландшафтах сухих степей Северного Казахстана. Характерно, что три метра чехла является предельной мощностью для образования открытых наложенных ореолов рассеяния.

Четвертый тип. Оторванные аккумулятивные ореолы близки к описанным выше надрудным ореолам, отличаясь от них образованием при отсутствии аллохтонных отложений и отчетливым смещением от рудных тел

в сторону современного стока. В этих условиях месторождения образуют открытые ореолы рассеяния (тип I) и только рудные элементы, обладающие в данной ландшафтно-геохимической обстановке высоким коэффициентом водной миграции (F, Cl, Br, B, S, J) могут образовывать выщелоченные с поверхности закрытые ореолы (тип V). За счет последующей аккумуляции рудных элементов с контрастной миграционной способностью (Zn, Cu, Ni, Pb, Cd, V, Mo, Se) в зоне гипергенеза в изменившейся геохимической обстановке возникают вторичные оторванные солевые ореолы, наложенные на местные элювиально-делювиальные и аллювиально-пролювиальные отложения. Эти ореолы могут непосредственно переходить в солевой (литохимический) поток рассеяния. Такие оторванные ореолы Mo и U были отмечены в горно-таежных районах Забайкалья. Аналогичные аккумуляции рудных элементов (например Cu) имеют место при переходе от низких значений pH зоны сернокислого выветривания к нейтральной или слабо щелочной окружающей среде.

Пятый тип. Выщелоченные и предельно разубоженные ореолы образуются в элювио-делювии и принадлежат к классу остаточных ореолов. Они сходны по своей характеристике, однако причины для их превращения в закрытые ореолы различны. Образование закрытых выщелоченных с поверхности остаточных ореолов, как уже указывалось, характерно для элементов активных водных мигрантов (J, B, F, Cl) в районах гумидной зоны при замедленной денудации. Закрытые предельно разубоженные ореолы образуются в результате закономерного протекания процесса рассеяния в сторону наиболее полного выравнивания концентраций элементов. Если при этом исходное количество металла в сечении рудной зоны (Mr, м%) было относительно мало, максимальные содержания металла в верхних горизонтах ореола могут не отличаться от обычных колебаний местного геохимического фона. В силу убывания с глубиной интенсивности гипергенного рассеяния, остаточный ореол такой рудной зоны обнаруживается только на некоторой глубине от поверхности и поэтому называется «закрытым». Закрытые ореолы этих типов называют еще «ослабленными у поверхности». Образование таких «закрытых» ореолов наиболее характерно для рудопроявлений незначительного масштаба, в частности, для первичных ореолов слепых рудных тел.

Шестой тип. Погребенные остаточные ореолы рассеяния являются аналогами современных элювио-делювиальных ореолов, отличаясь от них образованием в палеогеографических условиях и последующим перекрытием более молодыми осадками. Ореолы этого типа характерны для рудных районов, претерпевших длительное континентальное развитие в период, предшествовавший накоплению молодых осадков, в которых на пенепленизированной (выровненной) поверхности складчатого фундамента сохранилась древняя кора выветривания.

В вертикальном разрезе коры выветривания погребенные ореолы имеют грибообразную, часто ассиметричную форму, определяющуюся элементами залегания рудных тел и направлением палеостока (рисунок 7).

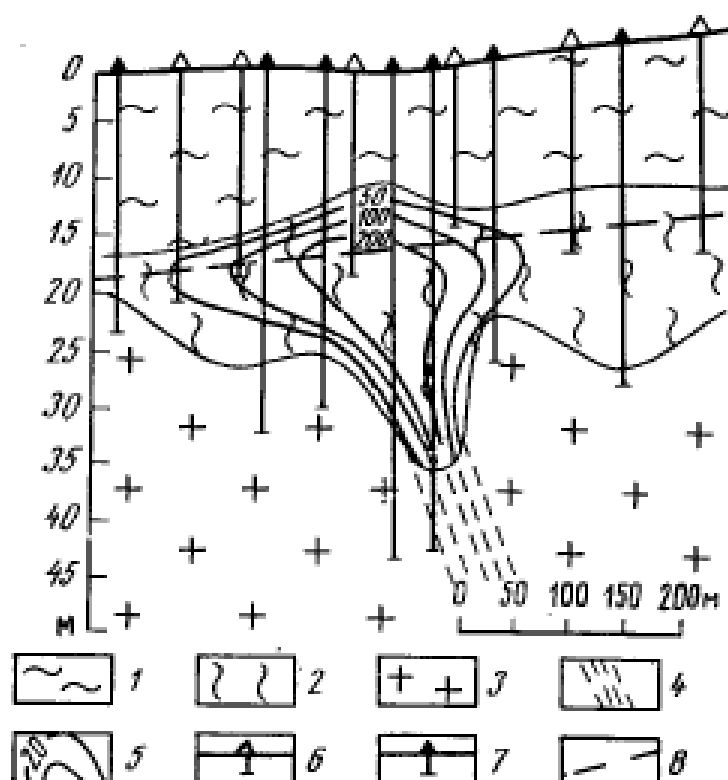


Рисунок 7 – Погребенный остаточный ореол рассеяния. По А.Н. Еремееву и А.П. Соловову.

1 – неоген-четвертичные суглинки; 2 – триас-юрская кора выветривания; 3 – рудовмещающие гранитоиды; 4 – зона дробления; 5 – изоконцентраты рудного элемента в условных единицах; 6 – скважины поисковые; 7 – скважины разведочные; 8 – представительный горизонт для опробования.

Максимальное площадное развитие эти ореолы имеют на уровне пестроцветной коры выветривания, являющейся в данном случае представительным горизонтом для опробования. В перекрывающих кору выветривания отложениях ореолы этого типа не прослеживаются. Наличие таких погребенных остаточных ореолов рассеяния предопределило создание методики глубинных литохимических поисков в закрытых равнинных районах.

Седьмой тип. Погребенные наложенные ореолы рассеяния, в свою очередь, являются палеогеографическими аналогами современных открытых наложенных ореолов (тип II), которые были перекрыты позднейшими осадками.

Вопросы для самоподготовки:

1. Что представляют собой продукты гипергенного разрушения месторождений?
2. Перечислите основные факторы, определяющие особенности вторичных ореолов?
3. Как делятся вторичные ореолы рассеяния по фазовому состоянию?
4. Как делятся вторичные ореолы рассеяния по условиям образования?
5. Как делятся вторичные ореолы по признаку доступности для обнаружения?
6. Охарактеризуйте особенности классификации вторичных ореолов.

11-лекция. Литогеохимические потоки рассеяния. Геохимические методы поисков по потокам рассеяния

Область повышенных содержаний компонентов залежи, возникающая на путях твердого, жидкого или газообразного стока с суши, характеризующаяся дальнейшим убыванием аномальных содержаний ценных и сопутствующих компонентов залежи, называется *потоком рассеяния* месторождения.

К потокам рассеяния на суше относятся, по В.В. Поликарпочкину (1975), «образования, возникающие в результате речного переноса по долинам, а также атмосферного и ледникового переноса в пространстве, охватывающем совокупность склонов».

В связи с денудацией вторичных ореолов развиваются *литохимические потоки рассеяния*. Основным механизмом их формирования, по А.П. Соловову, служит плоскостной смыв продуктов выветривания, перераспределяющихся затем водотоком, который находится в стадии динамического равновесия.

Под литохимическими потоками рассеяния понимаются массы разрушенных денудацией горных пород, перемещаемые поверхностными водами в сторону понижений рельефа.

Часть земной коры, образующая сушу, во все периоды геологической истории Земли являлась ареной развития взаимосвязанных процессов выветривания и денудации, формируя гипергенное поле рассеяния месторождений полезных ископаемых. Эти процессы определяют развитие важнейших для практики поисков вторичных литохимических ореолов и потоков рассеяния месторождений. Масштабы денудационных процессов, под которыми понимаются удаление, и перенос продуктов выветривания в зону осадконакопления характеризуются многочисленными данными геологии, физической географии и гидрологии.

Рельеф земной поверхности непрерывно преобразуется. Силы, формирующие рельеф земной поверхности, по своей природе весьма разнообразны – это и внутренние процессы, происходящие в земле – перемещения блоков, тектоника, и внешние – силы расчленяющие, разрушающие и переносящие вещество и отлагающие его во впадинах – ветер, вода, солнечная энергия.

На поверхность суши ежегодно выпадает воды на 36 000 км³ больше, чем испаряется. Стекая в моря и океаны, эти воды ежегодно выносят 20 млрд т твердых осадков и 2,5 млрд т растворенных солей. Поскольку механический перенос явно преобладает, при исследовании потоков рассеяния наиболее информативными является опробование твердой фазы стока (обычно это илисто-глинистая фракция).

Питание потоков рассеяния может осуществляться четырьмя путями:

- 1) в результате осыпания, обваливания и смыва со склонов материала механических вторичных ореолов;
- 2) путем переноса материала в растворенном состоянии подземными и поверхностными водами боковых склонов;

- 3) через солевые и газовые ореолы восходящей миграции;
- 4) в результате непосредственного размыва коренных пород и руд.

Реки земного шара переносят огромное количество твердого вещества в виде тончайшей взвеси и влекомых по дну наносов, объединяемых под названием «твердый сток».

Образование литохимических потоков рассеяния месторождений полезных ископаемых протекает на поверхности суши за счет живой силы и растворяющей способности воды в результате закономерного размещения продуктов выветривания силами гравитации в сторону понижения рельефа и в зону осадконакопления (рисунок 1).

Основным морфологическим отличием потоков рассеяния является их *линейность*, т.е. резкое превышение длины над шириной и мощностью потока. Большинство потоков рассеяния, используемых при поисках месторождений, связано с водным стоком на суше. Условно их можно разделить на *механические, солевые и смешанные*.

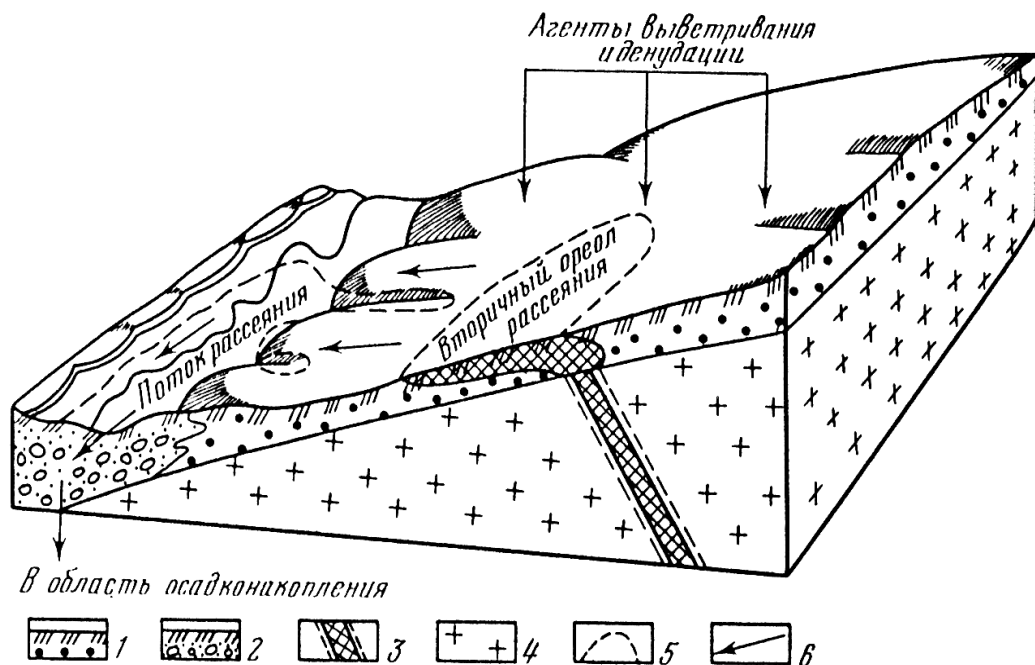


Рисунок 1 – Блок-диаграмма гипергенного поля рассеяния

1 – элювиоделювий; 2 – аллювий; 3 – рудное тело и его первичный ореол; 4 – рудовмещающие породы; 5 – контур аномальных содержаний рудных элементов в продуктах выветривания, в речной воде и в растительности; 6 – направление стока.

Собственно *механические потоки* практически встречаются редко, так как почти всегда они сопровождаются солевыми. Однако при поисках иногда приходится рассматривать только их механическую составляющую. Это делается при шлиховом поиске - старейшем методе поисков месторождений. Применимость этого метода ограничена месторождениями, сложенными устойчивыми к выветриванию и истиранию минералами, способными по плотности концентрироваться в шлихах.

