

Министерство аграрной политики и продовольствия Украины
Государственное агентство рыбного хозяйства Украины
Керченский государственный морской технологический университет

Кафедра «Экология моря»

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОХИМИЯ

Конспект лекций
для студентов направления 6.040106 «Экология, охрана окружающей среды и сбалансированное природопользование»
дневной и заочной формы обучения

УДК 502:550.4

Автор: Кудрик И.Д., к.геол.-м.н., доцент кафедры «Экология моря» КГМТУ.

Рецензент: Хребтова Т.В., к.б.н., доцент кафедры «Экология моря» КГМТУ.

Конспект лекций рассмотрен и одобрен на заседании кафедры «Экологии моря» КГМТУ, протокол № 8 от «11» марта 2013г.

Конспект лекций утвержден и рекомендован к публикации на заседании методической комиссии ТФ КГМТУ,
Протокол № 3 от «16» апреля 2013 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ НАУКИ	4
1.1 Технический прогресс в «Экологической геохимии»	5
2 ОСНОВЫ МЕТОДЫ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ	6
2.1 Исследования на суше	6
2.2 Исследования в пределах аквальных ландшафтов	7
2.3 Проектирование и организация эколого-геохимических исследований на суше и в пределах аквальных ландшафтов	8
2.4. Составление схематических карт геохимических ландшафтов на суше	8
2.5 Составление схематических карт геохимических ландшафтов	9
на аквальных территориях	9
2.6 Полевые эколого-геохимические исследования	9
2.7 Методы геохимического опробования	10
3 СТРОЕНИЕ ЗЕМЛИ. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ. КЛАРКИ. ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ	11
4 ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КЛАССИФИКАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ	12
5 ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ МИГРАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ	13
6 ОСОБЕННОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ МИГРАЦИИ	17
7 ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ В БИОСФЕРЕ И ГЕОСФЕРЕ	18
7.1 Самостоятельные минеральные виды	19
7.2 Основные принципы кристаллохимии	19
7.3 Химическая связь в кристаллических решетках	19
7.3.1 Ионные радиусы.	20
7.4 Минералы в биосфере	20
7.5 Изоморфная форма нахождения химических элементов	20
7.5.1 Изоморфные смеси в биосфере	21
8 ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОХИМИЯ ПЕДОСФЕРЫ, ИЛОВ И КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ.	21
8.1 Экологическая геохимия илов	22
8.2 Экологическая геохимия кор выветривания	22
9 ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТОВ	23
9.1 Геохимия техногенных ландшафтов	24
9.2 Биогеохимические провинции	25
10 ВОДНЫЕ РАСТВОРЫ	26
10.1 Водные ресурсы как форма нахождения химических элементов	27
10.2 Ионный обмен в водных растворах	28
11 ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИ ТЕХНОГЕННЫХ ПРОЦЕССАХ	28
11.1 Основные виды антропогенных изменений в биосфере	30
12 ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ БИОСФЕРЫ	30
12.1 Общие требования к оценке процессов и явлений	30
12.2 Требования к оценке биосферных процессов	30
12.3 Качественная оценка состояния территории	32
12.4 Количественная оценка состояния территорий и его изменений	33
13 ХАРАКТЕРИСТИКА ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ГЕОХИМИИ	33
14 ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ЕЕ ИЗМЕНЕНИЙ	35
14.1 Принципы количественной оценки и введение новых эколого-геохимических показателей	35
14.2 Экономическая оценка	36
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА	38

ВВЕДЕНИЕ

Геохимия – сравнительно молодая наука, изучающая химический состав Земли и ее оболочек, и протекающие в них химические процессы:

- миграцию химических элементов;
- взаимодействия между ними;
- процессы их концентрации и рассеяния;
- распределение в различных природных средах;
- формирование ассоциаций, то есть закономерных сочетаний, химических элементов).

Экологическая геохимия является составной частью науки – общая геохимия. Экологическая геохимия занимается изучением поведения химических элементов в верхней оболочке Земли. Одной из особенностей которой, является наличие живых и растительных организмов, т.е. взаимоотношение живой и неживой природы. Все химические процессы в биосфере происходят при участии живых организмов в среде, созданной под их влиянием. Изучая особенности распределения и миграции химических элементов в верхних слоях Земной коры, можно установить общие закономерности распределения химических элементов, как по вертикали, так и по горизонтали. Для такого изучения наиболее удобным является ландшафтный уровень, который образует самостоятельную геохимическую систему. Ученый А.И. Перельман считает, что ландшафты являются «такими же фундаментальными понятиями естествознания, как «химический элемент», «живой организм», «почва», «минерал».

Центром геохимических ландшафтов считаются почвы. Составной частью геохимических ландшафтов является растительный мир и живые организмы, коры выветривания, поверхностные и подземные воды и, отчасти подстилающие горные породы. Экологическая геохимия тесно связана с другими науками, в частности - геологией с основами геоморфологии, биологией, химией, почвоведением, биогеохимией, ландшафтной экологией и др.

Одна из основных задач, стоящих перед экологической геохимией – геохимическая оценка условий существования организмов. Оценка среды с точки зрения химического состава. При этом она должна быть сделана из особенностей распространения, миграции, концентрации, и форм нахождения химических элементов в биосфере в целом. Экологическая геохимия — научное направление, исследующее морфологические, ретроспективные и прогнозные задачи, связанные с изучением влияния геохимических полей и геопатогенных аномалий (неоднородностей земной коры) природного и техногенного происхождения на биоту. Среди этих полей выделяются литогеохимические, гидрогеохимические, биогеохимические и атмогеохимические.

Объектом исследований экологической геохимии является вещественный состав литосферы, миграция подвижных соединений химических элементов, формирование их аномальных концентраций и характер воздействия на биоту с использованием методов геохимии, минералогии, петрографии, гидрогеологии и медико-биологических оценок состояния биоты. В практическом аспекте такие исследования подразумевают тесное сотрудничество экологов-геологов с медиками и санитарной службой, так как оценка аномалий должна проводиться с медико-санитарных позиций. Следует отметить, что ни один организм, ни одно сообщество организмов не могут существовать вне связи с внешней средой. А одной из важнейших особенностей среды является ее химический состав. Знание химического состава среды – необходимое условие для понимания закономерностей существования любого сообщества организмов. Особенно важно для экологов, недостаточно просто уметь определить содержания химических элементов в тех или иных компонентах среды и правильно обрабатывать и интерпретировать результаты анализов. Химические элементы на Земле непрерывно переходят из одной формы в другую, активно мигрируют (вынос элементов и привнос). Существенную роль в миграции и перераспределении химических элементов на нашей планете играют живые организмы. Без понимания закономерностей процессов миграции химических элементов в природных и техногенных ландшафтах невозможно разобраться во влиянии химизма среды на организмы и их сообщества. Подчеркивая особое значение геохимии, уже почти сто лет назад В.И. Вернадский писал: «Знание достижений геохимии одинаково необходимо для химика, минералога, биолога, геолога, географа и эколога.

Для будущих экологов особенно важно научиться разбираться также и в сложном механизме влияния человеческой деятельности на хрупкий организм биосферы, чтобы научиться предвидеть не только непосредственные, но и отдаленные последствия тех или иных действий. Поэтому важнейшая задача, которая ставилась при введении в программу для студентов экологических специальностей курса «Экологической геохимии» – чтобы из стен ВУЗа не выходили «специалисты», не способные понимать процессы развития экосистем на геохимическом уровне, прогнозировать их развитие. При современных масштабах развития техногенеза это чревато слишком серьезными экологическими последствиями. На практических занятиях студенты познакомиться с основными методами, имеющими наибольшее значение для выполнения геохимических, биогеохимических и эколого-геохимических исследований, а также овладеть методикой сбора и обработки геохимической информации.

В результате изучения данной дисциплины студент должен **знать:**

- основные формы нахождения химических элементов в Земной коре;
- распространенность химических элементов;
- Кларки химических элементов и природные геохимические аномалии;
- особенности миграции химических элементов;
- геохимические барьеры и концентрацию химических элементов в начальный период формирования ноосферы;
- законы распределения элементов в геохимических системах;
- химический состав океанической и континентальной земной коры, а также закономерности распространения их в земной коре в целом и в отдельных типах горных пород;
- знать основные методики проведения эколого-геохимических исследований

Уметь:

- определять количественную оценку состояния территорий;
- определять Кларки химических элементов и природные геохимические аномалии;
- использовать законы распределения элементов в геохимических системах;
- определять экономическую оценку геохимических аномалий;
- использовать методы проектирования и организации эколого-геохимических исследований на суше и в пределах аквальных ландшафтов;
- производить комплексную эколого-геохимическую оценку состояния окружающей среды.

1 ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ НАУКИ

Науке геохимия сто лет. Место ее рождения считается Московский университет, кафедра минералогии, которой в ту пору руководил В.И.Вернадский. Непосредственно возникновению геохимии предшествовало исследования электрона немецкими учеными Г.Р. Кирхгофом и Р.В. Бунзеном (1896), Томсоном (1898) и т.д. В 1889 г. руководителем химической службы геологического комитета США Ф. У. Кларком на основании почти тысячи точных анализов, систематически отобранных горных пород была составлена первая сводная таблица среднего химического состава Земной коры. Величины, характеризующие содержание химических элементов стали называть «Кларками». Особое место принадлежит В.И.Вернадскому, которого по разносторонности знаний можно сравнить с Леонардо да Винчи. Его труды нельзя относить просто к основополагающим, но он создал новые науки: радиогеологию, науковедение, генетическую минералогию, отдельные разделы геохимии и др. Особо нужно отметить организаторские способности Вернадского. По его инициативе и под его руководством создавались Академия наук Украины (он был ее первым президентом) и Комиссия по изучению естественных производительных сил России, институты

географии, минералогии и геохимии. Работы Вернадского предопределили возникновение и, как ожидается, бурное развитие экологической геохимии. Его называют творцом учения о биосфере. В работах Вернадского большое внимание уделяется влиянию на процессы в биосфере антропогенной деятельности. Он показал, что эта деятельность приводит к существенным изменениям химического состава почв, природных вод, атмосферы; он же обратил внимание на появление в биосфере новых химических соединений. Его научные исследования предопределили возникновение и бурное развитие экологической геохимии.

Огромный вклад в геохимию внес академик А. Е. Ферсман. В его работах большое внимание уделено изучению влияния на перемещение химических элементов внутренних факторов, обусловленных их строением, и в первую очередь - энергетическим коэффициентами ионов. Именно эти работы вместе с работами Вернадского и Гольдшмидта составили фундамент геохимии. В своих исследованиях Ферсман широко использовал такие понятия как «заряд» и «радиус иона». Особо следует отметить введение термина «техногенез» (1922), который характеризует геохимическую деятельность человека и начало изучения этого процесса. Без этих работ нельзя говорить об экологической геохимии.

В экологической геохимии большое внимание уделяется миграции элементов, происходящих в биосфере под воздействием антропогенных процессов. Однако связать такое глобальное понятие, как биосфера, с влиянием отдельных предприятий и даже крупных территориально-промышленных и аграрных комплексов на изменение течения природных процессов миграции и концентрации химических элементов практически невозможно. В связи с этим геохимическую роль антропогенных процессов удобнее рассматривать на более низком уровне организации материи. Это так же послужило еще одной причиной широкого привлечения в экологическую геохимию достижений смежной науки-геохимии. Основные положения геохимии ландшафта как формирующейся науки были сформулированы в 40-50 годах в серии работ Б.Б. Полюнова, а первые систематические изложение сделано А. И. Перельманом в 1955 г.

Начало создания новой науки-почвоведения – связываются с именем проф. В.В. Докучаева, который в 1879г. возглавил кафедру минералогии и кристаллографии в Петербургском университете. Докучаев разработал совершенно новое представление о почве как особой биокосной системе возникающей и развивающейся под воздействием целого ряда почвообразующих факторов. Максимальное напряжение геохимических процессов, происходящих в ландшафтах, отмечается в почвах.

Изучение биохимии почв стало необходимым для решения проблем охраны окружающей среды. Следует особо отметить серию монографических работ В. В. Добровольского по глобальному распределению металлов в почвах и биосфере в целом, без которых уже невозможно представить решение этих проблем.

1.1 Технический прогресс в «Экологической геохимии»

Геохимия биосферы теснейшим образом связана с биологией, биохимией и такими комплексными науками, как почвоведение, ландшафтоведение и экология. Некоторые ведущие учёные (В.В. Добровольский, А.И. Перельман) пришли к выводу, что процессы интеграции в развитии науки достигли к настоящему времени таких масштабов, что разграничение между такими областями науки, как биогеохимия, почвоведение, экология и геохимия ландшафтов стало весьма условным и они всё теснее переплетаются между собой. Общая методология геохимических исследований включает:

Геохимическое опробование. Отбор проб вещества из различных природных объектов для определения их химического состава.

Аналитические исследования: определение содержаний химических элементов и форм их нахождения.

Математическую обработку результатов аналитических исследований: определение статистических параметров, построение графиков и диаграмм, различные виды математического анализа (факторный анализ и др.).

Научный анализ и синтез полученных результатов: изучение закономерностей распределения химических элементов в природе, процессов их миграции, концентрации и рассеяния, формирования закономерных ассоциаций (парагенезисов), геохимической зональности и т.д.