Солевые литохимические потоки рассеяния образуются за счет миграции и отложения в рыхлых образованиях растворимых соединений элементов-индикаторов. Большое значение при формировании солевых потоков имеет явление сорбции. Наибольшее распространение получили *смешанные* механические и солевые потоки с преобладанием механической составляющей.

Элементы-индикаторы (их различные соединения) могут по-подать в поток рассеяния из разрушающегося тела полезного ископаемого и окружающего его первичного ореола, а также из вторичных лито- и гидрогеохимических ореолов рассеяния. В первом случае обычно образуются механические, а также смешанные потоки рассеяния с преобладанием механической составляющей.

При разрушении вторичных ореолов, особенно наложенных и выщелоченных с поверхности, преобладают солевые потоки. Они же образуются при разгрузке грунтовых вод; в этом случае возникают *оторванные* литохимические потоки, не имеющие непрерывной связи с телом полезного ископаемого или его первичными и вторичными литохимическими ореолами. Оторванность потоков рассеяния может быть связана с морфологическими особенностями склонов, по которым происходит миграция элементов-индикаторов. В пределах склона, по А.П. Соловову (рисунок 2), можно выделить следующие участки: плоский водораздел (1), выпуклый склон (2), плоский склон (3), вогнутый склон (4), долина (5). Размеры этих участков зависят от размера склона в целом и поперечного профиля долины, т.е. от стадий ее развития.

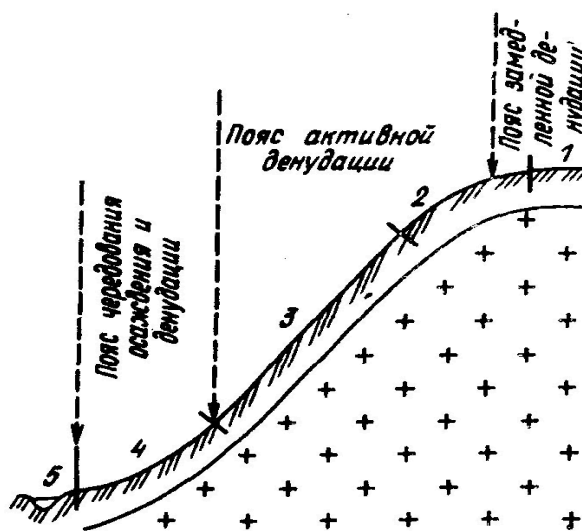


Рисунок 2. Профиль и пояса денудации склона.

В пределах первых трех участков на поверхности существенного отложения переносимого материала не происходит, так как количество стекающего материала непрерывно возрастает от водораздела к подножию склона при постоянной или увеличивающейся скорости. Уменьшение скорости поверхностного стекания замедляется при переходе к вогнутой части склона, где и начинается осаждение части переносимого материала.

Однако при ливневых осадках может начаться денудация и вогнутого склона. Этими особенностями объясняется пространственная разобщенность ореола и потока рассеяния, наблюдающаяся в большинстве случаев на плоских и выпуклых склонах. На вогнутых же склонах потоки рассеяния обычно примыкают к ореолам.

Среди потоков рассеяния можно также выделить *открытые* и *закрытые*. Наиболее важное поисковое значение имеют открытые, развивающиеся в современной гидросети горных районов.

Миграционная способность элементов. В прикладной геохимии способность элементов к переходу из одной геосферы в другую, в частности из литосферы в гидросферу, характеризуется двумя коэффициентами - коэффициенты водной миграции и талассофильности (морелюбивости):

$$K_x = \frac{m_x \cdot 100}{a C_x}$$

где m_x - содержание элемента в воде, г/л;
 C_x - содержание элемента в горной породе, %;
 a - общая миграция воды, г/л.

$$\tau_x = \frac{C_{\hat{E}_{\hat{A}}}}{\tilde{N}_{\hat{E}_{\hat{B}}}}$$

Где τ_x - коэффициент талассофильности
 Sk_r - кларк элемента в гидросфере;
 Sk_n - кларк этого же элемента в литосфере.

Коэффициенты водной миграции и талассофильности некоторых элементов.

Таблица 1

Активные водные мигранты		Слабо подвижные и инертные мигранты	Элементы с контрастной миграционной способностью $K_x \geq 1$	
$K_x = n \cdot 10 - n \cdot 100$	$K_x = n$	$K_x = 0,1 - 0,01$	Подвижные и слабо подвижные в окислительной среде и инертные в восстановительной	Подвижные и слабо подвижные в восстановительной среде (без сероводорода) и инертные в окислительной
Cl (111), S (1,9), Br (30), B (0,4), I (0,125)	F (0,0015), Sr (0,023)	Ba ($3 \cdot 10^{-5}$), Rb, Li, P ($5 \cdot 10^{-5}$), Sn ($1,2 \cdot 10^{-3}$), Sb, As ($8 \cdot 10^{-3}$), Al, Ti, Zr, Cr, TR, Nb, Ta, W, Bi, Au ($9 \cdot 10^{-4}$), Pt, Th ($3 \cdot 10^{-5}$),	Мигрируют только в кислых водах: Zn ($6 \cdot 10^{-4}$), Cu ($4 \cdot 10^{-4}$), Ni ($5 \cdot 10^{-5}$), Pb ($3 \cdot 10^{-4}$), Cd, Hg ($3 \cdot 10^{-4}$), Ag. Мигрируют в кислых и в щелочных водах: V ($5 \cdot 10^{-6}$), U ($8 \cdot 10^{-4}$), Mo ($9 \cdot 10^{-4}$), Se ($8 \cdot 10^{-2}$)	Fe ($1 \cdot 10^{-6}$), Mn ($4 \cdot 10^{-6}$), Co ($5 \cdot 10^{-5}$),

Примечание. В скобках – значения коэффициента талассофильности.

Уравнение идеального потока рассеяния. Для идеального потока предполагается, содержание элемента в любой точке опробования является средним арифметическим для всей площади водосбора, относящейся к этой точке. Рассмотрим, как изменяются содержания элемента в потоке рассеяния при поступлении в него материала разрушающего рудного тела (рисунок 3).

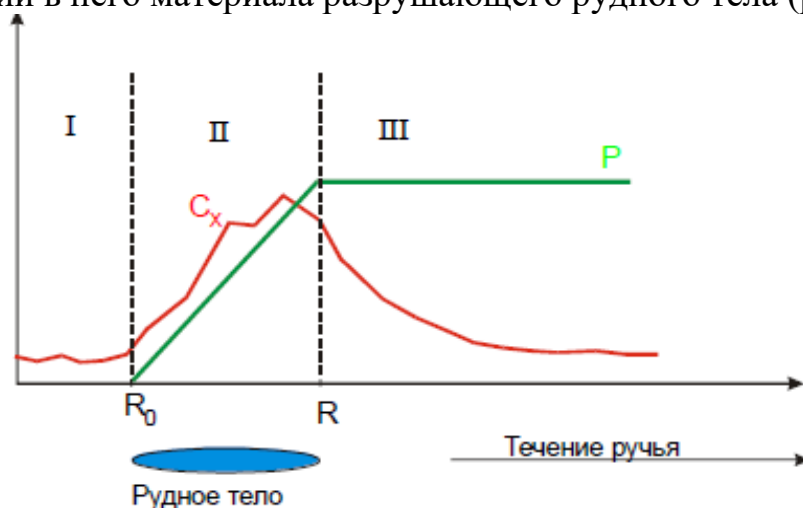


Рисунок 3. Изменение содержания элемента в потоке рассеяния (C_x) и продуктивности потока в различных участках долины ручья, дренирующего рудное тело.

На участке I: $C_x = C_f$;

На участке III: $C_x = C_f + P/S$;

На участке II: $C_x = C_f + [P(x-R_o)]/[S(R-R_o)]$, здесь P – продуктивность рудного тела, S – площадь водосбора.

Поскольку в реальности C_x известно, P надо найти, уравнение идеального потока рассеяния используется в виде (решение обратной задачи):

$$P = Sx(C_x - C_f)$$

размерность продуктивности потока рассеяния – м² %.

Согласно идеальной модели, ниже точки окончания поступления рудного материала (точки R), продуктивность потока должна оставаться на постоянном уровне.

Факторы, влияющие на содержание элемента в потоке рассеяния.

Содержание элемента в потоке рассеяния в реальности зависит от ряда факторов, которые необходимо учитывать при выборе методики опробования потоков и интерпретации полученных результатов.

Чем ближе рудное тело к вершине ручья, тем интенсивнее аномалия C_x при одних и тех же ресурсах полезного ископаемого. Это повышает требования к методике выделения слабых аномалий в нижней части долин.

Крупная фракция дает более интенсивные, но менее протяженные потоки рассеяния, чем мелкая фракция. Таким образом, для выявления слабых аномалий в ряде случаев предпочтительнее отбирать крупную фракцию.

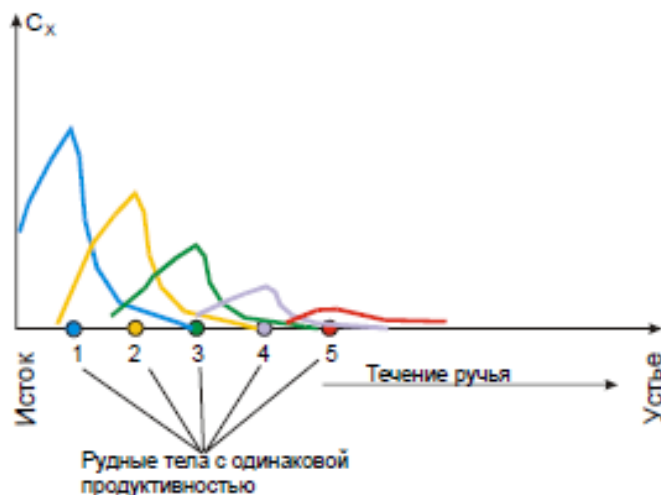


Рис. 14. Изменение содержания рудного элемента в потоке рассеяния в зависимости от положения рудного тела в долине ручья

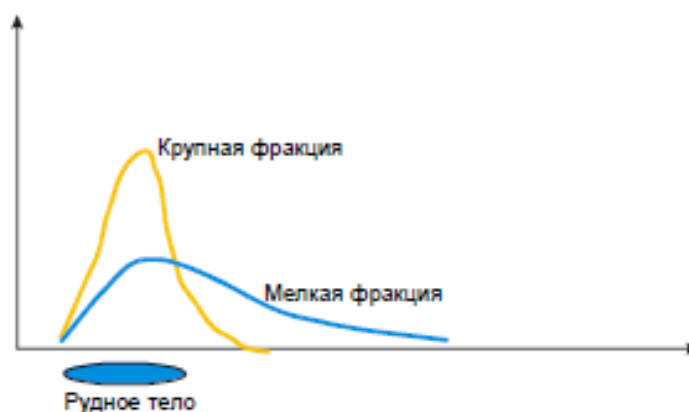


Рис. 15. Изменение содержания рудного элемента в потоке рассеяния в зависимости от гранулометрического состава пробы

Факторы, определяющие геохимические особенности потоков рассеяния. Величины фоновых и аномальных содержаний металлов в донных отложениях обуславливаются целым рядом факторов, важнейшие из которых следующие:

- 1) минералого-геохимические особенности руд и вмещающих их пород;
- 2) форма миграции элементов-индикаторов;
- 3) ландшафтно-геохимические условия.

Поиски по потокам рассеяния. Обычно этим методом ведутся поиски рудных месторождений. Однако они могут быть использованы и для выявления твердых нерудных полезных ископаемых. Так, при разрушении кимберлитовых тел формируются потоки Ni, Co, Cr, Zn, Si, которые обнаруживаются при опробовании илисто-глинистой и песчаной фракций, отбираемых с поверхности или глубины 15-20 см в пределах сухой пойменной части русла (И.Л. Комов и др., 1982).

Проводя мелкомасштабные поиски месторождений по потокам рассеяния, можно выявлять поля концентрации и перераспределения элементов рудных районов и узлов. Аномалии по потокам рассеяния, выявляемые при плотности одна проба на 50-250 км², в целом согласуются с областями распространения медной и хромитовой минерализации. Особое внимание при проведении таких работ следует уделять аномалиям косвенных элементов-индикаторов, в том числе Na, B, P, Ba, а также аномальным значениям отношений, например, Ni/Co или Ni/Cr (А. Левинсон).