Традиционный подход к изучению природных процессов предполагает, что для понимания любого процесса достаточно установить как изменяются в нем вещество и энергия. Во второй половине прошлого века к этим двум аспектам добавился третий – информационный. Информация - это любые сведения, которые могут передаваться от человека к человеку, от человека к животному, от животного к животному, от человека к машине, от машины к человеку и т.д. Информация трактуется как одно из фундаментальных научных понятий того же ранга, что и вещество. Энергия, пространство, время. Кроме социальной и биологической информации можно говорить и об информации в неживой природе. Анализ биогеохимических процессов с информационных позиций приобретает все большее значение, т.е. системный подход, или изучение биогеохимических систем на основе общей теории систем с точки зрения кибернетики и синергетики. Все, что мы наблюдаем, можно представить в виде системы. Система - это объект, состоящий из множества связанных между собой более мелких объектов. К системам различного ранга относятся Земля в целом, каждая из ее оболочек, биосфера, почва, живой организм и т.д. Географическая оболочка и биосфера могут рассматриваться как природные системы наиболее высокого, глобального уровня организации. В свою очередь, в их составе могут быть выделены многочисленные и разнообразные системы более низких рангов. Общая теория систем различает прямые и обратные связи. Обратная связь положительна, когда результат процесса усиливает его и система эволюционирует, т.е. все более удаляется от исходного состояния. Обратная связь отрицательна, когда результат процесса ослабляет этот процесс и стабилизирует систему, т.е. восстанавливает ее исходное состояние. В результате действия отрицательной обратной связи в системе возможно саморегулирование. Ученые разделяют системы на статические и динамические. Элементы, из которых состоит статическая система, неподвижны, и потому сама система не способна изменяться, если на нее ничто не воздействует извне. А в динамической системе элементы подвижны, связи между ними сложнее, и сама система способна к самопроизвольным изменениям. Выделяют четыре основных типа систем:

1.Абиогенные системы, включающие лишь неорганическое вещество,

2.Биологические системы – живые организмы и их ассоциации, например, биоценозы

3.Биокосные системы, для которых характерно тесное взаимопроникновение живых организмов и неорганической («косной» по В.И. Вернадскому) материи. Например, почвы, коры выветривания, ландшафты, океаны и т.д. Самая крупная биокосная система – биосфера.

4.Техногенные системы – промышленные предприятия, города, транспортные артерии и т.д.

Для многих систем характерны нелинейные соотношения, когда незначительный по интенсивности сигнал приводит к крупным (иногда даже катастрофическим) изменениям в системе. К подобным системам относится и биосфера.

Особое значение в экологической геохимии имеет картографический метод исследования (изучение пространственных, географических закономерностей миграции химических элементов).

Вопросы для самоконтроля:

1.Что изучает наука экологическая геохимия?

2.История развития науки экологическая геохимия.

3.Охарактеризуйте абиогенные системы.

4. Охарактеризуйте биогенные системы.

5. Охарактеризуйте биокосные системы.

6.Охарактеризуйте техногенные системы.

Рекомендуемая литература[1,2]

2 ОСНОВЫ МЕТОДЫ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Исследования на суше

Как было показано в предыдущих главах, все эколого-геохимические исследования необходимо проводить на ландшафтно-геохимической основе. При этом будут выполнены как общие требования к оценке эколого-геохимических последствий различных процессов и явлений, так и специфические. Рассмотрим методику проведения таких исследований на суше.

1. Эколого-геохимические исследования, проводимые на ландшафтно-геохимической основе для решения задач, связанных с охраной окружающей среды, можно разделить на четыре основные стадии:

- региональные работы (масштаб 1:2000000-1:200000);
- среднемасштабные работы (1:100000—1:50000);
- крупномасштабные работы (1:25000—1:10000);
- режимные наблюдения.

2. При ландшафтно-геохимических исследованиях целесообразен постепенный переход от одной стадии к другой, начиная с региональных работ. В определенных случаях возможны исключения, позволяющие без особого ущерба не проводить работы предшествующей мелкомасштабной стадии.

3. Работы, связанные с выполнением задания на каждой стадии, разделяются на этапы, отвечающие последовательности проведения полевых и камеральных работ.

Проведение региональных, средне- и крупномасштабных работ включает следующие основные этапы: проектирование; составление схематических ландшафтно-геохимических карт камеральным путем по уже имеющимся данным; полевые эколого-геохимические исследования и составление кондиционных ландшафтно-геохимических карт; геохимическое опробование и проведение анализов; обработка результатов анализов и выявление отдельных аномалий и аномальных участков; написание и защита отчета. В работах на стадии режимных наблюдений выделяются только пять этапов. В них отсутствует второй этап (Доставление схематических ландшафтно-геохимических карт камеральным путем), так как к началу их проведения обязательно должны быть составлены кондиционные крупномасштабные карты.

4. Для качественной оценки состояния окружающей среды составляются кондиционные ландшафтно-геохимические карты, дающие комплексную оценку состояния изучаемой территории на данный период. В тех случаях, когда проектом предусматривается только качественная оценка на всех стадиях эколого-геохимических работ, исследования, соответствующие таким этапам, как геохимическое опробование, проведение анализов, обработка результатов анализов и выявление отдельных аномалий и аномальных участков, осуществляются только для выделения отдельных геохимических ландшафтов на третьем классификационном уровне.

5. При качественной оценке состояния окружающей среды к аномальным участкам относятся площади, занятые ландшафтами, необычными для данных природных условий. Как правило, они возникают под воздействием различных побочных факторов, сопровождающих техногенные процессы. Примерами таких аномалий могут быть солончаки, образующиеся при орошении земель, или же болота на склонах гор, возникающие после сплошной вырубки леса на отдельных участках.

6. Для количественной оценки состояния окружающей среды на подстадии «геохимическое опробование» систематическому опробованию по сетке, соответствующей запроектированному масштабу работ, в обязательном порядке подвергаются почвы и наиболее распространенные растения.

В зависимости от планируемой степени точности количественной оценки опробованию подвергается различное число видов растений, произрастающих в данных ландшафтно-геохимических условиях. При оценке состояния сельскохозяйственных ландшафтов в каждом выделенном геохимическом ландшафте желательно опробовать все культивируемые растения с учетом существующих схем севооборотов. Это может привести к увеличению сроков проведения исследований, поскольку этап опробования в данном случае может быть продлен на несколько лет, часто должно учитываться при составлении проектов. С повышением степени планируемой точности количественной оценки надо не только увеличивать число опробуемых растений, но и подвергать систематическому опробованию поверхностные и подземные воды. При этом необходимо проектировать проведение таких анализов проб (особенно почвенных), которые позволяли бы делать выводы о формах нахождения определяемых элементов в опробуемых объектах.

7. Особое значение при количественной оценке состояния окружающей среды имеет изучение фоновой радиоактивности геохимических ландшафтов и их составных частей, особенно сельскохозяйственных продуктов. Для этого в проектах следует предусматривать специальные радиометрические исследования.

8. Основной деталью исследований стадии региональных работ (масштаб 1:2000000-1:200000) является общая комплексная региональная оценка состояния окружающей среды территории, отвечающей по административному делению России краю или области.

9. При качественной оценке состояния окружающей среды проведение региональных исследований должно дать объективную и разностороннюю характеристику региона. Последняя позволит оценить на основе составленной карты геохимических ландшафтов общее развитие техногенных процессов и их основное влияние на изучаемую область биосферы.

10. При количественной оценке состояния окружающей среды на стадии региональных работ должны определяться (в соответствии с проектом) фоновые содержания всех рассматриваемых элементов (и: соединений) в каждом выделенном геохимическом ландшафта. Кроме того, на отдельных картах должны быть выделены, с учетом ландшафтно-геохимических условий, основные региональные аномалии отдельных элементов (их соединений), а также аномальные участки. Устанавливается вероятная природа выявленных аномалий и основные источники загрязняющих веществ, образующих эти аномалии.

11. В пределах крупных выявленных аномалий производится подсчет содержания загрязняющих веществ, находящихся в определенных формах. Сначала подсчитывается общая масса загрязняющих веществ (для каждого из них отдельно), накопившихся в пределах аномалий в количестве, превышающем их фоновое содержание в анализируемой части геохимических ландшафтов. Затем определяется значение ПАН, характеризующее интенсивность накопления на одинаковых площадях.

12. Исследования на стадии региональных работ (масштаб 1: 2000000-1:200000) должны быть первыми эколого-геохимическими исследованиями при оценке состояния окружающей среды.

13. Основной целью эколого-геохимических исследований на стадии среднемасштабных работ является получение оценки состояния окружающей среды (качественной или количественной) отдельных территорий, расположенных вблизи крупных городов или территориально-промышленных комплексов. Исследования, отвечающие данной стадии, должны проводиться и на аномальных участках, выявленных на стадии региональных работ. При этом площадь проектируемых исследований должна обязательно выходить за пределы всех установленных на участке аномалий.

14. Среднемасштабные эколого-геохимические исследования целесообразно проводить только после окончания региональных работ предшествующей стадии. В виде исключений на этой стадии могут начинаться эколого-геохимические работы по оценке состояния окружающей среды в новых ранее неосвоенных районах, на площадях, расположенных в районе проектируемых крупных промышленных центров.

15. Основной задачей эколого-геохимических исследований, относимых к стадии крупномасштабных работ (1:25000— 1:10000), является детальная оценка состояния (степени загрязнения) окружающей среды в пределах ранее выявленных аномальных участков и отдельных аномалий.

16. Крупномасштабные исследования, относимые к третьей стадии, могут проводиться и за пределами аномалий с целью выбора и оценки состояния фоновых площадей. Последнее необходимо для создания своеобразных биосферных эталонов и последующего проведения режимных наблюдений (четвертая стадия). Крупномасштабные исследования в этом случае проводятся для получения комплексной оценки состояния окружающей среды на участках без следов техногенного воздействия на нее, которые выбираются по результатам исследований предыдущих стадий.

17. Крупномасштабные исследования должны проводиться после окончания эколого-геохимических работ, относимых к среднемасштабным. В виде исключения они могут осуществляться на аномалиях, выявленных при региональных исследованиях, а также использоваться для оценки состояния селитебных и промышленных ландшафтов.

18. При выборе площадей для проведения крупномасштабных эколого-геохимических исследований предпочтение отдается участкам, расположенным:

- на территориях санаторно-курортных зон и тех ландшафтов, из которых возможен поверхностный или подземный сток загрязняющих элементов (их соединений) в эти зоны;
- в пределах зон питьевого и хозяйственного водозабора, а также территорий, из которых возможно непосредственно поступление загрязняющих веществ в зону водозабора;
- в зонах массового отдыха и рекреации;
- в зонах, на территории которых находятся детские и лечебно-оздоровительные учреждения;
- на сельскохозяйственных угодьях, с которых собираются пищевые продукты (в первую очередь овощи и фрукты).

19. Размеры участков, выбираемых для крупномасштабно эколого-геохимических исследований, должны быть такими, чтобы в их контурах полностью помещались все ранее выявленные аномалии (ландшафтно-геохимические или собственно геохимические) отдельных аномальных участков.

20. По результатам работ крупномасштабно исследований должны быть установлены источники загрязнения, вызвавшие возникновение изучаемых аномалий, разработаны рекомендации для предотвращения дальнейшего загрязнения участка и ликвидации последствий происшедшего загрязнения.

21. Режимные наблюдения могут проводиться как в пределах ранее выявленных аномалий (аномальных участков) так и на эталонных участках без видимых техногенных изменений с фоновыми содержаниями элементов (их соединений) в различных составных частях геохимических ландшафтов.

22. Целью режимных наблюдений на ранее выявленных аномалиях (аномальных участках) является, определение закономерностей изменения аномалий (их контрастности) в пространстве в зависимости от времени года (дня), интенсивности работы загрязняющих предприятий, проведения мероприятий по охране окружающей среды, количества выпадающих осадков и их характера и др.

23. Основной целью режимных наблюдений в пределах фоновых площадей является установление тех изменений, геохимических и ландшафтно-геохимических, которые происходят на выбранном эталонном участке в зависимости от времени года (месяца, дня): интенсивности и характера выпадающих атмосферных осадков, промышленного и гражданского строительства, ввода в действие определенных предприятий или их новых цехов и др.

24. Проведение исследований на четвертой стадии целесообразно только после завершения эколого-геохимических исследований предыдущих стадий. Исследования первой и второй стадий позволяют установить, попадает ли данная территория в крупные (но, возможно, удаленные от загрязнителя) аномалии или, же ее можно отнести к фоновым участкам, не подверженным техногенному загрязнению. Выяснить это без проведения указанных работ невозможно. Крупномасштабные эколого-геохимические исследования позволяют определить четкие границы между отдельными ландшафтами и выделить на исследуемой территории небольшие элементарные ландшафты. Режимные наблюдения за их изменениями должны стать основой наиболее оперативной качественной оценки изменений в окружающей среде изучаемого участка.

25. Особой разновидностью режимных наблюдений является выборочные повторные работы, осуществляемые через определенный срок (год, три года, пять лет) на территориях ранее подвергнутых ландшафтно-геохимическому изучению. Эти наблюдения могут проводиться в масштабах, соответствующие трем первым стадиям, рассматриваться как мониторинговые исследования. Основное условие правильности их выполнения — проведение повторных работ не только на ранее выявленных аномалиях (аномальных участках), но и на фоновых территориях. Выбор участков для повторных исследований и периодичность их проведения определяются конкретными ландшафтно-геохимическими и социальными условиями изучаемого района. При количественной оценке состояния окружающей среды по результатам повторных исследований должны быть представлены конкретные данные об увеличении (уменьшении) содержания того или иного элемента (его соединений) в почвах, водах, атмосфере и различных видах растений. Целесообразно также рассчитывать ПАН и ПОН.

2.2 Исследования в пределах аквальных ландшафтов

Рассматриваемые исследования включают в себя работы на реках, озерах, водохранилищах, в прибрежных частях морских бассейнов. Предлагаемая методика может быть основой для аналогичных исследований, проводных в пределах морей. Эколого-геохимические исследования водных ландшафтов подразделяются так же, как и исследования на суше, на четыре основные стадии:

- региональные работы (1:2000000—1:200000);
- среднемасштабные работы (1:10000-10000);
- крупномасштабные работы (1:25000-1:10000);

-режимные наблюдения. При исследованиях следует постепенно переходить от одной стадии к другой, начиная со стадии региональных работ.

Оценивать состояние рек, различных водоемов и морей на ландшафтно-геохимической основе можно качественно и количественно. Комплексную объективную оценку (но только качественную) дают геохимические карты аквальных ландшафтов. При их составлении отбор проб воды и донных отложений необходим для деления ландшафтов на третьем и шестом классификационном уровнях. При качественной оценке состояния окружающей среды за аномалии должны приниматься аквальные ландшафты, необычные для конкретных природных условий, например ландшафты с восстановительной глеевой обстановкой в илах и придонном слое воды, часто образующиеся на приплотинных участках в неглубоких водохранилищах. В реках к подобным аномалиям должен быть отнесены ландшафты с глеевой и сероводородной обстановкой в донных отложениях, возникающие у населенных пунктов с плохой очисткой сбрасываемых в речку вод. Для количественной оценки производится отбор проб по сети, соответствующей стадии проводимых эколого-геохимических исследований. Пробы необходимо отбирать из поверхностного и природного слоев воды, а также из верхнего горизонта донных отложений. При большой глубине водоема возможен отбор проб из поверхностного горизонта и центральных частей водной толщи. Кроме 45го, необходимо опробование основных в донных (прибрежных) растительных и животных организмов. С увеличением детальности работ обычно необходимо увеличивать и число видов опробуемых организмов.

Основными задачами, стоящими перед региональными работами, являются:

- общая комплексная оценка состояния водной среды на довольно большой территории;
- установление способности рассматриваемой водной системы к самоочистке. Исследования на этой стадии подвергаются отдельные моря (их части), крупные озера и водохранилища, реки определенных краев и областей

При количественной оценке состояния водной среды на первой стадии исследований в каждом выделенном геохимическом ландшафте должны фиксироваться фоновые содержания определяемых химических элементов (соединений) в водах на различных глубинах, в донных отложениях, основных растительных и животных организмах. Кроме этого, на этой стадии необходимо выделять региональные аномалии и аномальные участки с подсчетом в их пределах содержания загрязняющих веществ, а также гидрохимические, литохимические и биогеохимические аномалии. Комплексную качественную оценку состояния водной среды дают карты аквальных геохимических ландшафтов. При среднемасштабных работах оценивается состояние водной среды на сравнительно небольших площадях, расположенных вблизи крупных городов, промышленных комплексов, АЭС, точек поступления в водные системы промышленных и бытовых вод, в зонах расположения курортов и мест отдыха, а также на аномальных участках, выявленных при работах предыдущей стадии. В виде исключения среднемасштабные работы могут осуществляться без проведения региональных исследований на водохранилищах, реках и прибрежных частях озер и морей, на участках, примыкающих к зонам проектируемых крупных промышленных предприятий и АЭС. Цель таких работ - получение своеобразных реперов, характеризующих состояние водных ландшафтов до ввода в действие предприятий. Основная задача крупномасштабных исследований - детальная оценка состояния (степени загрязнения) аквальных ландшафтов. Эти работы могут проектироваться на аномальных участках, а при количественной оценке - в пределах отдельных крупных аномалий и на так называемых фоновых площадях. Их проведение эффективно только после получения результатов среднемасштабных работ. В виде исключения крупномасштабные исследования можно осуществлять на аномалиях, выявленных сразу после завершения работ на первой стадии. По результатам крупномасштабных работ при количественной оценке состояния среды должны быть установлены источники и причины загрязнения вод и донных отложений, а также выявлены основные геохимические барьеры, на которых концентрируются загрязняющие вещества. При этом особое внимание надо уделять участкам, на которых происходит наложение нескольких различных геохимических барьеров. Только после решения этих задач должны разрабатываться рекомендации по предотвращению дальнейшего загрязнения и возможной ликвидации выявленного.

Режимные наблюдения следует проводить на участках, изученных при крупномасштабных работах. К ним могут относиться как аномальные, так и фоновые. По данным рассматриваемых исследований определяются закономерности изменения морфологии и контрастности аномалий в водах и донных отложениях в зависимости от погодных условий, времени года (дня), интенсивности работы загрязняющих предприятий, проведения мероприятий по охране окружающей среды. Особенной разновидностью режимных наблюдений (так же, как и при работе на суше) являются выборочные повторные исследования, проводимые через определенный срок на территориях, ранее подвергнутых ландшафтно-геохимическому изучению. Эти наблюдения должны осуществляться в том же масштабе, что и ранее проводимые и, желательно, на тех же точках наблюдения и опробования. При режимных наблюдениях, осуществляемых через несколько лет, необходимо, чтобы они велись в то же время года, что и первоначальные. При количественных исследованиях после каждого последующего наблюдения должны быть проведены расчеты, показывающие уменьшение (увеличение) содержаний определяемых элементов (соединений) на изучаемых участках в целом или в пределах отдельных аномалий. Сначала определяется количество загрязняющих веществ, сконцентрировавшихся в содержаниях, превышающих фоновые, затем рассчитываются значения ПАН и ПОН.

2.3 Проектирование и организация эколого-геохимических исследований на суше и в пределах аквальных ландшафтов

Эколого-геохимические исследования можно проектировать как в комплексе с другими видами работ, так и самостоятельно. Полевые работы по составлению ландшафтно-геохимических карт проводятся самостоятельным отрядом под руководством начальника отряда. В составе отряда, кроме геохимиков-ландшафтоведов должны быть геологи-геохимики, ботаники, геоморфологи, почвоведы (специалисты этого профиля или сотрудники, прошедшие специальную подготовку), рабочие (лаборанты). Основным документом на производство эколого-геохимических работ является проект, составляемый в соответствии с целевым заданием и требованиями документов и инструктивных писем, регламентирующих проведение работ по охране окружающей среды различными министерствами и ведомствами. Проект должен быть составлен с учетом его использования в качестве руководства при проведении работ. Он должен включать в себя расчет сметных стоимостей проектируемых исследований. Для этого в нем достаточно полно должны быть освещены следующие основные вопросы:

- целевое задание и задачи проектируемых исследований;
- обоснование масштаба ландшафтно-геохимического картирования;
- обоснование методики отбора проб, их обработки и анализа с указанием чувствительности и точности определения химических элементов (их соединений);
- научно-экономическое обоснование объемов полевых, аналитических и камеральных работ, способов и объемов транспортировки людей и грузов, календарного плана работ, мероприятий по технике безопасности ведения всех проектируемых исследований;
- потребность в оборудовании, материалах и специальных реактивах.

В проекте должны учитываться местные (индивидуальные) ландшафтно-геохимические особенности района, установленные предыдущими исследователями и данными опытно-методических работ, которые при необходимости предусматриваются в проекте как предваряющие основной объем исследований. Общее количество проектируемых опытно-методических работ зависит от ландшафтно-геохимических условий района работ, количества и характера потенциальных загрязнителей окружающей среды, их удаленности от места проведения работ. Как правило, опытно-методические исследования должны составлять не более 10% общего объема работ. Эколого-геохимические исследования, связанные с количественной оценкой состояния окружающей среды, должны проводиться таким образом, чтобы проверка всех выявленных аномалий была полностью завершена и все геохимические данные, полученные при этой проверке, были обработаны к началу написания отчета. Топографо-геодезические работы, проектируемые при крупномасштабном ландшафтно-геохимическом картировании и режимных наблюдениях, должны включать в себя вынос на местности для многолетнего использования точек привязи мест отбора геохимических проб (профилей геохимического опробования). При крупномасштабных и режимных наблюдениях на аквальных ландшафтах необходимо предусмотреть вынос опорных реперов на берегу.

Для оценки и установления генезиса выявленных геохимических аномалий часто бывает недостаточно общих сведений, получаемых при ландшафтно-геохимическом картировании в проектируемом масштабе. В связи с этим в проекте следует предусмотреть специальные геологические, минералого-петрографические, геохимические, геоморфологические, почвенные, гидрохимические, геоботанические и микробиологические исследования, а также горные (буровые) работы, необходимые для всесторонней эколого-геохимической оценки отдельных аномалий и аномальных участков на ландшафтно-геохимической основе. Объем специальных исследований должен определяться общей ландшафтно-геохимической сложностью района работ, наличием и частотой встречаемости небольших элементарных ландшафтов, не выделяемых при проектируемом масштабе ландшафтно-геохимического картирования, количеством и характером потенциальных загрязнителей, а также их удаленностью от изучаемого района. Предусмотренные проектом анализ проб (особенно экспрессный — спектральный) и предварительную обработку полученных данных необходимо проводить в процессе эколого-геохимических исследований с целью обеспечения оперативной корректировки направления работ, обнаружения аномалий в начальных стадиях и своевременного осуществления специальных исследований, запроектированных для оценки этих аномалий. При режимных эколого-геохимических исследованиях в пределах ранее выявленных аномальных участков анализ проб по мере их отбора должен быть одним из основных требований к проектируемым работам.

2.4. Составление схематических карт геохимических ландшафтов на суше

Составление схематических карт геохимических ландшафтов камеральным путем является необходимым предполевым этапом эколого-геохимических исследований, как с качественной, так и количественной оценкой состояния окружающей среды. Такие карты должны составляться при работе на суше и в пределах водных ландшафтов. Для составления схематических ландшафтно-геохимических карт суши камеральным путем собирают все имеющиеся опубликованные данные и изданные карты соответствующего проводимым работам масштаба, используя которые можно получить информацию о следующих особенностях района работ:

- распределение различных сельскохозяйственных угодий, площадей мелиорируемых земель (отдельно орошаемых и осушаемых);
- расположение населенных пунктов, автомобильных и железных дорог, лесополос, карьеров, отвалов горных выработок, отдельных крупных заводов и фабрик, курортных зон и зон массового отдыха.
- расположение участков, занимаемых лесами, полями, лугами, болотами, пустынями, солончаками, т.е. площадей занимаемых различными растительными сообществами, с учетом которых ведется разделение ландшафтов на втором классификационном уровне.
- распределение почв различного состава и генезиса; содержание в водных вытяжках из них типоморфных элементов, ионов и соединений. Развитие на отдельных участках бескислородных (глеевой и сероводородной) обстановок, а также щелочно-кислотных условий.
- состав подземных и поверхностных (небольших рек, ручьев, родников) вод, их щелочность-кислотность, окислительно-восстановительная обстановка, типоморфные элементы (и ионы).
- наличие и распространение участков: подверженных интенсивной ветровой эрозии, с современным отложением эолового материала; с развитием почв на эоловых отложениях.
- наличие многолетней мерзлоты в различных ее проявлениях (площадное распространение, островное и прерывистое развитие).
- геоморфологические особенности района.
- геологическое строение изучаемой территории.

Для всех ландшафтно-геохимических и климатических условий в биосфере составляются карты. При средне- и крупномасштабном картировании больших участков в животноводческих районах выделяемые пастбища и сенокосы могут в разных частях района сильно отличаться друг от друга по составу произрастающих трав. При проведении региональных и среднемасштабных эколого-геохимических исследований (особенно в горных районах) площади, занимаемые отдельными геохимическими ландшафтами, характеризующими строго определенный вид рельефа, бывают так малы, что не выделяются при рабочем масштабе исследований. Однако их общая площадь достаточно велика, поэтому игнорировать их наличие невозможно. В этих случаях целесообразно объединять ландшафты. Это обязательно должно быть отражено и в их названии. Например, при работах на Западном Кавказе элювиальные и транс элювиальные ландшафты были объединены в одну элювиально-трансэлювиальную группу.

2.5 Составление схематических карт геохимических ландшафтов на аквальных территориях

Для составления камеральным путем ландшафтно-геохимических карт водных ландшафтов собирается, собираются все имеющиеся данные. В том числе космические снимки и ландшафтно-геохимические карты предыдущих стадий, используя которые можно получить необходимую информацию о следующих особенностях аквальных ландшафтов:

- сезонных и суточных колебания уровня вод;
- техногенном регулировании стока вод и связанное с ним изменение положения зеркала вод в разные периоды;
- интенсивности движения водного транспорта;
- масштабе работ связанных с чисткой фарватеров;
- видовом составе, биомассе и продуктивности растительных сообществ на различных участках рассматриваемых ландшафтов;

Первому классификационному уровню соответствует карта 1 на (рис.2.5.1) На нее сначала выносятся контуры всех техногенных ландшафтов и определенными знаками выделяются водохранилища, каналы и пруды, затем выносятся контуры биогенных ландшафтов. При большой техногенной нагрузке на отдельные участки природных ландшафтов (интенсивное движение водного транспорта, частые работы по углублению дна и выпрямлению русла и т.п.) следует особо выделить зоны с повышенным техногенным влиянием на миграцию элементов. На карте 2 (рис.2.5.1) все ландшафты разделяются в зависимости от развития на отдельных участках определенных растительных сообществ, оказывающих влияние на миграцию элементов. На карте 3 ландшафты разделяются в зависимости от окислительно-восстановительных условий миграции элементов. При этом учитываются условия в воде и донных отложениях. Например, возможно выделение ландшафтов с окислительной обстановкой в воде и донных отложениях, с окислительной обстановкой в воде и глеевой в донных отложениях и т.д. Карта 4 рис. (2.5.1) должна отражать положение ландшафтов с различными типоморфными элементами и ионами.