Потоки рассеяния в водных бассейнах (морях, озерах) образуются течениями. Их формирование может быть связано с разрушением в зоне прибоя месторождений и привносом материала реками. Рассматриваемые потоки изучены еще слабо, однако возрастающий интерес к освоению минеральных богатств морей позволяет считать, что роль поисков по потокам рассеяния в водных бассейнах будет возрастать.

Вопросы для самоподготовки:

1. Что представляют собой потоки рассеяния?

2. Факторы, определяющие геохимические особенности потоков рассеяния?
3. Что определяет коэффициент водной миграции?
4. Что определяет коэффициент талассофильности?
5. В каком масштабе могут эффективно проводиться поиски по потокам рассеяния?

**12-лекция. Литогеохимические методы поисков. Условия применения.
Масштабы поисков. Отбор геохимических проб**

**Стадии геологоразведочного процесса и сопровождающие их
геохимические работы.**

Стадия	Виды и масштабы геохимических работ	Категории ресурсов
1	2	3
<i>Стадия 1. Региональное геологическое изучение недр</i>		
Подстадия 1. Сводное и обзорное мелкомасштабное геологическое картирование (масштаб 1:500000 и мельче)	Региональные геохимические съемки по потокам рассеяния масштаба 1:500 000 и мельче	
Подстадия 2. Среднемасштабное геологическое картирование (масштаб 1:200 000);	Среднемасштабные (1: 200 000) литогеохимические съемки и поиски по вторичным ореолам и потокам рассеяния, поиски по наложенным вторичным ореолам, глубинные литогеохимические поиски масштаба 1: 200 000	$P_3 - P_2$
Подстадия 3. Крупномасштабное геологическое картирование (масштаб 1:50 000).	Наземные литогеохимические поиски по вторичным ореолам и потокам рассеяния (1: 50 000) глубинные литогеохимические поиски масштаба 1:100 000	$P_2 - P_1$
<i>Стадия 2. Поисковые работы</i>	Поисковые литогеохимические наземные съемки по вторичным ореолам и потокам рассеяния (1: 200 000 – 1: 50 000), редко – по первичным ореолам (1:10 000 и крупнее) и	$P_2 - C_2$
<i>Стадия 3. Поисково-оценочные работы</i>		$P_1 - C_1$

	внемасштабные аналогичные работы по отдельным профилям, глубинные литохимические съемки (1: 100 000 – 1: 25 000)	
Стадия 4. Геологическая разведка	Литохимические исследования в масштабах 1:10 000 – 1:200 путем опробования рудовмещающих пород и руд по горным выработкам и керну скважин	C₂ – (B+A)
Стадия 5. Эксплуатационная разведка		C₁ – (B+A)

Литохимические методы поисков по первичным ореолам

Литохимические методы поисков полезных ископаемых проводятся как по первичным ореолам, так и по потокам рассеяния, и по вторичным ореолам, характеризуясь при этом (в каждом отдельном случае) специфическими особенностями и условиями проведения.

Поиски по первичным ореолам могут проводиться на всех стадиях геолого-разведочных работ, но их эффективность на каждой стадии зависит от ряда геологических, ландшафтных и экономических факторов. Основными факторами надежности проведения поисков является: наличие определенных пород и тектонических структур; характер эпигенетических преобразований пород.

В зависимости от масштаба работ все литохимические исследования по выявлению и изучению первичных ореолов можно разделить на региональные, поисковые и разведочно-эксплуатационные.

Региональные литохимические исследования проводятся одновременно с составлением геологических карт масштабов 1:200 000 – 1:50.000 и региональными геофизическими работами. Для составления сводного геолого-геохимического разреза проводится опробование коренных пород по профилям, расположенным вкост простирания пород. При геологической съемке масштаба 1:50.000 проводятся поиски по первичным ореолам в пределах обнаженных и особо перспективных для обнаружения месторождений участков. Опробование коренных пород при геологической съемке масштаба 1:50 000 позволяет по комплексам элементов выделить толщи, потенциально перспективные для обнаружения в них залежей Pb, Zn, Cu, Au, W. На этой же подстадии возможно установление потенциальной рудоносности изверженных горных пород. Обязательному опробованию на этом этапе подвергаются коренные породы в горных выработках и керн буровых скважин.

Собственно поисковые работы для выявления месторождений по первичным литохимическим ореолам проводятся в масштабах 1:25 000 – 5000. Исследования в масштабе 1:25 000 проводятся при опoисковании крупных аномальных участков или рудопроявлений. Основу же рассматриваемого этапа исследований составляют поиски в масштабах 1:10 000 – 1:5 000. В связи с тем, что детальные и поисково-оценочные исследования выполняются с использованием дорогостоящих буровых и горных работ, то результаты площадных литохимических поисков должны в обязательном порядке учитываться при заложении буровых и горных выработок. Сами выработки необходимо опробовать по мере их проходки для выявления первичных ореолов оруденения. Полученные данные используются для корректирования направления работ, выбора мест заложения выработок второй очереди.

Разведочно-эксплуатационные исследования проводятся в масштабе 1:5 000 – 1:2 000 и направлены на оценку перспектив развития оруденения на глубину и на фланги разведываемых месторождений и рудопроявлений. Не менее важной задачей является установление закономерностей распределения элементов-примесей в рудах. Кроме того решаются вопросы касающиеся «увязки» рудных тел, подсеченных на глубине, уточнение их морфологии, а также корректирование направления разведочных работ; установление очередности заложения разведочных выработок и т.д. Опробование производится из горных выработок и по керну буровых скважин, а в случае необходимости переопробуются естественные обнажения. В тех районах, где ранее не проводились поиски по первичным ореолам, необходимо начинать работу с постановки опытно-методических исследований. При этом следует решать следующие основные вопросы: определение геохимического фона и аномальных содержаний элементов-индикаторов для различных типов пород; выявление морфологических особенностей первичных ореолов различных элементов; установление формы нахождения элементов-индикаторов в ореоле (минеральной, изоморфной и др.); установление зональности оруденения и т.д.

Отбор проб

При проведении литохимических поисков по первичным ореолам опробование ведется по профилям, ориентированным вкрест простираения ожидаемых рудных зон. Расстояние между профилями при масштабе работ 1:50 000 равно 500 м, а расстояние между точками отбора проб – 50-20 м. Для выявления толщ, перспективных для нахождения стратифицированных месторождений Pb, Zn, Cu, Au, W при частых фациальных переходах и смене пород различного состава, сеть опробования может быть сгущена до 250x10 м.

Рекомендуемая сеть опробования при поисках в масштабах: 1:25 000-250x20(10) м; 1:10 000 – 100x10 м и 1:5000 – 50x10 м. При разведочно-эксплуатационных работах расстояние между пробами может колебаться в зависимости от обнаженности, расположения и типа выработок от 10 м до сплошного опробования пунктирной бороздой.

Опробование *методом пунктирной борозды* является более чувствительным для обнаружения первичных ореолов, чем штучное. При этом методе из опробуемого интервала отбирается 10-15 мелких кусочков (сколков) породы размером 3-4 см в поперечнике. Сколки объединяются в одну пробу массой 150-200 г. Объединять в одну пробу сколки, отобранные из пород различного состава, запрещается. Зоны тектонических нарушений, брекчий и пород с околорудными изменениями должны быть охарактеризованы отдельными пробами. В пробы следует отбирать породы, не затронутые процессами выветривания. Отбор проб должен сопровождаться геологической документацией.

Длина пунктирной борозды выбирается с таким расчетом, чтобы ожидаемый первичный ореол был охарактеризован как минимум двумя-тремя пробами. Обычно она колеблется от 1 до 5 м. При опробовании горных выработок и керна скважин пробы могут непосредственно примыкать одна к другой.

Когда одним из элементов-индикаторов, образующих первичные ореолы, является ртуть, необходимо учитывать возможность заражения проб, отобранных из подземных выработок, за счет гремучей ртути из детонаторов.

При очень плохом выходе керна и бескерновом бурении опробование можно вести по шламу и буровой мути, которые необходимо отбирать ежесменно или по рейсам. Масса шламовых проб не должна превышать 200г. При бурении с промывкой глинистым раствором следует для предотвращения ошибок, связанных с вероятным загрязнением опробуемого материала, проводить предварительный анализ всех компонентов, используемых для приготовления бурового раствора. Следует также иметь в виду возможное отставание в выносе шлама от забоя к устью скважины.

При отборе проб для изучения элементов-примесей в рудных и нерудных минералах должны выполняться следующие правила:

- с каждой точки следует отбирать как минимум два образца для параллельного определения элементов, а при необходимости - образцы для минералого-петрографических исследований;
- размер проб определяется количеством и степенью извлечения минералов, составляющих мономинеральную пробу. В большинстве случаев масса рассматриваемых проб не превышает 200 г (т.е. соответствует обычной геохимической пробе);
- пробы для установления потенциальной рудоносности определенных массивов нужно отбирать по профилям, полностью пересекающим эти массивы. Число проб не должно быть меньше 30;
- не следует объединять в одну пробу минералы разных генераций.

Пробы, отобранные при литохимических поисках по первичным ореолам, при подготовке к спектральным и химическим анализам подвергаются следующим операциям в указанной последовательности:

- 1) измельчение в щековых дробилках до 5 мм;
- 2) измельчение на валках до размера менее 1 мм;

3) перемешивание по способу кольца и сокращение квартованием до 50-100 г;

4) механическое истирание навески на истирателях.

В случае специальных видов анализа (Hg, Au и др.) после перемешивания берут навеску свыше 50 г. Для отбора мономинеральных фракций пробы после щековой дробилки дважды пропускают через валковую. Отбор мономинеральных проб производится под биноклем для того, чтобы исключить попадание в пробу сростков и тонких включений посторонних минералов.

Обработку и анализы проб следует начинать до окончания полевых работ. Оперативное получение результатов анализов может значительно повысить эффективность проводимых поисков. В инструкции по геохимическим методам поисков (1983) предусматривается к концу полевого сезона проанализировать 80% отобранных проб.

Качество опробования контролируется повторным отбором проб в объеме 3%. Контрольное опробование должен проводить начальник отряда или геолог, не принимавший участие в первоначальном отборе проб. В первую очередь контрольному опробованию подвергаются участки, на которых выявленные аномалии по геохимическим предпосылкам вряд ли могут быть связаны с оруденением, а также участки с благоприятными для оруденения признаками, но на которых по результатам проведенных работ аномалий не обнаружено. По данным первичного и контрольного опробования подсчитывается погрешность работ.

ИЗОБРАЖЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗА И ОЦЕНКА АНОМАЛИЙ

Изображение результатов. Результаты литохимических поисков по первичным ореолам могут изображаться в виде *графиков* и *карт*. Графики обычно составляются по результатам анализов проб, отобранных по отдельным геологическим разрезам (из керна буровых скважин, горных, выработок и естественных обнажений). На один график можно наносить содержание нескольких элементов, принимая за единицу измерения значение местного геохимического фона или процентное содержание элемента. На эти же графики целесообразно выносить рассчитанные для каждого типа пород аномальные содержания для единичных проб, а также для двух и девяти коррелирующихся проб.

Кроме таких графиков полученные данные можно представлять в виде *сводных геолого-геохимических колонок* или *разрезов*, в которых указывается только фоновое содержание элементов.

Но одной из важнейших стадий при изображении результатов анализов поисков по первичным ореолам является *выделение аномалий*.