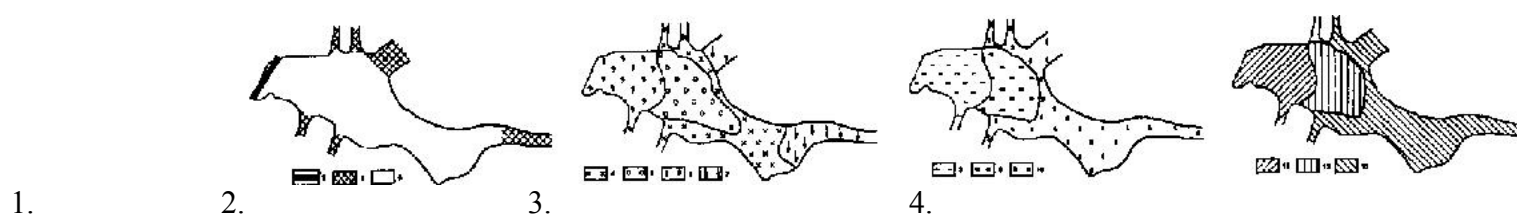


Рисунок 2.5.1 Уровни ландшафтно - геохимических карт

1. Ландшафты первого классификационного уровня: 1 - плотина; 2- реки (природные ландшафты); 3 - водохранилище (техногенные ландшафты)
2. Ландшафты второго классификационного уровня: 4, 5, 6 — планктонные водоросли соответственно низко-, средне- и высокопродуктивные; 7— тростниковые формации
3. Ландшафты третьего классификационного уровня: 8, 9, 10 — окислительная обстановка соответственно: в воде и донных отложениях; в воде и восстановительная глеевая в илах; в верхних горизонтах воды и восстановительная глеевая в природных слоях воды и илах
4. Ландшафты четвертого классификационного уровня и т.д.

В отличие от аналогичной карты ландшафтов суши, на ней необходимо выделять ландшафты по результатам анализов не только водных вытяжек из проб донных отложений, но и вод.

2.6 Полевые эколого-геохимические исследования

Целесообразно вести все записи в специальном пикетажном журнале. На первых страницах журнала указывается (в соответствии с ландшафтно-геохимическими особенностями региона и стадийностью работ), каким признакам на каждом классификационном уровне следует уделять первостепенное внимание. Часть их может оцениваться в баллах. В этом случае на первых страницах должны быть также отпечатаны подробные требования к такой оценке. Пример пикетажной книжки, используемой при региональных эколого-геохимических исследованиях на Северном Кавказе, дается в приложении. Расстояние между точками обязательного наблюдения меняется в зависимости от масштаба эколого-геохимических работ.

Если проектом предусматривается только качественная оценка состояния окружающей среды, то основными задачами полевых исследований являются: уточнение созданной камеральным путем схематической ландшафтно-геохимической карты, создание кондиционной карты геохимических ландшафтов, выявление ландшафтно-геохимических аномалий. В этом случае в полевых маршрутах ведется уточнение границ отдельных геохимических ландшафтов, после чего выделяются (если они есть) новые ландшафты, не учтенные при камеральном составлении схематической ландшафтно-геохимической карты. При описании точек наблюдения должны быть указаны все основные ландшафтно-геохимические особенности, учитываемые при выделении ландшафтов на всех классификационных уровнях. Описываются не только точки наблюдения, но и весь маршрут, т.е. ведется описание экологической и ландшафтно-геохимической обстановок между точками наблюдения. При крупномасштабных исследованиях для разбивки сетки точек наблюдения проектом должны предусматриваться топографо-геодезические работы. Конечные точки опорных профилей должны быть закреплены для их многолетнего использования. На стадии режимных наблюдений при работах, связанных с качественной оценкой состояния окружающей среды, производятся наблюдения за изменением границ между отдельными ландшафтами и регистрируются появление новых и исчезновение старых ландшафтов.

Число проб зависит от числа ландшафтов, выделенных при камеральном составлении схематических карт на третьем уровне (на каждый такой ландшафт требуется отбор 30—50 литохимических проб). Пробы следует отбирать на точках наблюдения, стараясь, чтобы они равномерно охарактеризовали всю площадь каждого выделенного ландшафта. Кроме опробования поверхности, на этой стадии работ необходимо проводить отбор почвенных проб из шурфов и скважин. Гидрохимическому опробованию должны подвергаться естественные источники, колодцы, скважины.

Для всех стадий эколого-геохимических исследований этап «Обработка результатов анализов...» должен включать в себя статистическую обработку всех полученных данных и сравнительный анализ имеющегося материала. При количественной оценке состояния окружающей среды необходимо сопоставить новые данные о концентрации загрязняющих веществ с данными об их концентрации, полученными на предыдущих стадиях эколого-геохимических исследований.

Режимные наблюдения на реках, водохранилищах, прудах, озерах и морях целесообразно проводить круглый год, выделяя четыре основных периода: 1 — весенний паводковый; 2 — летний меженный; 3 — осенний паводковый; 4 — зимний меженный.

§ 100. При количественной оценке состояния окружающей среды в водных ландшафтах этапы «Геохимическое опробование...» и «Обработка результатов анализов...» разделяются на две части. Требования к выполнению работ обеих частей аналогичны требованиям, изложенным в § 82—86, с той лишь разницей, что вместо почвенных горизонтов изучаются водная толща и донные отложения и не проходятся шурфы и скважины.

§ 101. При количественной оценке состояния рек опробованию должны подвергаться донные отложения (в каждом профиле отбирается не менее трех проб: две — у берегов и одна — в центральной части), а также воды. Основные ландшафты должны быть охарактеризованы не менее чем 30 водными пробами и 30 пробами донных отложений.

§ 102. На стадии режимных наблюдений при исследованиях, имеющих количественный характер, в периоды, предусмотренные проектом, осуществляется опробование вод, донных отложений и водных организмов (животных и растительных). Отбор проб ведется на одних и тех же инструментально привязанных точках.

Периоды повторных пробоотборов могут быть связаны не только с изменением времени года (а соответственно и с изменением гидрологического режима), но и с выполнением определенных этапов техногенных процессов. К последним могут относиться различные этапы промышленного и гражданского строительства, плотин и гидроузлов, ввод в действие очистных сооружений и др. Сеть отбора проб на стадии режимных наблюдений определяется конкретными задачами целевого проектного задания и ландшафтно-геохимической обстановкой. Обязательно должны опробоваться центральные и приконтактные части всех выделенных на участке работ ландшафтов и аномалий, а также основные геохимические барьеры. Отбор проб производится на всех стадиях эколого-геохимических исследований при качественной и количественной оценках состояния окружающей среды. Их количество, опробуемые объекты и сеть отбора предусматриваются проектом. Пробы необходимо отбирать в центральных частях выделяемых геохимических ландшафтов и в зонах их смены (часто такие зоны представляют собой геохимические барьеры). Дополнительное опробование между плановыми точками отбора проб должно осуществляться в случаях смены ландшафтно-геохимических обстановок (появление различных геохимических барьеров), выявления ландшафтов, не выделенных на карте, составленной камеральным путем, наличия зон с предполагаемым загрязнением. Контрольное опробование целесообразно проводить в объеме 3—5% общего количества проб. В первую очередь исследуются выявленные комплексные геохимические аномалии, геохимические барьеры и участки, на которых одним из методов выявлены аномалии, не подтверждающиеся другими методами. Кроме того, обязательному контрольному опробованию должны быть подвергнуты участки с фоновыми содержаниями определяемых элементов.

2.7 Методы геохимического опробования

Литогеохимические. Опробование скальных горных пород, рыхлых отложений, кор выветривания, почв. Объем пробы — с учетом требований лаборатории к количеству анализируемого материала (величине навески), а также необходимости сохранять часть материала (дубликат пробы). Обычно порядка 150-200 г. Предварительная обработка — дробление, истирание, деление (квартование) пробы.

Гидрогеохимические. Отбор проб воды из поверхностных водотоков, источников, подземных вод по скважинам. Обычный объем — 0,5-1 л. Все анализируемые пробы должны иметь одинаковый объем, чтоб можно было сравнивать результаты без дополнительных пересчетов. Как правило, раздельно анализируется содержание взвешенного и растворенного вещества. Вначале отделяется нерастворимый осадок (отстаиванием или фильтрованием), затем испарение для определения содержания и состава растворенных солей.

Биогеохимические. Определяется содержание химических элементов в растительных, реже животных тканях. Применяются различные варианты. Чаще всего — сжигание и анализ зольного остатка. Объем пробы — с учетом выхода зольного остатка (лучше определить путем проведения предварительных опытных работ). Древесина содержит больше минеральных веществ (зольного остатка больше), в листве и в травянистых растениях их меньше. Другой вариант — отжимание и последующий анализ содержащейся в растениях воды.

Атмогеохимические. Обычно используются газоанализаторы, позволяющие определять содержание газов на месте (в приземных слоях атмосферы или в подземных атмосферах).

Гамма-спектрометрические методы (наземная и аэрогамма-спектрометрия) — дистанционное определение суммарного содержания радиоактивных изотопов. По форме является геофизическим методом (и может рассматриваться в этом ряду), но по сути — вид геохимии, так как определяется содержание элементов.

При всех видах исследований учитывается порог чувствительности или предел обнаружения элемента — минимальная концентрация элемента, обнаруживаемая при данных условиях анализа. Нужно выбирать такой метод анализа, при котором порог чувствительности хотя бы на порядок будет меньше средних содержаний элемента (при содержаниях, приближающихся к порогу чувствительности, высоки искажения результатов определений).

Среднее содержание определяется как среднее арифметическое из всех полученных значений для определения законов распределения химических элементов в изучаемом объекте. Дисперсия (среднее квадратичное отклонение) – показатель неоднородности распределения химического элемента в изучаемом объекте. Коэффициент вариации рассчитывается и представляется в виде графиков или гистограмм (Рис.2.7.1). Оценка фоновых и аномальных значений содержаний элементов представляется как картографический материал в виде геохимического поля или геохимической аномалии. Различают положительные (выше фона) и отрицательные (ниже фона) аномалии. За фоновые значения (Сф) обычно принимаются наиболее часто встречающиеся содержания элемента (мода), определяемые проще всего с помощью гистограмм. Таким образом, для характеристики местного геохимического фона необходимо сначала установить закон распределения фоновых содержаний данного элемента, а затем (по соответствующим формулам) определить параметры этого распределения – среднее значение и дисперсию.

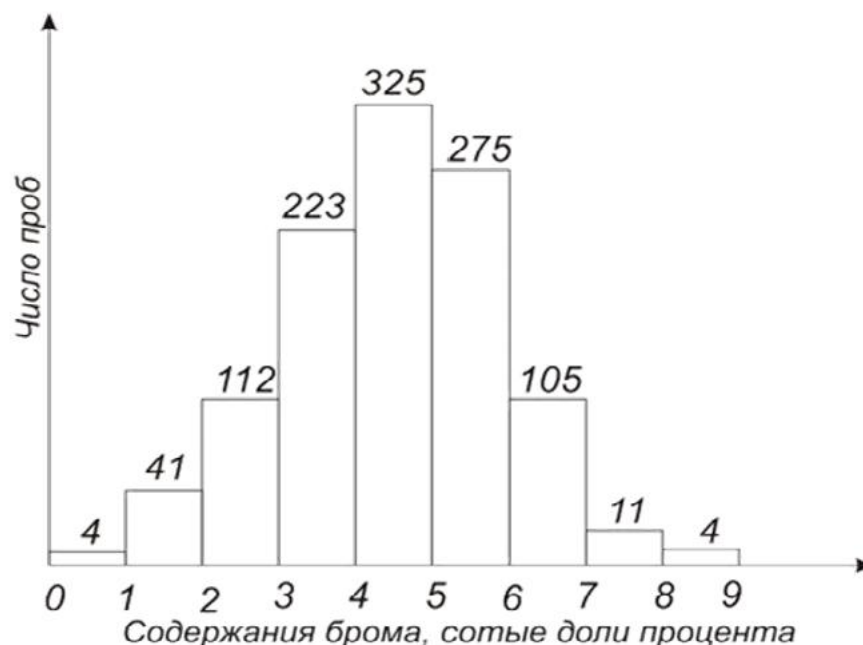


Рис. 2.7.1. Пример гистограммы распределения содержаний брома

Далее рассчитывается порог аномальности - это величина, отличающаяся от среднего содержания на три среднеквадратичных отклонения (аномалия первого порядка):

$S_a \geq S_f \pm 3s$, где

S_a – аномальное содержание;

S_f – фоновое содержание элемента;

s - дисперсия или среднеквадратичное отклонение, которое характеризует разброс содержаний изучаемого элемента

Аномалии могут быть положительными (аномальные содержания превышают фоновые) и отрицательными (аномальные содержания меньше фоновых). Нанесение результатов расчета фоновых и аномальных содержаний на карту осуществляется методом изолиний.

Вопросы для самоконтроля:

1. Методы исследования применяемые в экологической геохимии.
2. Какие анализы проводят при изучении геохимических аномалий на тяжелые металлы?
3. Эколого-геохимические исследования, проводимые на ландшафтно-геохимической основе.
4. Региональные геохимические исследования.
5. Крупномасштабные геохимические исследования
6. Геохимические исследования в пределах аквальных зон.
7. Как проводится проектирование эколого-геохимических исследований?
8. Картографические методы при геохимических исследованиях
9. Полевые эколого - геохимические исследования.
10. Методы опробования при геохимических исследованиях.

Рекомендуемая литература [1,14,15]

3 СТРОЕНИЕ ЗЕМЛИ. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ. КЛАРКИ. ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ

Земля состоит из трех оболочек. Внешняя часть ядра до глубин 5000 км – жидкая, внутренняя – твердая. Существует гипотеза, что ядро состоит из Fe и Ni в соотношении 9:1. Нижняя мантия проходит на глубине 2900 км и состоит из оксидов: MgO (периклаз), SiO_2 (стиковит), Al_2O_3 (корунд), FeO (вюстит), $(Mg, Fe) Al_2O_4$ (шпинели). Существует мнение, о глубинных разломах, соединяющих земную кору с нижней мантией. Между нижней и верхней частями мантии находится переходная кора, состоящая из силикатов. Верхняя мантия находится на глубине 400 км, которая на 40% состоит из оливина, на 30% - из пироксенов, 12% - сплав Fe и Ni. Земная кора заселена живыми организмами, поэтому она входит в состав биосферы. Ученый Мохоровичич нашел ее границу во время землетрясения: на глубине 40 км сейсмические волны изменили скорость распространения. На материках граница Мохо располагается на глубине 30-80 км, на дне океанов – 5-15 км. Строение и состав океанической коры более простой, нижний слой называют базальтовым, а верхний - осадочным. Чем ближе к материкам, тем толще слой веществ, сносимых с суши (особенно в дельтах рек и на материковых склонах). Значительная часть осадков, покрывающих дно океанов, составляют органогенные (карбонатные и кремнистые). В среднем толщина слоя – 0,5 км, а возле континентов – до 10-15 км. К этому нужно прибавить, что около 36% площади Мирового океана приходится на долю политенных красных океанических глин (слабожелезистые и слабомарганцовистые). Так что поверхность дна достаточно однородна. Континентальная кора более неоднородна. В целом не ее можно разделить на верхний – осадочный, и средний и нижний – из кристаллических пород. Последние слои разделены по скорости распространения сейсмических волн и получили название границы Конрада.

3/4 всей площади суши покрыто осадочными породами. Выветривание магматических пород приводит к образованию осадочных. Можно ли считать, что их состав одинаков? Нет, в процессе выветривания ряд элементов выносятся в океан, а часть концентрировалась только в определенных типах пород, кроме того, свою роль играли живые организмы. Это привело к образованию трех групп осадочных пород: глинистые, песчаные и карбонатные. На их долю приходится 95-99% общей массы осадочных пород в соотношении 5:3:2. Большая часть осадочных и магматических пород перекрыта почвами, толщина которых зависит от рельефа.

В различных по составу и генезису породах формируются так называемые геохимические аномалии. К аномалиям относят участки обогащенные одним или несколькими элементами с резким отклонением от нормы (Кларка). Аномалии могут быть положительными – повышенные концентрации элементов – индикаторов; отрицательными – пониженные концентрации. Иногда по отрицательным аномалиям

ведут поиск месторождений полезных ископаемых. Например, над окисляющими металлами уменьшается содержание кислорода. Определяют аномалии по средствам проб и анализов. Составляют карты аномальных содержаний и карты фоновых содержаний, характеризующие геохимические ландшафты. Считается, что 9 коррелирующих проб достаточно для избежания ошибки при определении аномалий.

Для того чтобы решать те или иные геохимические задачи нужно знать содержание химических элементов (ХЭ) в интересующей нас системе, считающимися эталонными. В частности, в горных породах, поверхностных и подземных водах, атмосфере, почвах, растениях. В 1869 г. Кларк определил среднее содержание ХЭ, показывающее, какой процент от массы земной коры составляет масса данного элемента. Он вывел эту величину для 10 ХЭ: О - 46,28; Si - 28,02; - 8,14; - 5,58; Са - 3,27; Mg - 2,77 и др. К настоящему времени определено среднее содержание всех ХЭ в земной коре. Их назвали «Кларками». Ферсман ввел понятие атомных кларков – какой процент составляют атомы данного элемента от их общего числа в земной коре. Объемные кларки – какой процент в объемном выражении (по электростатическим полям атомов) занимает элемент в объеме всей литосферы. Выделены основные закономерности распространения элементов в Земной коре. К ним относятся:

1. Неравномерность. На долю О и Si приходится около 70% массы ЗК с Al, Fe, Ca, Mg, K, Na их масса составляет 98%. Прибавка к ним еще 29 ХЭ даст всего 1% от массы. Породообразующими называют 9 элементов: О, Si, Al, Fe, Ca, K, Na, Mg, Ti, на их долю приходится 99,5% массы земной коры. Около 70% элементов называют редкими – с кларком $<1 \cdot 10^{-2} \%$, хотя с другой стороны их можно считать редко используемыми человеком.

2. К избыточным относятся О, Si, Al, Fe, Ba, Th. Несколько условно к ним относятся R, Ca, Pb. Объяснить их избыточность пока не удается. Все они, кроме Al и K имеют четные атомные номера, а атомные массы большинства кратны четырем.

3. К недостаточным относят резко дефицитные инертные газы He, Ne, Ka, Xe, Ar, а также Li, Be, В. Что касается благородных газов, то есть гипотеза – «гелиевое дыхание Земли» - их отток.

4. Ведущим элементом ЗК является кислород. Его массовой кларк 46,28...49%, объемной – 92%. Это позволяет считать Землю кислородной сферой. В биосфере возрастает роль гидросферы, состоящей из Н и О, в связи с чем еще больше увеличивается роль кислорода. Он не определяет развитие подавляющего числа организмов, а основная часть свободного О₂ в биосфере считается продуктом фотосинтеза. Однако, в литосфере и биосфере есть места, где О₂ отсутствует. Так, например, сероводородная обстановка, причем таких масштабов, что прорыв Н₂S в атмосферу грозит планетарными катаклизмами.

5. Содержание ХЭ в ЗК неравномерно убывает по мере увеличения их порядкового номера и атомных масс. Средняя атомная масса ЗК = 17,25. Для сравнения, Am Sr = 87, W = 183, Hg = 200, Pb = 207, V = 238. В биосфере, представляющей верхний слой ЗК с гидро- и атмосферой, преобладание легких элементов более контрастно.

6. В таблице Менделеева элементы с легкими порядковыми номерами и четными значениями атомной массы являются более распространенными, чем рядом расположенные элементы с нечетными значениями атомной массы (закономерность Оддо-Гаркинса).

Зачастую неравномерное распределение химических элементов формируют, так называемые, геохимические барьеры. Выделяют три основных класса барьеров: физико-химические, биогеохимические и механические. По Перельману геохимические барьеры делят на:

-макро, шириной от первых км и длиной тысячи км (зоны смешивания пресных вод с морскими);

-мезо, ширина сотни метров, протяженность-до десятков км (краевые зоны болот);

-микро, от нескольких мм до первых метров (на отдельно разлагающихся на дне водоема раковинах или рыбах). В родниках, в месте выхода на поверхность глеевых вод, из которых в присутствии О₂ отлагается окисливается Fe(III)-Fe(OH)₃. Элементы поступающие из разных потоков формируют разные геохимические барьеры. Латеральные – если миграционно поток движется в субгоризонтальном направлении (по границе почв, горных пород). Вертикальные, или радиальные – сверху вниз или наоборот. При этом выделяют градиент барьера:

$$G = (m_1 - m_2) / L;$$

где m₁ – числовое выражение величины одного из показателей, определяющих изменение геохимической обстановки на барьере, установленной в миграционном потоке перед барьером.

m₁- могут быть pH, t, P, Eh, количество растворенного кислорода или Н₂S.

m₂ – числовое выражение m₁ после барьера;

L – ширина барьера;

Величина G может выражаться в град/м; pH/м; Eh/м и др.

Концентрация элементов на барьере:

$$h = K \cdot (c_1 - c_2) / (a_1 - a_2);$$

K – коэффициент, зависящий от «инертной» массы (почв, осадков, живого вещества и т.д.) на который накапливается ХЭ.

c₁, c₂ – содержание ХЭ до и после барьера;

a₁, a₂ – общее содержание всех веществ до и после барьера.

Из магматических расплавов при их кристаллизации часть элементов отделяется в виде газовых смесей и водных растворов. Образовавшиеся на глубине породы, попав в биосферу, подвергаются выветриванию. При этом, в результате жизнедеятельности и разложения организмов в атмосферу попадают СО₂ и метан, а за счет фотосинтеза - О₂. Распад р/а элементов приводит к образованию гелия и аргона, которые поступают в атмосферу. Из атмосферы кислород удаляется в течение всего геологического периода (при окислении Fe, Mn, соединений S, образовании Н₂О и др.); СО₂(образование угля, нефти, карбонатов); N (за счет ряда бактерий и образования оксида азота); Н и He(удаление из гравитационного поля Земли). Вещества, поступившие в растворы при выветривании пород, постепенно переходят в осадки, образуя новые горные породы. Наиболее интенсивное выпадение осадков наблюдается при смене геохимических условий. Геохимический цикл: кристаллизация расплавов → выветривание с поступлением частиц ХЭ в атмосферу и гидросферу → седиментация и диагенез → эпигенетические изменения, вплоть до плавления пород) – считается основным – каким путем осуществляется круговорот большинства веществ в земной коре. (Эпигенез: перекристаллизация в горных породах; возникновение новых минералов).

Вопросы для самоконтроля:

1. Водные растворы как форма нахождения химических элементов. Роль водных растворов в хозяйственной деятельности человека.

2. Расскажите об особенностях коллоидной и сорбированной форм нахождения химических элементов.

3. Что понимается под формой нахождения химических элементов?

4. Природные и техногенные геохимические аномалии.

5. Какие факторы определяют миграцию химических элементов в земной коре?

6. Из чего сложена поверхность континентальной коры?

7. Понятие Кларк, его значение для экологической геохимии. Разновидности Кларков.

8. Строение и состав океанической коры.

9. Сероводородные барьеры. Их распространение в биосфере?

10. В каких условиях формируются механические барьеры.

11. Расскажите о формировании биогеохимических барьеров.

Рекомендуемая литература[2,3,4,10]

4 ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КЛАССИФИКАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

При изучении видов геохимических классификаций мы рассмотрим классификации Гольдшмидта, Вернадского, Ферсмана, Перельмана и Щербакова.

Для классификации Вернадского характерно подразделение химических элементов по характеру их поведения в процессах миграции. Выделяются:

1.Благородные газы – He, Ne, Ar, Kr, Xe. Соединения с другими атомами образуют исключительно редко, поэтому в природных химических процессах значительного участия не принимают.

2.Благородные металлы – Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt, Au. Соединения редки. Преимущественно присутствуют в форме сплавов, и образуются в основном в глубинных процессах (магматических, гидротермальных).

3.Циклические элементы – H, B, C, N, O, F, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Sr, Mo, Ag, Cd, Ba, (Be, Cr, Ge, Zr, Sn, Sb, Te, Hf, W, Re, Hg, Tl, Pb, Bi). Наиболее многочисленная группа и преобладающая по массе. Для каждого элемента характерен определённый круг химических соединений, возникающих и распадающихся в ходе природных процессов. Таким образом, каждый элемент проходит цепочку превращений, в конечном счёте возвращаясь к исходной форме нахождения – и далее. Циклы не являются полностью обратимыми, так как часть элементов постоянно выходит из круговорота (и часть так же снова в него вовлекается).

4.Рассеянные элементы – Li, Sc, Ga, Br, Rb, Y, Nb, In, J, Cs, Ta. Безусловно, господствуют рассеянные атомы, не образующие химических соединений. Незначительная доля может участвовать в образовании самостоятельных минеральных соединений (большинство – в глубинных процессах, а J и Br – в гипергенных).

5.Редкоземельные элементы – La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tu, Yb, Lu. Тяготеют к рассеянным. Основная черта – совместная миграция.

6.Радиоактивные элементы - Po, Rn, Ra, Ac, Th, Pa, U. Основная специфика в том, что в геохимическом процессе происходит постоянное превращение одних элементов в другие, что делает процессы их химической миграции наиболее сложными.

В приведенной выше классификации не вошли химические элементы, занимающие промежуточное положение между группами. Это элементы способные вести себя в миграционных процессах двояко. Кроме того, при выделении в особую группу радиоактивных элементов не учтена разная степень устойчивости изотопов. У ряда элементов существенной является доля как стабильных, так и нестабильных изотопов, и, естественно, геохимическая история соответствующих долей общего числа атомов данного элемента будет различной (K, Rb, Sm, Re и др.). Сейчас, в связи с процессами радиогенного загрязнения, необходимо учитывать и миграцию искусственных радиоактивных изотопов.

Наиболее широко применяемая классификация Гольдшмидта, которой элементы сгруппированы на основе их способности формировать естественные ассоциации в природных процессах. Это определяется рядом факторов:

1.Строение электронных оболочек, обуславливающее химические свойства элементов.

2.Положение элементов на кривой атомных объёмов.

3.Химическое «сродство» к тем или иным конкретным элементам, т.е. преимущественная склонность именно с этими определёнными элементами образовывать соединения (может измеряться значениями энергии образования определённых типов их соединений, например, оксидных).