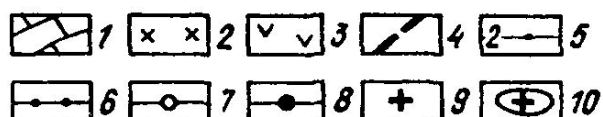
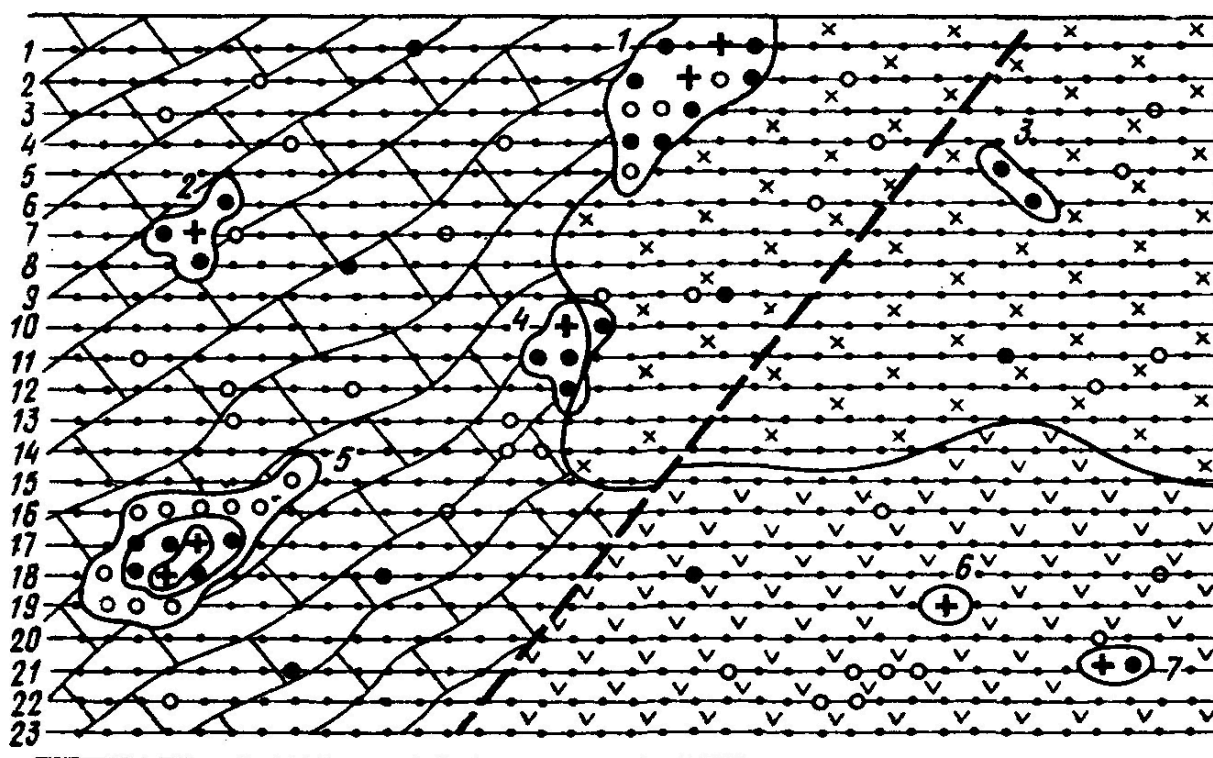


Рисунок. Схема выделения геохимических аномалий:

1 — известняки; 2 — граниты; 3 — эффузивные породы; 4 — разрывные нарушения; 5 — профиль отбора проб и его номер; 6 — точки отбора проб с содержанием ниже аномального; 7—9 — аномальные содержания (7— для девяти коррелирующих проб; 8 — для двух коррелирующих проб; 9 — для единичных проб); 10 — геохимическая аномалия и ее номер

Оценка аномалий. Выявленные геохимические аномалии для дальнейшей работы необходимо охарактеризовать рядом определяющих геохимических параметров. Основными из них являются:

- *линейная продуктивность ореола (M)*, которая определяется по формуле:

$$M = \sum_{i=1}^n m_i (C_i - C_{\phi}),$$

где m_i — длина интервала опробования; C_i — содержание элемента в пробе; C_{ϕ} — фоновое содержание элемента;

- *площадная продуктивность ореола (P)* в рассматриваемом сечении, рассчитываемая (при прямоугольной сети отбора проб) по формуле:

$$P = \Delta XL \left(\sum_{x=1}^N C_x - NC_{\phi} \right),$$

где ΔX – шаг отбора проб по профилю; L – расстояние между профилями; $\sum C_x$ – арифметическая сумма содержаний элемента в аномалии (ореоле); C_{ϕ} – фоновое содержание элемента в ореоле; N – число проб, вошедших в подсчет;

Решение ряда специальных поисковых вопросов. Одним из основных вопросов является *установление уровня эрозионного среза выявленных рудных зон*. Для его решения можно использовать несколько методов. Так, на типично гидротермальных месторождениях при очень четко выраженной зональности первичных ореолов определить уровень среза можно непосредственно по содержанию элементов, образующих надрудные и подрудные ореолы, однако подобные случаи встречаются крайне редко. Определенную помощь при установлении уровня эрозионного среза могут оказать данные о корреляционных связях между содержаниями различных элементов в ореолах.

После проведения опытных работ на «эталонных месторождениях» района по изменению коэффициентов зональности в отдельных случаях можно говорить не только о надрудном или среднерудном положении сечения рассматриваемого ореола, но и прогнозировать развитие оруденения на глубину в метрах. Для установления уровня эрозионного среза можно использовать (тоже после проведения опытных работ) отношение линейных продуктивностей надрудных и подрудных элементов.

Рядом инструктивных положений после проведения геохимических поисков предусматривается *подсчет прогнозных ресурсов*. Естественно, что он является условным, так как даже после детальных разведочных работ возможны случаи неподтверждения запасов при отработке. В связи с этим прогнозные ресурсы следует учитывать только при разбраковке аномалий и выборе наиболее перспективных из них для проведения первоочередных оценочных работ. Прогнозные ресурсы (Q) для слепых рудных зон устанавливаются по следующей формуле:

$$Q = a \frac{1}{40} pN,$$

где a – коэффициент учета балансных руд в общих запасах полезного компонента в ореоле; p – площадная продуктивность первичного ореола; N – вероятная вертикальная протяженность оруденения, которая выбирается исходя из конкретной геологической ситуации.

Литохимические методы поисков по вторичным ореолам и потокам.

Все поиски месторождений и отдельных тел полезных ископаемых по вторичным ореолам и потокам рассеяния проводят после составления

ландшафтно-геохимических карт, которые в обязательном порядке должны использоваться для выделения геохимических аномалий и интерпретации всей геохимической информации, полученной при поисках. Ландшафтно-геохимические карты также служат основой для районирования территории работ по условиям эффективного применения определенных методов геохимических поисков. Масштаб этих карт может быть более мелким, чем масштаб поисков.

Одновременно с составлением региональных ландшафтно-геохимических карт в масштабе 1:500 000 целесообразно проведение исследований для выявления полей рассеяния узлов и районов месторождений полезных ископаемых, а также потенциально рудоносных погребенных региональных тектонических структур.

В зависимости от масштаба работ все поисковые исследования по вторичным ореолам и потокам можно разделить на региональные, собственно поисковые и детальные.

Региональные исследования. *Поиски по потокам рассеяния* ведутся в горных активно денудированных районах и в районах гумидной зоны со сглаженными формами рельефа. В первом случае литохимические исследования целесообразно сочетать со шлиховой съемкой, а во втором – с гидрохимической. В слабо расчлененных районах аридной зоны проводятся региональные литохимические исследования *по вторичным ореолам*.

Задачей рассматриваемых исследований является *выяснение геохимической характеристики и металлогенических особенностей района, а также обнаружение потоков и ореолов рассеяния выветривающихся месторождений*. Все региональные работы проводятся в масштабах 1:200 000 и 1:100 000.

При проведении исследований совместно с региональными геофизическими работами целесообразно отбирать литохимические пробы по профилям геофизической съемки для увеличения точности интерпретации геофизических данных. В районах с покровом приносных отложений мощностью более 10 м литохимические поиски по вторичным ореолам можно проектировать только для выявления месторождений, находящихся в этих же отложениях. Исключением могут быть районы, в которых по данным опытных работ установлена возможность выявить ореолы погребенных месторождений и их отдельных тел.

Поисковые исследования. Эти работы проводятся в масштабе 1:50 000 и 1:25 000 (табл. 9.1 и 9.2) после региональных работ, давших положительные результаты. Поиски *по потокам рассеяния* целесообразны в расчлененных районах (вместе со шлиховой съемкой) и в условиях пенеплена, расчлененного балками и оврагами, вскрывающими коренные породы. В равнинных районах проводятся поиски *по вторичным ореолам*. Задачей поисковых литохимических исследований является обнаружение ореолов месторождений и установление общих закономерностей их размещения.

Поиски рассматриваемого этапа иногда могут проектироваться и в районах, где раньше не проводились региональные литохимические исследования, но где уже известны промышленные месторождения и доказана эффективность литохимических поисков по данным опытных работ. В.В. Аристовым рекомендуется на данном этапе работ отбирать пробы по опорным профилям и профилям сложной конфигурации, зависящей от рельефа и особенностей обнаженности района. Это должно привести и к увеличению эффективности поисков.

Таблица 9.1. Масштабы поисков по потокам рассеяния

Масштаб	Сеть		Среднее число точек отбора на	
	Среднее расстояние между опробуемыми ручьями, км	Расстояние между точками отбора проб по ручью, км	1 см ² карты	1 км ² площади
<i>Рекогносцировочные съемки</i>				
1:200 000	1	0,50	4	1
1:100 000	2	0,25	4	4
<i>Поисковые съемки</i>				
1:50 000	0,5	0,05–0,25	2–10	8–40

Таблица 9.2. Масштабы литохимических поисков по вторичным ореолам

Масштаб	Расстояние, м, между		Число точек отбора проб на	
	профилями	точками отбора	1 см ² карты	1 км ² площади
<i>Рекогносцировочные съемки*</i>				
1:200 000	2000	100–200	10–20	2–5
1:100 000	1000	100–50	10–20	10–20
<i>Поисковые съемки</i>				
1:50 000	500	50	10	40
1:25 000	250	50–40	5–7	80–100
<i>Детальные съемки</i>				
1:10 000	100	20–25	5–4	500–400
1:5000	50	20–10	2,5–5	1000–2000
1:2000	25	10	1,6	4000

Детальные исследования. Они проводятся в масштабе 1:10 000, 1:5000 или 1:2000 (см. табл. 9.2) на участках с проявлениями рудной минерализации, выявленных предыдущими исследованиями. Задачей рассматриваемых работ является *обнаружение, оконтуривание и оценка ореолов рассеяния, а по возможности и самих тел и отдельных зон.* В результате выполнения работ должны быть выделены конкретные участки, на которых можно обоснованно проектировать заложение горных и буровых выработок.

Глубинные литохимические поиски по вторичным ореолам проводятся при глубинном геологическом картировании и как самостоятельный вид работ.

Опытные работы

Поиски в новых районах должны проводиться после постановки опытных работ, решающих следующие задачи:

- выявление индикаторов, образующих ореолы и потоки рассеяния вокруг предполагаемых рудных тел в конкретных геологических и ландшафтно-геохимических условиях;
- установление соответствия состава индикаторов, а также морфологических особенностей первичных и вторичных ореолов;
- определение местных фоновых и аномальных содержаний элементов-индикаторов в зависимости от ландшафтно-геохимических условий, мощности и генезиса перекрывающих отложений;
- установление размеров потоков и ореолов рассеяния в зависимости от конкретных внешних факторов миграции;
- определение по вертикальному разрезу и в плане типичного распределения элементов-индикаторов, ореолов рассеяния;
- установление представительного горизонта для отбора проб в случае обнаружения в районе закрытых ореолов;
- выяснение приуроченности индикаторов к разным фракциям;
- определение целесообразности комплексирования в конкретных условиях литохимических поисков по вторичным ореолам и потокам с другими методами поисков.

Опытно-методические работы следует проводить на ландшафтно-геохимической основе. Сеть опытного отбора проб может быть сгущена по сравнению с обычной. Объем опытно-методических работ может составлять до 10% объема проектируемых поисков.

Отбор проб

Сеть отбора проб в зависимости от масштаба поисков приведена в табл. 9.1 и 9.2. Допустимые отклонения от этой сети не должны превышать 0,1 расстояния между пробами (и по профилю, и между профилями) и обязательно фиксируются в пикетажном журнале. Направление профилей выбирается вкрест простирания пород и ожидаемых рудных зон.

Все литохимические поиски в масштабе 1:25 000 и мельче выполняются в рамках трапеций соответствующего масштаба, а в отдельных случаях могут ограничиваться 1/2 или 1/4 листа. При более детальных работах необязательно соблюдать всю шкалу возможных масштабов.

При поисках по потокам рассеяния для пробы берут илисто-глинистую или песчанистую фракцию. Отбор проб начинают с устьев рек протяженностью до 15 км (с последующим заходом в боковые притоки) и доходят до их верховьев. Первые пробы в боковых притоках отбираются в приустьевой части, расположенной выше уровня половодья реки, в которую впадает приток. Широкие заболоченные долины с плохо выраженным руслом опробуются по обоим бортам.

При литохимических поисках по вторичным ореолам для пробы берется песчано-глинистая фракция. Глубинные литохимические поиски по вторичным ореолам проводятся на особо перспективных площадях. Керн при глубинных поисках должен опробоваться непрерывно, по мере проходки рыхлых образований, с обязательным отбором отдельных проб из «плотика», коры выветривания и неизмененных коренных пород.