При этом элементы подразделены на 5 групп:

1.Литофильные - Li, Be, B, O, F, Na, Mg, Al, Si, P, Cl, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, I, Cs, Ba, TR, Hf, Ta, W, At, Fr, Ra, Ac, Th, Pa, U. Включены кислород и галогены, а также ассоциирующие с ними элементы, то есть преимущественно образующие кислородные и галоидные соединения. Последние – это те, которые расположены на пиках и нисходящих участках кривых атомных объёмов, а также имеют максимальные величины энергии образования оксидных соединений.

2. Халькофильные (или тиофильные, «любящие» серу) – S, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Po). Те, которые ассоциируют преимущественно с медью и серой. Это – сера и её аналоги (селен, теллур), а также элементы, преимущественно склонные образовывать не оксидные, а сульфидные соединения. Для последних характерны 18-электронные внешние оболочки катионов, расположение на восходящих участках кривых атомных объёмов. Величины энергии образования кислородных соединений низкие. Некоторые способны существовать в самородном виде.

3.Сидерофильные - Fe, Co, Ni, Mo, Ru, Rh, Pd, Re, Os, Ir, Pt. Ассоциируют с железом. Все принадлежат к элементам с достраивающимися d-оболочками.

4.Промежуточное положение между лито- и халькофильными: минимумы на кривой атомных объёмов, промежуточные значения энергии образования кислородных соединений. В равной мере распространены и в оксидных, и в сульфидных ассоциациях.

5.Атмофильные – все инертные газы, N, H. Все являются газами, свойственно по преимуществу атомарное или молекулярное (вне соединений) состояние (видимость того, что H представляет исключение, связана с тем, что атомарный водород теряется, рассеиваясь в космическом пространстве).

В экологической геохимии наибольшей популярностью пользуется классификация А.И.Перельмана, основанная на особенностях поведения химических элементов в зоне гипергенеза, с которой студенты более детально ознакомятся в специальной лекции. В основу геохимической классификации Ю.Г. Щербакова положено разделение элементов на центробежные и центростремительные. Кроме упомянутых геохимических классификаций существуют и многие другие (Заварицкого, Вашингтона, Берга и др.), но они, как правило, носят либо слишком общий, либо слишком частный характер и в современной геохимии практически не используются.

Вопросы для самоконтроля

1.Принципы создания классификации Вернадского?

2.В чем отличия классификации Вернадского от других классификаций?

3.Дайте характеристику халькофильным элементам.

4.Дайте характеристику сидерофильным элементам.

5.Дайте характеристику атмофильным элементам.

Рекомендуемая литература[1,2,7,8,9,10,13,14]

5 ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ МИГРАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Миграция - это процесс перемещения химических элементов в пространстве и во времени, приводящий к их концентрации или рассеянию. Она может быть твёрдой (диффузия), жидкой (истинные и коллоидные растворы, расплавы, взвеси или суспензии) и газообразной (газовые смеси, взвеси, дымы – смесь газа и твердых частиц, аэрозоли, туманы – смесь газа и частиц жидкости). Факторы миграции подразделяются на внутренние и внешние. Внутренние факторы миграции определяются строением атомов. К ним относятся:

-электростатические свойства ионов:

-ионный потенциал – отношение заряда иона к его радиусу,

-энергетический коэффициент ионов;

-свойства связи соединений, включая строение кристаллической решетки (определяют способность соединения противостоять разрушению);

-химические свойства соединений (с учётом условий среды – например, более высокой устойчивости кислородных соединений в большинстве гипергенных процессов);

-гравитационные свойства атомов (проявляются при кристаллизации, седиментации, выветривании);
-радиоактивные свойства.

Внешние факторы миграции:

-ландшафтно-геохимические условия, определяющие поведение элементов в различных химических (окислительно-восстановительных, щёлочно-кислотных) обстановках;
-температура (в целом повышение ускоряет физико-химическую миграцию, а для некоторых видов миграции, например, биогенной, нужны определённые диапазоны температур);
-давление (повышение давления в равновесной системе приводит к изменению системы в сторону уменьшения объёма);
-степень электролитической диссоциации (зависит от соотношения свойств растворителя и растворяемого вещества, температуры раствора и его концентрации);
-концентрация водородных ионов, определяющая кислотность-щёлочность среды (pH);
-окислительно-восстановительный потенциал;
-поверхностные силы коллоидных систем (определяют масштабы селективной сорбционности);
-комплексы типоморфных ионов в почвах и водах (что такое типоморфные ионы – будет рассмотрено далее);
-геоморфологические факторы (рельеф);
-радиационные характеристики среды;
-жизнедеятельность организмов и техногенез.

В зоне гипергенеза ведущая роль принадлежит миграции в газовой и водной средах. С учётом этого А.И. Перельманом составлена ещё одна геохимическая классификация элементов, в которой элементы классифицируются по особенностям их миграции в гипергенных условиях. В соответствии с этой классификацией химические элементы подразделяются на воздушные и водные мигранты. Среди воздушных мигрантов, в свою очередь, выделяются:

-активные, образующие соединения (О, Н, С, N, I);
-пассивные (все инертные газы).

Водные мигранты – подразделяются, с одной стороны - по степени подвижности и, 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). Выделяют различные виды миграции - механическая, физико-химическая, биогенная и техногенная.

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.

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

При миграционных процессах формируются различные по генезису геохимические барьеры. Это участки, где на коротком расстоянии происходит резкое снижение миграционной способности химических элементов, ведущее к их накоплению. При формировании механических геохимических барьеров выделяют: аэродинамический, гидродинамический, фильтрационный.

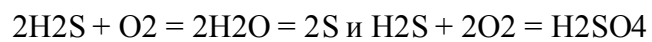
Следующий тип барьеров это барьеры, формирующиеся при физико-химической миграции. Они приурочены к узким пограничным зонам, где контактируют две среды с разными условиями миграции химических элементов. По масштабам проявления среди геохимических барьеров существуют макро-, мезо- и микробарьеры. Некоторые типичные примеры таких барьеров рассматривает в своих работах А.И. Перельман. Примером макробарьеров могут служить зоны смешения речной и морской воды в устьях рек, иногда имеющие ширину до первых километров или зоны апвеллинга. Пример мезобарьера – краевые части болот, где в болото (восстановительная среда) поступают с окружающих возвышенностей богатые кислородом поверхностные и грунтовые воды. Пример микробарьера – место выхода на поверхность источника с восстановительными водами. По стабильности своего положения геохимические барьеры подразделяются на подвижные и неподвижные. Неподвижные барьеры занимают фиксированное положение в пространстве. Они распространены более широко, так как обычно смена параметров среды связана с изменением каких-то характеристик ландшафта, занимающих фиксированное положение.

Подвижные барьеры могут возникнуть в тех случаях, когда сам миграционный поток является причиной изменения химизма среды. Например, поток грунтовых вод, богатых свободным кислородом, проникает вглубь зоны, характеризующейся восстановительной обстановкой. Зона раздела этих сред является геохимическим барьером, и с течением времени барьер будет всё более смещаться в направлении движения водного потока.

Специфическим типом геохимических барьеров являются двусторонние барьеры. Они возникают в тех случаях, когда через границу раздела обстановок с разными параметрами среды миграция осуществляется попеременно то в одну, то в другую сторону. Тогда барьер будет действовать в обоих направлениях. В зависимости от направленности движения миграционного потока можно выделить барьеры латеральные и радиальные. На латеральном барьере миграция происходит по горизонтали, из одного элементарного ландшафта в другой. В этом случае барьеры приурочены к границам ландшафтов, резко различающихся по условиям миграции. Радиальные барьеры связаны с вертикальной миграцией вод, они локализованы внутри соответствующих ландшафтов, на границах раздела сред по вертикали.

В классификационной таблице геохимических барьеров А.И. Перельмана с дополнениями А.И. Летувнинкаса химические элементы подразделяются на воздушные и водные мигранты. Среди воздушных мигрантов, в свою очередь, выделяются: активные, образующие соединения (О, Н, С, N, I) и 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). Такие барьеры возникают на участках резкого повышения E_h среды – окислительно-восстановительного потенциала. Поскольку в условиях земных ландшафтов увеличение E_h обычно связано с увеличением концентрации свободного кислорода (основного окислителя), то можно называть окислительный барьер кислородным, считая эти термины в данном случае практически синонимами. На этих барьерах идут процессы окисления мигрирующих химических элементов. И, если окисленные формы того или иного элемента будут обладать меньшей подвижностью, они будут выпадать из раствора в осадок и концентрироваться на данном барьере. В наиболее типичном варианте окислительный барьер возникает в зоне поступления глеевых или сероводородных вод в кислородную среду. Но иногда такие барьеры могут возникать и в пределах собственно кислородных обстановок, когда на границе раздела слабоокислительные условия сменяются резкоокислительными. Поэтому барьеры типа А1-А4 также не являются запрещёнными. Окислительные барьеры очень широко распространены в равнинных ландшафтах, характеризующихся обилием органического вещества. Здесь для грунтовых вод характерна глеевая обстановка, а в местах их выхода на поверхность или на дно водоёма с кислородным режимом (реки, озера) она сменяется кислородной. Нередко такие барьеры возникают в местах выхода глубинных подземных вод по зонам разломов, где в этих случаях наблюдается интенсивное обоживание пород. Своеобразные барьеры возникают в местах выхода на поверхность сероводородных источников или при смешении сероводородных вод с богатыми кислородом грунтовыми водами. При этом сульфидная сера (2-) окисляется или до элементарной, нейтральной серы (0), или, что бывает чаще, до сульфатной (с валентностью 6+).



В первом случае, если такие условия сохраняются в течение длительного времени, могут формироваться крупные скопления самородной серы (это бывает в зонах окисления на нефтяных месторождениях). Второй случай интересен и важен тем, что он ведёт к резкому увеличению кислотности среды (за счёт образования серной кислоты).

Сероводородные (сульфидные) барьеры. Эти барьеры возникают там, где кислородные или глеевые воды встречаются на своём пути сероводородную обстановку. Сероводородные обстановки в зоне гипергенеза встречаются редко, так что и сероводородные барьеры тоже распространены мало. На сероводородных барьерах наиболее эффективно накапливаются халькофильные элементы (так как они непосредственно связываются с серой, образуя сульфидные соединения), сидерофильные, и в наименьшей мере литофильные. Самый обычный случай возникновения природного сероводородного барьера при латеральной миграции – это контакт кислородных вод с сероводородными илами. Например, при впадении реки в озеро, на дне которого развиты сероводородные илы. Такой барьер может возникать в приустьевых частях рек. Известны случаи возникновения локальных очагов сероводородного заражения (и, следовательно, возможности появления сероводородных барьеров) в гумидном климате при смешении грунтовых кислородных и глеевых вод. Необходимое условие для этого – сульфатный состав кислородных вод. Это может быть следствием миграции кислородных вод через зону окисления горных пород, содержащих сульфиды. При окислении сульфидов образуется сульфат-ион SO_4^{2-} . При просачивании таких насыщенных сульфат-ионами кислородных вод в основание низинного торфяника, они попадают в среду с восстановительными условиями. Здесь сульфат-ион, действуя как окислитель, окисляет, при участии деятельности серобактерий, присутствующие в торфе органические углеводородные соединения. А сам при этом восстанавливается с образованием сероводорода. В результате в узкой полосе вдоль границы между кислородными водами и глеевой средой возникает сероводородная обстановка. И, с учётом направления водной миграции, функционирует сероводородный барьер.

Глеевые барьеры. Эти барьеры в наиболее типичных случаях возникают на участках резкой смены кислородной обстановки глеевой. Реже – слабogleевой обстановки резкоглеевой, то есть тоже глеевой, но характеризующейся ещё более низкими значениями окислительно-восстановительного потенциала. Теоретически можно предположить вероятность существования в природе глеевых барьеров типов C9-C12, которые возникали бы при поступлении сероводородных вод в глеевую среду. Но такие барьеры пока не изучены. Глеевые барьеры очень широко распространены в гумидных и семиаридных ландшафтах, особенно в супераквальных (с неглубоким залеганием грунтовых вод), где развиваются процессы заболачивания. При заболачивании формируется глеевая среда. В результате нисходящего движения почвенных вод или латерального стока грунтовых вод из сопряжённых возвышенных ландшафтов по периферии зоны заболачивания формируются глеевые барьеры типа C2 или C3. Возможно также возникновение глеевых барьеров в краевых частях артезианских бассейнов. Воды внутренних частей этих бассейнов залегают между водоупорными горизонтами, которые также изолируют водоносный горизонт от проникновения атмосферного кислорода. Те же воды, которые поступают в артезианский бассейн из области питания, по мере своего продвижения могут терять кислород, расходуя его на окисление содержащегося в водоносном горизонте органического вещества. В результате во внутренних частях артезианского бассейна формируется бескислородная среда. Если при этом в водах содержится мало сульфат-иона, они будут глеевыми. На границе кислородных вод, поступающих из области питания, и глеевых вод внутренней части артезианского бассейна, будет формироваться подвижный глеевый барьер.

Щелочные барьеры. Возникают на участках резкого повышения pH среды в нейтральной, кислой и щелочной обстановках. В соответствии с общими законами миграции на них происходит накопление преимущественно катионогенных химических элементов, лучше мигрирующих в кислой среде: Fe, Mn, Ni, Co, Cu, в том числе такие высокотоксичные загрязнители природной среды, как Pb, Cd, Hg, As, U и др. Способность многих токсичных элементов осаждаться на щелочных барьерах используют для локализации загрязнения, создавая такие барьеры искусственно. Например, для обработки виноградников широко используется в качестве фунгицида смесь медного купороса CuSO_4 и гашеной $\text{Ca}(\text{OH})_2$ извести (бордоская смесь). В результате при многолетнем применении этого средства в почве накапливается избыток меди. Для борьбы с загрязнением на путях миграции растворов роют траншеи, заполняют песчано-карбонатной смесью, в которых возникает щелочная среда. Формируется щелочной барьер, на котором медь связывается в форме малоподвижного в этих условиях гидрокарбонатного соединения малахита – $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$.

Кислые барьеры. Возникают на путях миграции химических элементов при резком снижении pH среды. В противоположность щелочным барьерам, на них накапливаются не катионогенные, а анионогенные элементы, более активно мигрирующие в условиях щелочной среды. К ним принадлежат Si, Al, Mo, Be, Ga, Sc, Y, Zr, TR и др. Как правило, эти элементы мигрируют в форме растворимых солей щелочных металлов, подвижных в щелочной среде – Na_2SiO_3 , Na_2AlO_2 , Na_2MoO_4 и др. Примером действия кислого барьера является замещение древесных остатков опалом и халцедоном (оксидными соединениями кремния). Если древесина захороняется в почвах аридных ландшафтов, имеющих щелочную среду, то при её разложении возникают очаги повышенной кислотности на щелочном фоне. Щелочные растворы, содержащие подвижные соединения кремния, проникают в разлагающуюся древесину – и здесь, на локальном кислотном барьере, осаждаются слабо подвижные соединения кремнезёма. В более широком плане этот процесс назван М.А. Глазовским хемогенным опалогенезом. Он протекает в различных ландшафтных обстановках именно на кислых барьерах. Специфический случай возникновения кислого барьера – водонефтяной контакт. Уходящий из нефтяной залежи метан окисляется, и подкисляет поровые воды выше контакта нефтяной залежи. Этого оказывается достаточно для выпадения из раствора кремнезёма и закупоривания им пор в рыхлых грунтах.

Испарительные барьеры. Это участки зоны гипергенеза, где накопление химических элементов обусловлено процессами испарения. Первая существенная особенность этих барьеров – действие в условиях самых разнообразных по химизму обстановок. То есть действие испарительного барьера лишь в незначительной степени зависит от параметров кислотности-щёлочности среды или окислительно-восстановительного потенциала. Главным фактором является климат. Вторая важная особенность – то, что именно на этих барьерах концентрируются наиболее растворимые химические элементы. Те, которые подвижны в водах любого химического состава (Na, K, Rb, Cl и др.). Понятно, что самый простой способ осадить такие элементы – это просто выпарить раствор, в котором они переносятся. Для испарительного барьера необходим сухой климат и неглубокое залегание грунтовых вод. В такой ситуации водные растворы поднимаются с водоносного горизонта к поверхности. Поднимает их сила поверхностного натяжения в капиллярах. Так как в условиях сухости климата вытянутая по капиллярам вода сразу же испаряется, ей на смену с водоносного горизонта поступают всё новые и новые порции. И этот «вытягивающий» воду механизм действует непрерывно. Постоянно всё новые и новые порции H_2O испаряются, а содержащиеся в них растворённые соли концентрируются в грунтах и почвах. Так как в типичном случае испарительный барьер возникает при вертикальном движении вод в сторону земной поверхности, он может в природе совмещаться с кислородным и термодинамическим барьерами. Испарительные барьеры могут также формироваться по периферии водоёмов (рек, озёр, водохранилищ). Если грунты постоянно «подпитываются» водами поверхностного водоёма, то в условиях засушливого климата тот же механизм капиллярного «вытягивания» может действовать и в латеральном направлении. Это явление нередко приобретает опасный характер в условиях техногенного загрязнения водоёмов в аридных ландшафтах. Отрицательным результатом действия испарительного барьера заключается в том, что с ним связано развитие процессов засоления почв и, как результат – ухудшение плодородия почв, вплоть до полной непригодности для земледелия. Ежегодно из-за процессов засоления огромные площади земель выходят из сельскохозяйственного оборота, особенно вредными являются процессы содового засоления, так как кроме увеличения содержания солей в почвах одновременно резко увеличивается и щёлочность среды.

Сорбционные барьеры. Сорбционные барьеры возникают в результате резкого снижения миграционной способности химических элементов при фильтрации ионных водных растворов или газовых смесей через среды, обладающие повышенной сорбционной способностью. Эти барьеры особенно важны для элементов с малыми кларками, так как осаждение в процессе сорбции может происходить при очень низких концентрациях, намного меньших, чем концентрации насыщения.

Таким образом, роль сорбции в миграционных процессах может быть двоякой, в зависимости от конкретных условий: -сорбция может быть причиной осаждения вещества из раствора;

-сорбция может способствовать пассивной миграции вещества при механическом переносе частиц-сорбентов. Различаются два вида процессов сорбирования: адсорбция и абсорбция. В первом случае сорбируемое вещество поглощается только поверхностью тела, во втором – всем его объёмом. Адсорбция может иметь разную природу. Химическая адсорбция основана на установлении прочных химических связей адсорбента с поглощаемым веществом и практически необратима. Физическая адсорбция происходит на основе слабых межмолекулярных связей (ван-дер-ваальсовых) и является обратимой. Следовательно, возможны процессы не только сорбции, но и десорбции, то есть перехода сорбированных частиц обратно в раствор. Поэтому при таком типе сорбции адсорбированное вещество находится в состоянии подвижного равновесия с неадсорбированной (остающейся в растворе) частью того же вещества. Интенсивность адсорбции возрастает с уменьшением размеров частиц адсорбента и, следовательно, с возрастанием общей поверхности. Адсорбции способствует образование плохо растворимого соединения адсорбата и адсорбента (например, адсорбция фосфат-ионов гидроокисью трехвалентного железа). Величина адсорбции увеличивается при возрастании концентрации вещества и снижении температуры раствора. Снижение концентрации вещества в растворе и повышение его температуры, напротив, усиливают процессы десорбции. В целом, вещества адсорбируются тем лучше, чем ниже их растворимость (правило П.А. Ребиндера). Поэтому любой внешний фактор, снижающий растворимость, усиливает сорбцию, и напротив – любое изменение условий, приводящее к увеличению растворимости вещества, будет усиливать десорбцию. Важный фактор, влияющий на активность сорбционных процессов – изменение валентности ионов, то есть процессы окисления и восстановления. Многозарядные ионы адсорбируются легче, чем ионы низкой валентности. Например, хорошо растворимый в своей шестивалентной форме уран, попадая в богатые органическим веществом илы, оказывается в восстановительной среде и восстанавливается до четырёхвалентного. В результате растворимость его резко снижается, он сорбируется этими илами и накапливается в них. Особой разновидностью сорбционных процессов является процесс обменной сорбции – когда адсорбент, поглощая какие-либо ионы из окружающего раствора, отдаёт эквивалентное количество ранее сорбированных им ионов другого вещества. Процессы обменной сорбции широко развиты в почвах (при этом участие в них обычно принимают только катионы). Совокупность присутствующих в почве веществ, способных к обменной сорбции, называется почвенным поглощающим комплексом (ППК). Он в основном состоит из гумусового вещества и глинистых минералов. Наиболее распространённые сорбенты в зоне гипергенеза :

- глины и глинистые минералы;
- гумус;
- рассеянное органическое вещество;
- битумы;
- торф;
- бурые угли;
- гидрооксиды Fe, Al, Mn;
- гели кремнезёма.

Классическим примером сорбционного барьера являются краевые части болот (где этот барьер обычно совмещается с глеевым, иногда также с кислым). Торф и богатые гумусовым веществом болотные почвы активно сорбируют металлы – U, Be, Ge, Mo, Pb, Zn и др. Концентрации урана в торфяниках могут превосходить концентрацию в питающих водах в 10 000 раз. Таким путём могут формироваться промышленные месторождения урана. В нефтегазоносных областях сорбционные барьеры возникают в результате процессов окисления нефтей и превращения их в полужидкие и твёрдые битумы. Здесь сорбционный барьер нередко совмещается с сероводородным. Дело в том, что в этом процессе окисление нефтей сопровождается восстановлением сульфатной серы в результате деятельности бактерий. Здесь концентрируются U, V, Ni, Co, Mo, Cu, Zn и другие металлы. Очень высокой сорбционной способностью обладает гумусовое вещество почв, особенно чернозёмных и каштановых. Поэтому почвенный поглощающий комплекс тоже может выступать в роли сажного геохимического барьера. На этом барьере идёт активное поглощение катионов металлов (Ca, K, Pb, Zn, Cd, Hg и др.), а также некоторых комплексных анионов (содержащих As, P, Se, Mo, V). Если бы вся потенциальная ёмкость поглощения металлов ППК реализовалась только за счёт поглощения токсичных тяжёлых металлов, то ПДК по Pb, Hg, Cd могли бы быть превышены в почвах в сотни и тысячи раз. На деле этого обычно не происходит потому, что здесь столь же активно поглощаются и вполне «безобидные» Ca, K, Mg. А так как их кларки на несколько порядков выше, то основной объём сорбированного вещества приходится именно на эти элементы. Но в условиях техногенного загрязнения формирование повышенных концентраций токсичных элементов на почвенном сорбционном барьере тоже возможно, хотя и не в столь гигантских масштабах. В зоне гипергенеза выделяют два сорбционных макробарьера. Первый – на путях стока речных вод в мировой океан. Здесь идёт массовое осаждение мелких принесённых реками глинистых частиц и мицелл коллоидов. Адсорбционные процессы могут приводить к удалению многих ионов из природных вод. Адсорбирующая способность глинистых минералов, особенно монтмориллонита, очень высока. Химическая адсорбция ионов калия монтмориллонитов может приводить к образованию иллита. Многие комплексные ионы, например, содержащие мышьяк и молибден, а также ионы тяжёлых металлов, адсорбируются на коллоидных частицах и удаляются из раствора, впоследствии накапливаясь в осадочных железных и марганцевых рудах. Так происходит систематическое обезвреживание гидросферы. Если бы не было этого явления, целый ряд биологически вредных элементов накапливался бы в воде океанов, т.к. значительное количество таких элементов как медь, селен, мышьяк, свинец освобождаются в больших количествах и в процессах выветривания и эрозии и попадает в природные воды. Таким образом, этот барьер выполняет важнейшую геохимическую функцию, способствуя естественному самоочищению водных систем Земли. К сожалению, масштабы техногенного загрязнения в наше время возрастают настолько, что даже ёмкость этого крупнейшего барьера нередко оказывается превышенной, и сама по себе природа с очисткой загрязнённого речного стока не справляется. Второй подобный макробарьер возникает при воздушной миграции благодаря концентрации сорбируемых компонентов аэрозольными частицами. К сожалению, такой механизм очищения атмосферы является лишь итоговым результатом достаточно продолжительного процесса. А в течение сравнительно небольших промежутков времени действие аэрозольного барьера, напротив, приводит к увеличению масштабов переноса загрязнителей и возникновению их повышенных концентраций в районах размещения промышленных предприятий. Сорбционные барьеры играют важную роль в формировании геохимической специфики различных оболочек нашей планеты. Наиболее наглядно это видно из сравнения геохимии натрия и калия. Два элемента с очень похожими химическими свойствами, одинаковым кларком, одинаково ведущих себя в процессах ионной миграции. Но вот в водах мирового океана содержание натрия намного выше. Почему? Дело в том, что калий очень активно связывается в сорбционных процессах, и потому лишь незначительная его доля поступает с ионным стоком в мировой океан. А натрий, наоборот, в большей своей части выносится именно туда.

Термодинамические барьеры возникают на участках резкого уменьшения миграционной способности химических элементов в результате изменения на путях движения миграционных потоков температуры или давления (или обоих этих факторов одновременно). В целом они весьма разнообразны по механизму и по направленности действия. Выделяют сульфатный (I) и карбонатный (K) геохимические барьеры. Наиболее типичный пример резкого изменения данных параметров - ситуация в местах выхода подземных вод на земную поверхность. Здесь мы всегда имеем дело с резким снижением давления, и нередко – с повышением температуры. В отношении некоторых веществ действие этих факторов суммируется. В первую очередь это касается веществ, на растворимость которых влияет содержание в водном растворе угольной кислоты (так называемое косвенное действие термодинамического барьера). Растворимость CO₂ резко снижается при увеличении температуры водного раствора, и в этом же направлении действует уменьшение давления. Но изменение содержания CO₂ в растворе смещает карбонатное равновесие: растворимая форма Ca(HCO₃)₂ переходит в труднорастворимую CaCO₃. Таков механизм образования известковых отложений в местах выхода на поверхность углекислых источников. Кроме карбоната кальция таким же путём могут выпадать в осадок карбонатные соединения свинца, цинка, стронция. В местах выхода на поверхность глеевых вод идёт активное осаждение соединений железа и марганца. При этом термодинамический барьер совмещается с кислородным, и их действие суммируется. Очень сложный по механизму термодинамический барьер действует в местах сезонного промерзания и оттаивания грунтовых вод. На начальных стадиях замерзания минерализованных вод, когда температура раствора опускается чуть ниже нуля, многие минеральные вещества выпадают в осадок. В случае

многократного промерзания и оттаивания минерализация грунтовых вод может уменьшиться на порядок. Это – одна из причин очень низкой минерализации вод в зоне тундры.