Обычно масса отбираемых проб - 50 г, но в случае использования крупных фракций - до 300 г. Правильность отбора проб контролируется повторным опробованием в объеме 3% общего числа проб.

Одновременно с отбором проб в полевой книжке производится их документация. При этом обязательно отмечаются расположенные по маршруту (или вблизи него) дороги, реки, горные выработки, особенности рельефа, характер рыхлых отложений и т.п. При обнаружении в процессе литохимической съемки рудных коренных выходов, вывалов или древних отвалов проводят штучное опробование с подробной документацией и привязкой места отбора пробы.

Первичная обработка проб (до механического истирания) может проводиться в полевых условиях. Просеивание ведется на чистых листах стекла, кровельного железа, алюминия. Использовать сита с бронзовой, латунной и луженой сетками запрещено. Растирание должно проводиться в условиях, исключающих заражение проб ранее растиравшимися материалами.

При работах в масштабе 1:100 000 и мельче обязательному определению в пробах спектральным методом подлежат следующие элементы: В, Ве, Ti, V, Cr. Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Sr. Zr, Nb, Mo, Ag, Sn, Sb, Ba, La, Pb, Bi, W.

В районах, перспективных на обнаружение месторождений В, F, Li, Cs, Rb, Au, Hg, U, должна быть рассмотрена целесообразность применения специальных методов и методик анализа этих элементов. Определение ряда редких и рассеянных элементов, практически не образующих самостоятельные минералы, ведется при повышенных содержаниях в пробе металлов, составляющих руды, в которых могут находиться эти элементы. Например, при высоких содержаниях Pb и Zn следует определить Ag, Ga, Cd, Ge.

При региональных работах целесообразно определение магнитной восприимчивости рыхлых отложений, способствующее выявлению титаномагнетитовых и магнетитовых месторождений, кимберлитовых трубок, массивов ультраосновных пород.

В собственно поисковых исследованиях число элементов, определяемых спектральным анализом, можно сократить до 12-15. Их выбор, а также целесообразность выяснения магнитной восприимчивости проб определяется металлогеническими особенностями и геологическим строением района.

При детальном литохимическом исследовании спектральным анализом выявляются элементы, являющиеся прямыми и косвенными

индикаторами ожидаемых месторождений. В число определяемых следует обязательно включать элементы, образующие надрудные первичные ореолы.

Изображение результатов анализа и оценка аномалий

Составление выборок и изображение результатов.

В самостоятельные выборки объединяются *пробы, отобранные только в одинаковых ландшафтно-геохимических условиях*; для них рассчитываются фоновые и аномальные содержания. Целесообразно для каждого элемента сначала составлять отдельную карту. На ней при поисках по *потокам рассеяния* результаты анализов проб изображаются в виде линий, параллельных опробуемому руслу. Их толщина соответствует (в определенном масштабе) содержанию элемента в потоке, а длина – протяженности потока с данным содержанием элемента. Составляется также одна сводная карта, на которой каждому элементу соответствуют линии своего цвета.

Результаты поисков по *вторичным ореолам* могут изображаться в виде карт фонов и аномалий, дополнениями к которым могут быть различные графики, построенные по профилям отбора проб, и таблицы. Карты фонов составляются отдельно для каждого элемента. На них цветом или различной штриховкой обозначаются фоновые содержания, характерные для опробуемых рыхлых отложений групп геохимических ландшафтов. В одну группу объединяются ландшафты с близким фоновым содержанием рассматриваемого элемента. При этом желательно, чтобы аномальные содержания для девяти коррелирующихся проб одной группы не превосходили фоновые содержания другой. Обычно выделяется от трех до пяти таких групп. Карты фонов наглядно показывают влияние ландшафтно-геохимических условий на распределение элементов в опробуемых отложениях, помогают понять природу геохимических аномалий и более правильно провести их оценку.

Выделение аномалий. Карты аномалий должны отстраиваться с учетом числа коррелирующихся проб и значений аномального содержания элементов, рассчитанных отдельно для каждого выделенного геохимического ландшафта. Здесь следует только отметить, что при поисках по вторичным ореолам каждый ландшафт как бы приравнивается к отдельной разности пород при поисках по первичным ореолам. Выделение аномалий по картам изоконцентраций ведется без учета влияния ландшафтно-геохимических особенностей, поэтому при сложном ландшафтно-геохимическом строении района может полностью исказиться информация о геохимических особенностях коренных пород и наличии в них слабоэродированных месторождений.

После составления карт аномалий отдельных элементов целесообразно составление *сводной карты*, на которой выделяются *аномальные зоны*. Они представляют собой участки с пространственно сближенными аномалиями различных элементов, образование которых (аномалий) может быть вызвано одними и теми же причинами. Так как часто аномалии различных элементов смещены по отношению к телам полезных ископаемых, а главное – друг к

другу, сводные полиэлементные карты не могут быть заменены картами мультипликативных аномалий.

При небольшой мощности рыхлых перекрывающих отложений *мультипликативные* первичные и вторичные ореолы, по данным В.И. Морозова, могут даже в деталях повторять друг друга. В этом случае по вторичным литохимическим мультипликативным аномалиям можно прогнозировать размеры, структуру и другие особенности первичных ореолов и рудных зон. Следует помнить, что для каждого ландшафта нужно рассчитывать свои значения аномальных содержаний. Целесообразность построения карт мультипликативных аномалий должна быть определена после проведения опытных работ.

Оценка аномалий. Все выявленные аномалии необходимо осмотреть на местности, при этом освещаются следующие вопросы:

- характер и мощность (по возможности) рыхлых образований, микрорельеф участка, состав коренных пород на их ближайших выходах на поверхность;
- отсутствие техногенных факторов образования аномалий (отвалы, пути транспортировки руд и т.д.);
- отсутствие геохимических барьеров, могущих вызвать образование ложных аномалий (для выяснения этой задачи часто проводят дополнительные анализы);
- целесообразность дальнейшего изучения аномалий.

При отсутствии вблизи аномалии обнажений дополнительный материал, характеризующий ее перспективность, можно получить, анализируя шлик из рыхлых отложений. В случае необходимости *может проводиться повторное опробование по более густой сети.*

Количественным показателем вторичных ореолов и потоков рассеяния может служить *продуктивность*. Для потока рассеяния она вычисляется по формуле:

$$P'_x = S_x (C'_x - C'_ф),$$

где S_x — площадь бассейна денудации для данной точки, m^2 ; C_x — содержание металла в пробе; $C'_ф$ — фоновое содержание металла.

Предварительная оценка участка, выделенного при поисках по потокам рассеяния, определяется суммарной продуктивностью:

$$P'_{обш.} = \sum_{i=1}^m P'_i,$$

где P'_i — значения продуктивности отдельных потоков рассеяния по m смежным руслам, дренирующим данный участок.

Продуктивность вторичного литохимического ореола определяется по формуле:

$$P = \Delta XL \left(\sum_{x=1}^n C_x - nC_ф \right),$$

где ΔX — расстояние между точками отбора проб по профилю, m ;

L – расстояние между профилями, м;

$\sum_{x=1}^n C_x$ – арифметическая сумма содержаний металла для всех точек в пределах ореола, % по массе;

n – число проб (точек отбора), вошедших в подсчет; C_{ϕ} – фоновое содержание металла, % по массе.

Вести подсчеты продуктивности можно при общем числе точек, входящих в подсчет, более 10.

Вероятные прогнозные ресурсы можно подсчитывать после осмотра потоков рассеяния при наличии коренных рудных выходов или свалов по формуле:

$$Q'_H = \frac{1}{k'k} \sum P'_i \frac{1}{40} H,$$

где k' – местный коэффициент соответствия продуктивности потока рассеяния продуктивности ореола рассеяния; k – местный коэффициент соответствия продуктивности ореола рассеяния продуктивности выхода оруденения на поверхность коренных пород под покровом рыхлых образований; H – выбранная по геологическим соображениям глубина подсчета, м.

Ожидаемые прогнозные ресурсы можно подсчитать после осмотра и полного оконтуривания вторичных остаточных ореолов по формуле:

$$Q = \frac{1}{k} \frac{P}{40} H.$$

Инструкцией (1983) рекомендуется для месторождений Au, Ag, W, Bi, Co и Be глубину подсчета вероятных и прогнозных ресурсов ограничивать величиной 100 м, а для других цветных металлов – 200 м.

При мощности рыхлых отложений более 3 м возможны смещения вторичных ореолов на 30-150 м. В связи с этим, если первыми выработками не вскрыта рудная зона, необходимо провести опробование всей мощности рыхлых отложений. Установление морфологических особенностей вторичного ореола позволит уточнить заложение последующих поисковых выработок. Горные и буровые выработки, закладываемые для оценки вторичных ореолов, должны углубиться как минимум на 0,5 м в коренные породы, не затронутые процессами выветривания.

13-лекция. Гидрогеохимические методы поисков. Условия применения. Масштабы поисков. Отбор геохимических проб

Этот метод основан на исследовании химического состава природных поверхностных и подземных вод.

Принципиальную основу этого метода составляют: 1) способность воды к растворению горных пород, 2) ее активное участие в химических превращениях минералов и 3) свойства воды как подвижной среды.

Связь между химическим составом воды и наличием вблизи водоисточника залежей полезных ископаемых не вызывает сомнений и является одной из причин возникновения гидрохимических аномалий, имеющих поисковое значение.

Способность воды к перемещению из глубоких горизонтов к земной поверхности и ее всепроникающие свойства издавна привлекали внимание к опробованию природных вод в поисковых целях.

Наиболее благоприятными объектами для гидрохимических методов поисков являются месторождения минеральных вод – различных природных хлоридов и сульфатов. Суммарное содержание этих соединений в природных рассолах может превышать 350 г/л, и они способны устойчиво сохраняться в растворах определяя в конечном счете солевой состав океанической воды (Σ солей 35,6 г/л)

Учитывая, что общая минерализация природных пресных вод, в том числе речных, обычно составляет 1,0-0,5 г/л, легко можно оценить тот большой диапазон, в котором могут лежать аномальные содержания солей в поверхностных и подземных водах суши.

Эффективное применение гидрохимических методов возможно при поисках минеральных источников, в частности промышленных бромных вод и месторождений боратов. В числе других активных водных мигрантов (вместе с Cl, Br, B, I) эти элементы характеризуются повышенными величинами коэффициентов талассофильности (Br -30, B -0,4.)

Активное развитие гидрохимических методов поисков рудных месторождений началось в начале 50-х годов прошлого столетия.

Среди рудных месторождений наиболее благоприятными объектами гидрохимических поисков являются сульфидные, в первую очередь колчеданно-полиметаллические и особенно богатые дисульфидами медноколчеданные месторождения. Природные воды обогащаются рудными элементами главным образом при гипергенном окислении сульфидных руд, в ходе которого труднорастворимые, но неустойчивые сульфиды до превращения в устойчивые и труднорастворимые вторичные минералы проходят стадию легкорастворимых сульфатов.

УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ

Наиболее эффективным является применение гидрогеохимического метода для поисков месторождений полезных ископаемых, находящихся в следующих условиях:

- на участках, перекрытых мощным чехлом приносных отложений, когда неэффективен даже биогеохимический метод поисков;
- в резкорасчлененных высокогорных районах, где из-за специфических условий дренажа подземных вод метод становится не только более глубинным, но и возможна более точная интерпретация гидрогеохимических аномалий;
- в платформенных условиях при вероятном залегании тел полезных ископаемых ниже местных базисов эрозии.

Таблица 9.3. Распределение элементов в листьях дуба, граба и бука, опробованных на одних и тех же точках отбора проб (Западный Кавказ)

Растение	Число проб	Элемент	Закон распределения*	Среднее квадратичное отклонение	Содержание, % ($n \cdot 10^{-3}$)			
					фоновое	аномальное для проб		
						коррелирующихся		единичных
						9	2	
Дуб	33	Ni	л	1,6	5,4	8,8	13,9	23
Граб	40	»	л	2	4,4	8,9	17,3	36
Бук	35	»	л	1,9	5,5	10,7	20	40
Дуб	33	Cu	н	3	8	10,9	13,8	16,8
Граб	40	»	л	1,4	6,8	8,1	11,4	16,3
Бук	35	»	л	2,4	8,9	11,5	14,8	19,3
Дуб	33	Pb	н	0,8	1,66	2,5	3,6	4,1
Граб	40	»	н	0,98	2,02	3	3,9	5
Граб	40	Zn	л	2,46	2,52	6,2	14,7	37,6
Бук	35	»	н	9,6	15	24,5	33,7	43,7

* л — логнормальный закон; н — нормальный.

В зависимости от поставленной задачи гидрогеохимические исследования можно разделить на региональные (1:200 000—1:100 000); собственно поисковые (1:50 000-1:25 000) и детальные (1:10 000 и крупнее).

Региональные исследования обычно способствуют выяснению общерегиональной геохимической и гидрогеохимической характеристики региона и выделению наиболее перспективных территорий, поэтому рассматриваемый этап имеет особое значение в гидрогеохимических исследованиях. В пробах, отобранных на этом этапе, должно определяться содержание максимального числа индикаторов полезных ископаемых, вероятных для изучаемого региона.

Собственно поисковые исследования проводятся на перспективных площадях для выявления гидрогеохимических ореолов и выделения участков для постановки детальных работ.

Детальные исследования выполняются для оконтуривания месторождений, а в определенных случаях — даже отдельных тел полезных ископаемых, на перспективных участках, выявленных предыдущими исследованиями.

ОПЫТНЫЕ РАБОТЫ

Опытные работы проводятся в новых районах или при поисках новых для данного района типов месторождений. Их результатом должно быть решение следующих задач: 1) изучение морфологических и геохимических особенностей гидрохимических ореолов известных месторождений; 2) выяснение связи гидрохимических и литохимических ореолов; 3) определение индикаторов, образующих аномалии у ожидаемых месторождений в данных условиях; 4) определение фоновых и аномальных содержаний индикаторов в водоносных комплексах района работ; 5) определение режима водных ореолов.

ОТБОР ПРОБ

Гидрохимические пробы отбираются из естественных источников подземных вод, поверхностных вод (реки, ручьи, болота, озера и т.п.), буровых скважин и горных выработок. В зависимости от сложности геологического и ландшафтно-геохимического строения района исследования на 10 км² должно приходиться при региональных работах 1—10 пунктов водоотбора, а при собственно поисковых — 10—50. При детальном исследовании расстояние между точками отбора проб не должно превышать 100 м. Глубинное геологическое картирование сопровождается обязательным опробованием вод во всех скважинах. Пробы отбираются в чистую посуду, ополаскиваемую водой, предназначенной для анализа.

При определении Cu, Zn, Pb, Ni, Co, U, Ra (после установления pH) пробы непосредственно в поле подкисляют спектрально проверенной 1:1 соляной кислотой (3 мл кислоты на 1 л воды), а при определении Hg и Ag подкисление проводят спектрально чистой 1:1 серной кислотой (2—3 мл кислоты на 1 л воды).

При отборе проб из источника устанавливается его положение по отношению к топографическим и гидрографическим элементам; изучается характер водовмещающих пород; определяется тип источника и характер выхода воды; измеряется дебит источника; определяются физические свойства воды; отбираются образцы отложений источника; при наличии каптажа производится его осмотр и определяется возможность загрязнения им воды. Все эти наблюдения записываются в пикетажный журнал.

При опробовании поверхностных вод осматривают и описывают водоемы (потоки) и гидрогеологические условия участка; измеряют расход воды; определяют ее физические свойства.

Перед отбором пробы из скважин предварительно откачивают воды и описывают в журнале разрез по скважине, ее конструкцию (интервалы нахождения обсадных труб) и характеристику применяемого бурового раствора.

ИЗОБРАЖЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗА И ОЦЕНКА АНОМАЛИЙ

По материалам региональных гидрогеохимических исследований составляются карты общего химического и микрокомпонентного состава

вод. На карте общего химического состава выделяются генетические типы вод и приводится их химический состав. Эта карта составляется на гидрогеологической основе с учетом ландшафтно-геохимических условий. На карте микрокомпонентного состава выделяются участки, различающиеся по комплексу микрокомпонентов, а в их пределах — площади с аномальными содержаниями одного или нескольких элементов-индикаторов.

Итогом изучения распределения элементов-индикаторов в водах, опробованных при региональных исследованиях, является выделение участков, перспективных для поисков различных полезных ископаемых.

Данные, полученные при средне- и крупномасштабных гидрогеохимических исследованиях, служат основой для выделения *гидрохимических аномалий и установления их пространственной связи с местоположением рудных тел.*

Расчет всех фоновых и аномальных содержаний осуществляется дифференцированно по отношению к опробуемым типам вод, водоносным комплексам и геохимическим ландшафтам. При значительном изменении минерализации вод иногда возникают затруднения в разбраковке аномалий. В этих случаях целесообразно использовать следующие отношения содержаний отдельных компонентов между собой и общей минерализацией воды:

$$\frac{\text{SO}_4}{\text{M}}; \frac{\text{SO}_4}{\text{Cl}}; \frac{\text{B}}{\text{Cl}}; \frac{\text{SO}_4}{\text{HSO}_4}; \frac{\text{Zn}}{\text{M}}; \frac{\text{B}}{\text{M}},$$

где М — общая минерализация воды в точке отбора. В случае их существенного отличия от аналогичных отношений, вычисленных для заведомо безрудных участков, они могут являться одним из косвенных поисковых признаков.

В итоге по результатам гидрохимических исследований должна быть составлена карта перспективных участков, при большом числе которых необходимо выделять первоочередные участки.

Шлиховые поиски

УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ

Все шлиховые исследования можно разделить на мелко- (региональные), средне- и крупномасштабные.

Региональные исследования проводятся в масштабе 1:100 000— 1:500 000 с отбором проб по долинам главных рек и их крупных притоков на расстоянии 10—15 км друг от друга. Данные, полученные при рекогносцировочных исследованиях, дают *самую общую оценку рудоносности района.*

При *среднемасштабных* (1:200 000—1:100 000) и *крупномасштабных* (1:50 000— 1:25 000) исследованиях расстояние между пробами колеблется от 0,5 до 2 км, а на отдельных участках возможно сгущение проб до 0,25 км. Рассматриваемые работы позволяют дать *обоснованную*

перспективную оценку района, установить связь рудных минералов в шлихах с коренными породами и определить местоположение отдельных рудных тел.

ОТБОР ПРОБ

Принцип отбора проб одинаков для поисков различного масштаба и зависит от степени зрелости гидрологической сети. При опробовании *молодых рек* пробы отбирают из современных русловых отложений на участках, где возможна максимальная концентрация рудных минералов (зоны расширения речных долин, крутые повороты русла, перекаты, пороги, косы, отмели, старицы и районы изменения продольного профиля долины). Наиболее благоприятны для опробования грубообломочные, относительно малосортированные отложения.

Для возможного сопоставления результатов анализов все пробы должны быть одинаковыми. Стандартным считается объем пробы 0,02 м³. При отборе проб из копушей рекомендуется делать их сечением от 20х30 до 30х30 см при глубине до 60 см. Если расстояние от поверхности до плотика больше 60 см, то пробу следует брать с горизонтов ложных плотиков. При опробовании косовых отложений пробу рекомендуется брать из поверхностных частей рыхлых образований.

В регионах со *зрелой гидросетью* шлиховые исследования проводятся в основном для поисков россыпных аллювиальных месторождений. Пробы отбираются из копушей и в ряде случаев из шурфов, вскрывающих все аллювиальные отложения опробуемых речных долин. При простом строении долины копуши проходятся вдоль реки в пределах поймы или первой надпойменной террасы по правому и левому берегам. При сложном строении речной долины для поисков современных и древних россыпей опробуется весь террасовый комплекс. Для этого удобно проходить копуши по профилям, полностью пересекающим долину, с таким расчетом, чтобы пробы были отобраны из всех террас реки. Каждую террасу следует опробовать в ее бровковой и тыловой частях; при большой ширине террасы дополнительные пробы берутся из ее срединных частей. Глубина шурфов, проходимых при опробовании зрелой гидросети, может достигать 3 м. Пробы следует брать из наиболее богатого, приплотикового горизонта, а если он не вскрыт, опробуются ложные плотики.

Иногда при детальном исследовании производится отбор проб из делювия склонов для установления пространственного положения рудных тел. В этом случае пробы отбираются из небольших копушей, расположенных по профилям, параллельным долине реки.

Отбор проб сопровождается детальной документацией. В полевой книжке составляется абрис, даются геологическая привязка пунктов опробования, характеристика отобранных в пробу пород и глубина их взятия. Эти же данные указываются на этикетке, прилагающейся к пробе.

ОБРАБОТКА ПРОБ

Промывка проб состоит из отмучивания глины, сброса песчаной фракции и доводки шлиха. Первые операции осуществляются в лотках, а доводка — в обычном ковше. Принято промывать шлих до тех пор, пока

через края ковша не начинают переплывать зерна гранатов, хорошо различимые в мокром шлихе. Если в шлихе нет гранатов, то конец промывки определяется по появлению у шлиха равномерного серого цвета. При ведении поисков шлиховзрывным методом пробы промывают до появления у шлиха светло-серой окраски. Для контроля работы в отобранную пробу подбрасывается несколько мелких осколков охотничьей дробы. Если они останутся в шлихах, проба отмыта правильно.

Промытые шлихи высушиваются (но ни в коем случае не прокаливаются на огне) и упаковываются в бумажные пакеты, на которых указывается номер шлиха, краткая привязка и название партии. По мере отбора шлихи следует систематически отсылать на анализ в минералогическую лабораторию, где их разделяют на фракции и изучают. Для увеличения эффективности шлихового метода поисков целесообразно применять спектральный анализ отдельных минералов, содержащих прямые элементы-индикаторы, или всего шлиха (шли-хогеохимические поиски). Кроме того, можно проводить декрепто-метрический анализ отдельных фракций (см. гл. 8).

ИЗОБРАЖЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗА

По данным, полученным при шлиховых исследованиях, составляются кружковые и ленточные шлиховые карты. На кружковых количественное содержание минералов отражается размером кружка, а для каждого минерала выбирается окраска определенного цвета. На ленточных цветными полосами закрашиваются участки, в рыхлых отложениях которых содержатся рудные минералы. В местах, где рудные минералы в шлихах не обнаружены, ленты прерываются или выклиниваются. Цвет лент соответствует составу рудных минералов, а ширина — их количественному содержанию.

К шлиховым картам прилагается объяснительная записка, в которой должны быть систематизированы и обобщены все материалы, полученные при поисках. Отдельный раздел должен содержать основные выводы, касающиеся оценки рудоносности изученного района, и рекомендации к направлению дальнейших поисковых или разведочных работ.

14-лекция. Биогеохимические методы поисков. Условия применения. Масштабы поисков. Отбор геохимических проб

Биогеохимический метод поисков основан на исследовании химического состава живого вещества, как правило, состава растений.

Современные биогеохимические поиски связаны с химическим анализом вещества.

Наблюдения над видовым составом и морфологическими особенностями растительности составляют предмет геоботанических исследований (они к геохимическим не относятся). Развитием биогеохимического метода поисков рудных месторождений занимались С.М. Ткалич, А.П. Виноградов, В.В. Поликарпочкин, А.Л. Ковалевский и др. В

результате исследований неизменно подтверждалось наличие биогеохимических аномалий в химическом составе растений, произрастающих над месторождениями Cu, Zn, Pb, U, Mo, Ni, B, Au и др. полезных ископаемых.

Обычно эти биогеохимические съемки проводились путем опробования одного или нескольких господствующих видов растений, озоления растительного вещества и спектрального анализа полученной золы.

Связь между химическими составами почвы и произрастающей на ней растительности имеет сложный характер. В составе земной биомассы общий объем животных организмов весьма незначителен, а кларки биосферы достаточно близко характеризуют средний химический состав растительности. Согласно химическому составу геосферы (мы это записывали в таблице – химический состав геосфер) – 10 элементов (O, C, H, Ca, K, Na, Si, Mg, P, S) – в сумме составляют – 99,96% биосферы, а первые 3 макроэлемента – O, C, H составляют 98,5% всей биомассы. На долю всех остальных 82 микроэлементов приходится всего 0,04% живого вещества. Более 50% массы живого вещества составляет вода, в которой связаны значительные количества кислорода и водорода.

Газообразные элементы биосферы, заимствованные из атмосферы, возвращаются в неё в процессе биологического круговорота вещества.

- В золе растений, произрастающих над рудными телами, на старых рудничных отвалах при высоких содержаниях металлов в почвах отмечались содержания рудных элементов, в десятки и в сотни раз превышающие их средний уровень.
- К наибольшей концентрации металлов способны определенные виды растений, в золе которых содержания отдельных металлов могут достигать нескольких %: более 20% Zn, до 8% Ni, более 1% Cu, Pb, As, Be. Однако такие растения – концентраторы не имеют повсеместного распространения, и как правило, мало пригодны для проведения биогеохимических поисков.
- Наилучших результатов поисковых биогеохимических съемок следует ожидать при опробовании таких видов растений, зола которых в области биогеохимического фона характеризуется устойчиво низкими, но определяемыми содержаниями элементов-индикаторов, быстро возрастающими до аномальных в близи месторождений.
- Это определяет необходимость тщательной оценки параметров местного фона $C\phi$, (стандартного множителя – величина, которого зависит от технической точности геохимических исследований) и СА (нижнего аномального содержания рудных элементов) в золе местных видов растений, а также выбора одного-двух из них для поискового опробования.

УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ

Применение биогеохимического метода поисков целесообразно в тех случаях, когда он обладает преимуществом перед более простым

литохимическим методом поисков по вторичным ореолам рассеяния. Можно считать, что биогеохимический метод является одним из наиболее эффективных методов в следующих ландшафтно-геохимических и климатических зонах:

- гумидной зоне при замедленной денудации, если широкое развитие получили процессы выщелачивания элементов-индикаторов из элювиально-делювиальных отложений и кор выветривания;
- гумидной и умеренно влажной зонах, если вторичные цитохимические ореолы перекрыты дальнепринесимыми отложениями мощностью до 40 м, а в отдельных случаях — до 80 м;
- пустынь или полупустынь аридной зоны, если вторичные литохимические ореолы или непосредственно рудные зоны перекрыты дальнепринесимыми отложениями мощностью до 20-40 м;
- заболоченных равнин и торфяников при неглубоком (2-10 м) залегании потенциально рудовмещающих коренных пород;
- на участках, покрытых сплошным моховым покровом, где отбор литохимических проб затруднен и связан с большими затратами;
- на участках, покрытых растительным покровом, и со слепыми литохимическими ореолами рассеяния, верхняя граница которых находится на глубине не менее 1 м от дневной поверхности;
- на участках, перекрытых крупноглыбовыми курумовыми осыпями, поросшими деревьями и кустарниками;
- на болотах (при условии их промерзания и возможности зимнего отбора проб).

В зависимости от поставленной задачи биогеохимические исследования делятся на региональные (1:200 000—1:100 000), собственно поисковые (1:50 000—1:25 000) и детальные (1:10 000).

Региональные работы способствуют выяснению общей геохимической и биогеохимической характеристики районов; при их проведении возможно обнаружение биогеохимических ореолов части месторождений. Основным же заданием на этом этапе должно быть проведение опытно-методических исследований, обеспечивающих эффективное ведение поисков биогеохимическим методом на последующих этапах.

Собственно поисковые работы должны привести к обнаружению биогеохимических ореолов новых месторождений полезных ископаемых и установлению общих закономерностей их размещения. При проектировании глубинного геологического картирования с прогнозированием полезных ископаемых биогеохимические поиски должны предшествовать бурению, а их данные — учитываться для определения мест заложения скважин.

Детальные работы выполняются с целью выявления и оконтуривания биогеохимических ореолов месторождений, отдельных рудных зон и тел.

ОПЫТНЫЕ РАБОТЫ

Опытные работы должны проводиться над рудными телами и безрудными участками и включать ботанические и биогеохимические ис-

следования. При ботанических исследованиях определяют основные виды растений, произрастающих в данном районе, и составляют гербарий.

Основными задачами, решаемыми с помощью биогеохимических опытных работ, являются следующие:

- определение влияния фенологических фаз развития и возраста на содержание элементов-индикаторов в наиболее распространенных растениях района;
- установление закономерностей распределения элементов-индикаторов по частям растений (если распространены растения с неравномерно развитыми органами);
- выявление особенностей связи между металлами в растениях;
- установление у основных растений района физиологических барьеров поглощения элементов-индикаторов;
- определение растений, наиболее пригодных для опробования (обычно достаточно 2—5 из наиболее распространенных);
- выявление комплекса элементов-индикаторов, определение содержаний которых необходимо проводить в пробах;
- установление морфологических и биохимических особенностей биогеохимических ореолов в зависимости от состава и размеров рудных тел и вторичных литохимических ореолов, от мощности рыхлых отложений, ландшафтно-геохимических условий;
- определение в конкретных ландшафтно-геохимических условиях глубинности метода при отборе в пробы основных растений;
- сопоставление результатов биогеохимических поисков с литохимическими;
- установление различий в распределении основных элементов-индикаторов в одних и тех же растениях (их частях), произрастающих в различных ландшафтно-геохимических условиях.

ОТБОР ПРОБ

Общие положения. Сеть пробоотбора при проведении биогеохимических исследований, ориентировка профилей и последовательность укрупнения масштаба работ должны соответствовать требованиям, предъявляемым к производству литохимических поисков по вторичным ореолам. Один вид растений должен опробоваться подряд не менее чем на пяти точках по профилю. При опробовании *травянистых растений* (соотношение между отдельными частями в которых всегда примерно одинаково) в пробу лучше брать всю надземную часть, кроме прикорневых листьев, загрязненных частичками почвы. При опробовании *многолетних кустарников и деревьев* в пробы всегда следует брать только одну и ту же часть растения (с кустарников и лиственных пород деревьев целесообразно отбирать в пробы листья, а с хвойных — прирост последнего года с хвоей).

Учет биологических барьеров при выборе растений для опробования. В настоящее время очень большое внимание при проведении биогеохимических поисков стало уделяться биологическим барьерам поглощения элементов, а соответственно — «барьерным» и «безбарьерным» растениям.

Изучение анализов многих десятков тысяч биогеохимических проб показывает, что физиологический барьер накопления металлов, обычно являющихся индикаторами оруденения, начинает действовать после получения растением такой их порции, которая превышает аномальное содержание этих же элементов в растении для данного ландшафта. Однако в связи с этим следует еще раз подчеркнуть, что для каждого растения необходимо определять фоновое и аномальное содержания в каждом геохимическом ландшафте.

Поступление повышенных содержаний каких-либо элементов в растения вызывает нарушение ранее существовавших связей между элементами в организме. В результате этого в растениях накапливается в аномальных концентрациях (повышенных или пониженных) ряд косвенных элементов-индикаторов. Так, над свинцовыми рудами выявлены «отрицательные» аномалии Си и Мо (см. рис. 3.2); над ртутными — «положительные» Pb, Zn, Ba, Cu, Mn, Mi (см. рис. 7.15). Следует отметить, что этот набор элементов меняется не только в зависимости от изменения прямых элементов-индикаторов, но также от смены опробуемых растений и изменения ландшафтно-геохимических условий. В целом же учет ландшафтно-геохимической обстановки при выделении аномалий, а также выделение аномалий не по одному, а по нескольким (10—12) элементам позволяет в подавляющем большинстве случаев использовать для биогеохимических поисков практически все основные травы, кустарники и деревья.

Основные особенности отбора проб. При отборе проб *необходимо уделять внимание ботаническим признакам*, указывающим на возможное нахождение месторождений полезных ископаемых. Такими признаками могут быть: физиологические и морфологические изменения растений; появление локальных и универсальных растений-индикаторов; смена растительных ассоциаций, необъяснимая с точки зрения изменения экологических условий; существенные отклонения в ритме развития растений (раннее или позднее цветение, ранний или поздний опад листьев и т.п.); признаки угнетения или не объяснимое другими причинами отсутствие растительности.

Биогеохимические пробы могут быть *простыми* (берется одно травянистое растение или его определенная часть только с одного дерева или куста) и *составными*. В последнем случае в пробу также отбирается один вид растений (или даже только определенная его часть), но с площади, занимающей до 10 м². Отбор составных проб целесообразен при проведении региональных и среднемасштабных исследований.

Масса проб определяется после проведения опытных работ, однако можно считать, что она не превышает 20 г. Одновременно с отбором проб в стандартной полевой книжке производится их *документация*, которая в обязательном порядке включает следующие сведения: место отбора пробы, опробуемый вид и орган растения, его возраст, фенофазу и народное название. Следует также указывать периоды дождей и

их интенсивность (сильный, умеренный, слабый). Отбор проб должен сопровождаться составлением абриса.

Контрольное опробование проводится в объеме не менее 3% общего количества отобранных проб. Проводить контрольное опробование необходимо в ту же фенологическую фазу развития растения, в которую проводилось и основное опробование. Если это невозможно (ко времени выделения аномалий стадии развития растений изменились), контрольному опробованию подвергаются растения на аномальном и заведомо безрудном участке. Расчет фоновых и аномальных значений в этом случае осуществляют по результатам опробования на безрудном участке. Опробование при изменившейся стадии развития растений должно составлять незначительную часть контрольного опробования, которое запрещается проводить при изменившихся метеорологических условиях.

ОБРАБОТКА ПРОБ

Отобранные биогеохимические пробы в полевых условиях сушатся и измельчаются. В случае сильного запыления пробы нужно промыть дождевой или чистой речной водой. Ввиду опасности «вымывания» элементов промывание следует проводить как можно быстрее. Затем в лаборатории пробы подвергаются озолению в специальных печах, что уменьшает их загрязнение и увеличивает производительность труда. Озоляют в фарфоровых и металлических тиглях*. Полученную золу прокаливают в муфельных печах в течение 4-6 ч при температуре 500—600° С. В таких условиях в пробах выгорают органические вещества. Лучше всего озоление и прокаливание проводить в специальных электрических печах, что позволяет строго выдерживать заданный режим. Прокаленная зола растирается и передается для проведения спектрального анализа.

При необходимости определения в биогеохимических пробах легколетучих элементов (Hg, As, Sb и др.) пробы растворяют в кислоте (предварительно проверенной на отсутствие определяемых в пробах элементов) и анализируют раствор.

Комплекс элементов, подлежащих обязательному определению при региональных биогеохимических исследованиях, аналогичен таковому в изучаемых литохимических пробах, отбираемых при поисках по вторичным ореолам соответствующего масштаба. Элементы, определяемые в биогеохимических пробах при средне- и крупномасштабных поисках, устанавливаются после проведения опытных работ.

ИЗОБРАЖЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗА И ОЦЕНКА АНОМАЛИЙ

Составление выборок. Для повышения эффективности биогеохимического метода поисков была разработана и прошла многолетнюю успешную проверку *методика выделения участков сопоставимых проб* (В.А. Алексеенко, 1974). Участки сопоставимых проб представляют собой площади, характеризующиеся одинаковыми ландшафт-но-геохимическими условиями, на которых опробуются только определенные части растений, находящихся в одинаковых фенологических фазах развития.

Для исключения влияния сроков опробования растений на содержание в них металлов в пределах всего района поисков следует выделить площади, в пределах которых отбор проб можно произвести в одну фенологическую фазу развития опробуемых растений (какая их часть берется в пробы, устанавливается заранее). Размеры таких площадей зависят в каждом конкретном случае от скорости смены фенологических фаз у опробуемых видов растений, от проходимости участка и сезона пробоотбора.

В пределах выделенных площадей устанавливаются непосредственно участки сопоставимых проб. Практически выделение таких участков проводится при последовательном наложении сделанных на кальке карт геохимических ландшафтов и смены фенофаз опробуемого растения (для каждого растения делаются свои карты участков сопоставимых проб). Обычно в пределах площади, включающей до 10 000 точек отбора проб, выделяется от 30 до 70 различных участков сопоставимых проб.

Выделение аномалий. В процессе математической обработки отдельно для каждого вида растений (их частей), произрастающих на определенных участках сопоставимых проб, устанавливаются аномальные содержания элементов в золе. Для выявления биогеохимических аномалий на планшет особыми значками или цветом выносятся содержания, значительно меньшие фонового, аномальные для двух и девяти коррелирующихся проб, а также для единичных проб. Затем по методике, описанной для первичных ореолов (см. рис. 8.3), выделяют «отрицательные» и «положительные» аномалии для каждого элемента на отдельном планшете. Потом составляется сводная карта аномалий с выделением на ней отдельных аномальных зон (рис. 9.1).

Оценка аномалий. Перспективность каждой аномалии рассматривается в зависимости от особенностей геологического строения, распределения элементов-индикаторов и изменения корреляционных зависимостей между ними. Все аномалии должны быть осмотрены на местности для отбраковки заведомо не связанных с месторождениями полезных ископаемых и выяснения особенностей геологического строения аномальных участков.

На перспективных аномалиях обязательно проведение проверочной глубинной или поверхностной (в зависимости от мощности перекрывающих отложений) литохимической съемки по рыхлым отложениям. После дополнительных геохимических и геофизических исследований задаются горные или буровые выработки для вскрытия рудных зон в коренном залегании.

Как пример оценки биогеохимических аномалий, выявленных по методике участков сопоставимых проб в Центральном Казахстане, можно рассмотреть результаты глубинной литохимической съемки, проведенной после биогеохимических поисков (см. рис. 9.1). Мощность рыхлых отложений на рассматриваемом участке доходит до 20 м. Биогеохимические пробы отбирались по сетке 25х200 м, скважины бурились по сетке 40*200 м. В литохимические пробы брались коренные породы. Анализ данных показал, что все аномальные участки, обнаруженные при биогеохимической съемке, связаны с повышенными содержаниями металлов (от сотых долей процента до нескольких процентов) в коренных породах. Невыявленных аномалий при биогеохимической съемке на площади работ (40 км²) не было. Таким образом, вместо разбуривания по сетке всей площади можно было бы с тем же поисковым эффектом ограничиться проверкой биогеохимических аномальных зон. Поверхностные литохимические поиски, проводимые на участке даже в более крупном масштабе, положительных результатов не дали.

Проблема эталонного растения. Во многих руководствах рассматривается возможность приведения результатов анализов проб различных растений (с помощью специальных коэффициентов) к одному «эталонному» растению. Однако, как это видно из табл. 9.3, из-за разных законов распределения элементов и их дисперсий ввести один коэффициент для различных аномальных содержаний (для единичных проб, а также двух и девяти коррелирующихся) практически невозможно. Кроме того, закон распределения и дисперсия для одного и того же растения изменяются также с изменением ландшафтно-геохимических условий произрастания (см. табл. 4.2, 4.4, 4.5. 4.9, 10.3, 10.4). Следовательно, если даже удастся в редком случае подобрать допустимый коэффициент, то он будет пригоден только для двух рассматриваемых ландшафтов. Если этот коэффициент использовать для всего участка работ, то не будут учитываться его ландшафтно-геохимические особенности.

15-лекция. Атмогеохимические методы поисков. Условия применения. Масштабы поисков. Отбор геохимических проб

Атмогеохимические (газовые) поиски месторождений полезных ископаемых основаны на исследовании состава подземной атмосферы т.е. химического состава газов, насыщающих горные породы вблизи дневной поверхности.

Если газовый пробоотбор ведется с малой глубины (1-3м.), принято говорить об исследовании подпочвенного воздуха.

Современные газовые съемки выполняются с глубиной пробоотбора 20-600м. Реже исследуется газовый состав приземной атмосферы, хотя именно в этом варианте существенно возрастает оперативность атмохимической съемки.

Земную атмосферу в основном составляют три газа - азот (около 78%), кислород ($\approx 21\%$) и аргон ($\approx 1\%$). Низкий геохимический фон и высокая подвижность химических элементов в газовой фазе создают исключительно благоприятные условия для формирования атмохимических ореолов рассеяния любых месторождений полезных ископаемых.

История возникновения

Возникновение атмогеохимического метода поисков относится к началу 30-х годов прошлого столетия и связано с именем В.А. Соколова. Это были поиски месторождений нефти и газа путем определения содержаний углеводородных газов в пробах подпочвенного воздуха. В это же время был разработан метод эманационной съемки, при которой в поисковых целях в почвенном воздухе определялись содержания радона и торона. Впоследствии эманационная съемка вошла в состав радиометрических методов поисков радиоактивных руд, составляющих самостоятельную, хорошо разработанную область прикладной геохимии.

В 50-60-е годы прошлого столетия был разработан Е.А. Сергеевым газортутный метод поисков рудных месторождений.

В это же время В.З. Фурсовым, И.И. Степановым и другими были начаты исследования по применению атмогеохимического метода к поискам рудных месторождений по косвенным газам-индикаторам (CO_2 , O_2).

Глубинность атмогеохимических методов

Атмогеохимические поиски в целом являются косвенными, однако тщательный анализ физико-химических условий образования газовых ореолов рассеяния часто дает достаточные основания для уверенной геологической интерпретации выявленных аномалий и установления их связи с месторождениями.

К достоинствам атмогеохимических методов относится их значительно большая, чем возможная в принципе для других геохимических методов, глубинность.

Газы в сумме определяют многокомпонентную сложную смесь атмогеохимических ореолов рассеяния, которая наследует газовый состав месторождений при их формировании и в последующие периоды, когда

физико-химические и биологические процессы, особенно в зоне гипергенеза меняются, усиливают или возобновляют действие атмохимических источников.

Газовые ореолы рассеяния могут состоять из химических элементов, неорганических, органических и элементарно-органических соединений.

Взаимосвязанность и взаимообусловленность геохимических аномалий в геосферах (по А.П. Соловову, 1985)

I – V - степень удаленности от объекта поисков

Газовые ореолы

Атмогеохимический метод поисков месторождений основан на измерении концентрации газов в почвенном воздухе. Установлено, что над месторождениями любого генезиса существуют газовые ореолы, которые можно разделить на 3 группы (Ворошилов В.Г., 2011):

- 1) газы, сингенетические процессу рудоотложения;
- 2) газы из зон тектонических нарушений;
- 3) газы, возникающие при гипергенных процессах.

По составу это обычно смесь углеводородов (в первую очередь метан), углекислый газ, пары металлов (в первую очередь, ртути).

Газортутный метод поисков

Наиболее широко используется при поисках месторождений различных типов газортутный метод.

Содержание ртути над сульфидными месторождениями составляют от 10×10^{-6} до $900 \times 10^{-6}\%$. Накопление ртути происходит как в процессе образования сульфидов (адсорбция), так и после их формирования (адсорбция на поверхности кристаллов). Ртуть очень легко отделяется в газовую фазу, поэтому все сульфидные месторождения постоянно ей «дышат».

Газортутные съемки

Газортутные съемки проводятся с целью поисков погребенных рудных месторождений.

Наиболее распространены съемки по почвенному воздуху. Опробование выполняется из шпуров глубин 0,4-0,7 м зондом с золотым сорбентом. Отсос газа в объеме 0,5-1 л проводится со скоростью 1л/мин. После прокачки поглощенная сорбентом ртуть десорбируется нагреванием и потоком атмосферного воздуха вводится в ртутный фотометр.

При обводненности рыхлых отложений опробуется атмосферный воздух на высоте до 1,5 м.

Глубинность газортутного метода

Глубинность газортутного метода при поисках колчеданных и полиметаллических месторождений достигает 300 м., ртутных и сурьмяных месторождений – 400 м.

Рациональный масштаб поисковых съемок 1: 50 000, плотность сети наблюдений 500х500 м. Газортутные ореолы часто имеют изрезанный вид.

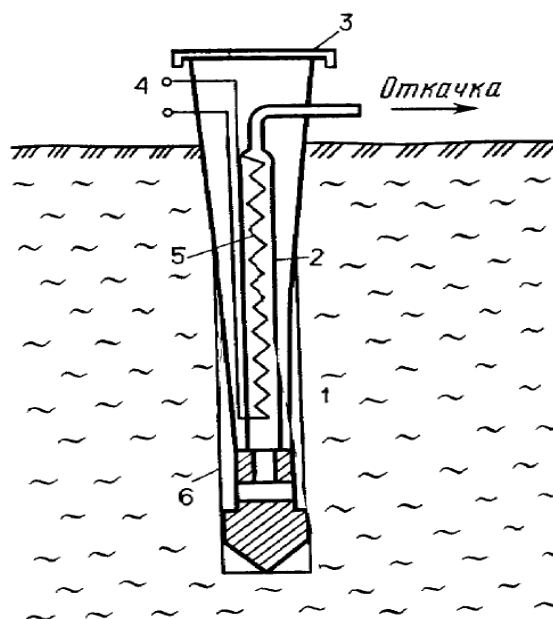
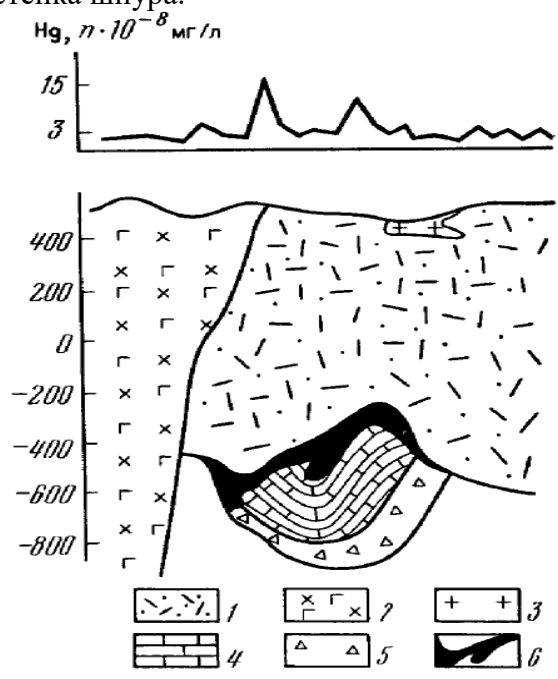


Схема опробования подпочвенного воздуха при газортутной съемке
 1 – рыхлые отложения; 2 – стеклянная трубка; 3 – корпус зонда; 4 – электрический разъем;
 5 – золотой сорбент; 6 – стенка шпура.



Содержание паров ртути в почвенном воздухе над месторождением Николаевское
 1 – риолитовые туфы; 2 – габбродиориты; 3 – гранит-порфиры; 4 – известняки; 5 –
 песчаники; 6 – руды.

Условия применения

Основной объем работ при поисках месторождений полезных ископаемых атмохимическими методами пока приходится на долю поисков залежей нефти и газа.

Атмохимические поиски нефти и газа могут проводиться на различных стадиях, начиная с региональных (масштаб 1:100 000—1:500 000) и кончая детальными (масштаб 1:25 000).

Весьма целесообразна их постановка после геофизических исследований и выделения геологических структур, перспективных для нахождения залежей.

Поиск рудных месторождений

При поисках рудных тел атмохимические методы следует использовать на участках, перекрытых толщей молодых отложений. Их постановка возможна только после проведения опытно-методических исследований, доказавших эффективность атмохимического метода поисков, ожидаемого в конкретных геологических и ландшафтно-геохимических условиях определенного промышленно-генетического типа месторождений.

Применение атмохимических методов поисков рудных месторождений наиболее целесообразно на стадии «Поиски месторождений полезных ископаемых» при масштабе исследований 1:50 000-1:25 000. Эти исследования могут проводиться как самостоятельно, так и в комплексе с другими геологоразведочными работами.

Проведение опытных работ

Проведению поисковых работ атмохимическими методами во всех новых районах должны предшествовать опытно-методические исследования, которые могут дать ответ на следующие вопросы:

- 1) образуются ли над ожидаемыми телами полезных ископаемых в конкретной геологической и ландшафтно-геохимической обстановке газовые ореолы рассеяния;
- 2) какие индикаторы образуют аномалии;
- 3) какой является наиболее целесообразная глубина пробоотбора;
- 4) каковы значения фоновых и аномальных содержаний, выбранных для поисков индикаторов;
- 5) являются ли в данных условиях атмохимические поиски более эффективными и дешевыми по сравнению с другими методами поисков.

Отбор проб

На первых стадиях поисков залежей нефти и газа пробы отбирают из неглубоких (обычно до 25-30 м) скважин, пробуренных по сети 10х2 или 5х2 км.

На последующих стадиях увеличивается глубина пробоотбора до пересечения верхнего, регионально выдержанного водо-газоупора. При этом возможно сгущение сети скважин до 0,5 км (в особых случаях расстояние между скважинами может быть менее 0,5 км). Опробованию, по возможности, подвергаются все скважины независимо от их назначения (сейсмические, структурные и т.п.). При бурении глубоких скважин необходимо проведение газового каротажа.

При поисках рудных месторождений пробы отбираются не только из скважин, но и с помощью специальных зондов.

Газовые пробы отбираются специальными газоотборниками. Анализ газов лучше проводить на месте отбора.

Объем этих проб должен определяться методикой лабораторного анализа и количеством определяемых компонентов. Отбору проб должна предшествовать откачка газов в объеме, превышающем объем опробуемой камеры в 3-4 раза.

Отбор проб должен сопровождаться документацией в полевом журнале и составлением карты фактического материала.

Изображение результатов и оценка аномалий

Данные, полученные при геохимических поисках, изображаются в виде графиков, разрезов по скважинам и карт содержаний газовых компонентов. Весь графический материал оформляется в соответствии с ранее рассмотренными требованиями. Выводы о перспективности выявленных геохимических аномалий для рудных тел можно делать после проведения глубинного геохимического опробования. При этом скважины должны доходить до коренных горных пород, которые и подвергаются опробованию.