Вопросы для самоконтроля

- 1.Что такое миграция химических элементов?
- 2.Какие существуют факторы миграции?
- 3.Дайте характеристику зоны гипергенеза.
- 4.Какие существуют виды геохимических барьеров?
- 5.Как подразделяются геохимические барьеры по стабильности своего положения?
- 6.Что представляют собой глеевые барьеры?
- 7.Что представляют собой глеевые барьеры?
- 8.Что представляют собой щелочные барьеры?
- 9.Что представляют собой сорбционные барьеры?
- 10.Виды процессов сорбирования.
- 11.Какую роль играют сорбционные барьеры в формировании геохимической специфике территорий и акваторий?
- 12.Охарактеризуйте термодинамические барьеры.

Рекомендуемая литература [2,3,4,5,6,11,15,16]

6 ОСОБЕННОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ МИГРАЦИИ

Механическая миграция происходит без изменений химического состава и физического состояния вещества. Процессы механической миграции включают:

-перемещение масс газообразных (атмосфера, вулканические газы), жидких (наземные и подземные воды, магматические расплавы) и твёрдых (движение ледников, горнопородных масс и грунтов на склонах, блоков литосферы в тектонических процессах).

-дезинтеграцию – результат физического (температурного) выветривания, интенсивность которого зависит от контраста дневных и ночных температур (горные области, районы без растительности – т.к. наличие растительного покрова, особенно лесной растительности, сглаживает температурные контрасты

При этом перенос осуществляется различными агентами: ветром, текучими водами, ледниками, иногда непосредственно под действием гравитации (на склонах). В наибольших масштабах осуществляется текучими водами, в меньшей мере – ветром. В высокогорных и полярных районах в современную эпоху большую роль играет ледниковый перенос. Все реки мира ежегодно поставляют в океан 15-16 млрд. т наносов (оценка масштабов переноса). Это только итоговый результат, массы переносимого и переотлагаемого материала внутри континентов не менее значительны. В конечном счете, все виды переноса, кроме эолового – это прямой результат действия гравитационных сил. Поэтому Ферсман назвал механогенез «областью геохимического влияния силы тяжести».

Механическая дифференциация осуществляется благодаря непостоянству скоростей движения водных и воздушных потоков, переносающих частицы твёрдого вещества. Способность потока переносить частицы определённой массы определяется энергией потока. Она прямо пропорциональна массе воды и квадрату скорости течения. Поэтому зависимость процесса от скорости потока очень велика, и даже небольшие горные реки могут переносить крупную гальку и валуны. При снижении скорости происходит механическое разделение частиц - крупные обломки остаются на дне, более мелкие переносятся дальше. Сначала происходит в основном разделение по размеру, но когда дело доходит до разделения песчаной фракции достаточно существенную роль начинает играть удельный вес минеральных частиц. Частицы близкого размера, но с разным удельным весом выпадают в осадок неодновременно. Так как минералы имеют и различный химический состав, результатом механической дифференциации оказывается и определённое различие в химизме. Это ещё и механизм формирования россыпных месторождений. В атмосфере обычными объектами механического переноса являются пыль, песок и соли. Песок переносится только на небольших высотах (первые метры). Пыль и микрочастицы соли – значительно выше, но основной объём тоже ограничен тропосферным переносом. Источники солей – как высохшие соляные озёра и солончаки, так и акватории соляных озёр и морей (испарение мелких брызг солёной воды, после чего частицы соли остаются в атмосфере). В условиях непромывного режима почв и грунтов соли, поступающие из атмосферы, могут в них накапливаться. Масштабы процесса могут быть очень значительны (пример – великая «соляная буря» на западе США в 1933 г.). При механической миграции действуют геохимические барьеры: аэродинамический, гидродинамический, фильтрационный.

Физико-химическая миграция связана с глубинными (эндогенными) процессами. Прямого влияния на миграцию элементов в биосфере глубинные процессы, как правило, не оказывают (исключение составляют лишь области современного вулканизма). Но все глубинные процессы вносят очень большой вклад в формирование геохимической неоднородности литосферы, которая является неотъемлемой составной частью биосферы. Значительный вклад в создание геохимических неоднородностей в литосфере вносят две группы эндогенных процессов: магматические и гидротермальные.

Водная миграция. Водный перенос является ведущим для подавляющего большинства элементов в условиях биосферы. При этом именно вода, находясь в обратимых взаимоотношениях с горными породами, организмами, атмосферой обеспечивает интенсивное взаимодействие между всеми компонентами ландшафта. Масштабы водного переноса связаны с растворимостью химических соединений. Интенсивность процесса для каждого элемента определяется коэффициентом его водной миграции. Вынос элементов при этом происходит в зонах активной циркуляции проточных вод, а накопление – в конечных бассейнах стока (озёрные котловины, мировой океан). Надо иметь в виду, что для разных элементов в составе одного и того же растворимого соединения значения коэффициента могут быть очень различны. Пример – NaCl. В растворённой форме всегда будут переноситься эквивалентные количества катионов и анионов. Но если для Cl⁻ доля такой миграции будет весьма существенной по отношению к общему количеству его в ландшафте, то её удельный вес в миграции Na⁺ может значимой величиной не выражаться, так как кларк Na на два порядка выше.

Водные мигранты делят по степени подвижности и на катионогенные и анионогенные элементы. Подвижность определяется коэффициентом водной миграции (отношение содержания химического элемента в минеральном остатке воды к его содержанию во вмещающих породах).

$$KX = (MX/anx)100,$$

где MX – содержание элемента в воде, а – минерализация воды,

nx- содержание элемента во вмещающей породе.

Дополнительные характеристики – постоянная или переменная валентность, подвижность или же способность осаждаться при различном типе химизма среды, интенсивность миграции в растворах с различными щелочно-кислотными условиями, интенсивность миграции с органическими комплексами. В дополнение ко всему элементы независимо от других признаков подразделяются по роли биогенного накопления в их миграции (существенная или несущественная). В условиях встречного движения вод возникают двусторонние барьеры. Возникновение барьеров может быть связано также с резкими изменениями температур, давлений и др. параметров. Взаимодействие водной среды с атмосферой: испарение воды, поступление в атмосферу солевых частиц, аэрозольных взвесей с поверхности водоёмов; растворение газов, осаждение в воду атмосферной пыли и аэрозолей.

В результате взаимодействия гидросферы и атмосферы с литосферой происходит:

1.Химическое выветривание. Реакции гидратации, окисления, карбонатизации. Разложение алюмосиликатов и образование глинистых минералов. Разложение Fe-содержащих силикатов приводит к образованию гидрооксидных соединений железа – $\text{Fe}(\text{OH})_3$, FeOOH и др., присутствие которых придаёт выветрелому веществу бурую окраску, очень распространённую в условиях нашего умеренно влажного климата (пример столбовских сиенитов, которые буреют на выветрелой поверхности). В аридном климате существенную роль играет карбонатизация. Во влажном и жарком климате (экваториальном) химическое выветривание заходит наиболее далеко, до полного разложения алюмосиликатов на простые гидрооксиды (латеритные почвы). Химическое осаждение растворённого минерального вещества, его возврат в литосферу. Взаимодействие вещества, осаждаемого из грунтовых вод, с дезинтегрированным рыхлым материалом верхних уровней литосферы (почвы, кор выветривания, рыхлых осадков) цементация. Образуются «уплотнённые» горизонты внутри почв и осадков (кремнистые, железистые, известковистые, огипсованные). В конечном счете, такой механизм приводит к формированию из рыхлых осадков осадочных горных пород.

2.Биогенная миграция. 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. Изучение закономерностей биогенной миграции химических элементов понимание планетарной (геологической) роли жизнедеятельности живых организмов стало возможным благодаря введению понятия «живого вещества». Пока наука XIX в. концентрировала всё внимание на изучении жизнедеятельности отдельных организмов, всё живое представлялось ничтожным по сравнению с могучими силами неживой природы. Считалось, что удел жизни – только приспособляться к тем условиям, которые создаются в природе физическими и химическими процессами, которым безоговорочно приписывалось ведущее значение. Подвижность химических элементов в процессах, где ведущая роль принадлежит биогенной миграции, зависит как от формы нахождения этих элементов, так и от той роли, которую они выполняют в живых организмах. Растительные и животные организмы удерживают в своих тканях миллиарды тонн минеральных веществ. Чем больше биогенное значение химического элемента, тем в большей степени он захватывается живыми организмами и, следовательно, оказывается защищенным от выноса из почв грунтовыми и речными водами.

3.Техногенная миграция. С появлением человека и развитием человеческого общества появляется новый и самый сложный вид миграции химических элементов – техногенная миграция. Особенно быстро её роль возрастает последние два столетия (с начала промышленной революции). При этом многократно возрастает влияние техногенеза на природные процессы, техногенная нагрузка на природные системы, вплоть до биосферы в целом. Биосфера трансформируется и переходит в новое качество. В то же время люди до сих пор плохо знают законы, которым подчиняется техногенная миграция, механизмы влияния этих процессов на природные системы. Для характеристики техногенной миграции и связанного с нею распределения химических элементов на земной поверхности используются понятия:

Техногенные ореолы рассеяния делятся:

1.Техногенные аномалии (выделяются в депонирующих, т.е. накапливающих средах и могут соответствовать ореолам рассеяния). Могут быть не только вредными, но и полезными. Например, те, которые являются результатом известкования кислых почв, что улучшает агрохимические свойства. Практикуется также непосредственное внесение дефицитных минеральных компонентов не в среду, а непосредственно в пищу животных и человека (пищевые добавки).

2.Техногенные потоки рассеяния (выделяются в транзитных средах – водах, воздухе, донных осадках водотоков).

3.Техногенные зоны выщелачивания. В большинстве связаны с выщелачиванием элементов из отвалов горнодобывающих предприятий. В этих случаях с ними могут быть связаны техногенные потоки рассеяния и ореолы загрязнения в сопряжённых ландшафтах, где выщелоченные компоненты будут накапливаться. Нередко выщелачивание применяется искусственно как технология извлечения минерального компонента из руд.

4.Техногенные геохимические барьеры. Понятие двойного употребления, что не очень удобно. С одной стороны – так называют природные барьеры, на которых концентрируются элементы, попавшие в ландшафт в результате техногенной миграции. С другой – искусственно создаваемые барьеры для локализации загрязнения. Например, известковые валы, служащие для осаждения элементов, переносимых кислыми водами. Или искусственные сорбционные барьеры.

Выделяется два геохимических типа процессов техногенной миграции:

1.Миграция, унаследованная от биосферы, но техногенно изменённая. Это процессы, связанные с биологическим круговоротом, водной и воздушной миграцией элементов. Для их характеристики можно использовать те же понятия, которые разработаны применительно к процессам биогенной и физико-химической миграции.

2.Собственно техногенная миграция в формах, чуждых биосфере. Производство веществ, не существующих в природе, использование атомной энергии, перемещения вещества, подчиняющиеся социальным законам. Здесь требуется новый понятийный аппарат, который сейчас находится в стадии разработки.

Один из важнейших геохимических показателей техногенеза – технофильность химических элементов. Это отношение ежегодной добычи или производства элемента (в тоннах) к его кларку в литосфере. Таким образом, эта величина характеризует относительные масштабы извлечения элементов из природных сред в целях его промышленного использования человеком. При этом не учитываются параметры обратного выхода этих элементов из техногенного оборота, что делает показатель не вполне совершенным. То есть, в отличие от биофильности, этот показатель не является точным отражением концентрации элемента в продуктах техногенеза. Вторая особенность – динамичность показателя. Наибольшая величина технофильности свойственна углероду, что характеризует интенсивность использования горючих полезных ископаемых. Высокие показатели – для фосфора, золота, свинца, цинка, меди. С другой стороны, низки величины технофильности для таких распространённых элементов, как магний, титан, и особенно – кремний. По существу это характеризует низкую степень использования этих элементов в техногенезе, что со временем, вероятно, изменится. Для кремния время этих изменений уже наступает в связи с началом внедрения керамики в качестве замены металлам и пластмассам. В целом по мере развития науки и техники всё большей становится регулирующая роль кларка, так как богатые месторождения истощаются и со временем, видимо, человечество вынуждено будет перейти к извлечению элементов из пород, где их содержания незначительны отличаются от кларковых.

Вопросы для самоконтроля

- 1.Особенности механической миграции
- 2.Особенности механической дифференциации.
- 3.Объекты механической миграции.
4. Виды геохимических барьеров при механической миграции.
- 5.Особенности физико-химической миграции.
- 6.Геохимические барьеры при физико-химической миграции.
- 7.Геохимические барьеры возникающие при водной миграции.
- 8.Особенности биогенной миграции.
- 9.Типы техногенной миграции.

Рекомендуемая литература [2,3,5,6,8]

7 ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ В БИОСФЕРЕ И ГЕОСФЕРЕ

7.1 Самостоятельные минеральные виды

Под формой нахождения химических элементов понимаются системы различных относительно устойчивых химических равновесий этих элементов.

В верхней твердой оболочке Земли - литосфере самостоятельные минеральные виды являются наиболее распространенной косной природной формой нахождения химических элементов. В настоящее время насчитывается около 2000 видов минералов различных комбинаций и находений в самородном состоянии. Наибольшее число минералов (свыше 1500) образовано при участии кислорода. Более 1000 минералов содержит водород и более 500 - кремний. Еще 16 элементов (Ca, S, Fe, Al, Na, Mg, Cu, Pb и др.) входят в состав более чем 100 минералов (каждый). В то же время более десяти элементов (Rh, Os, Ru и др.) образуют всего несколько собственных минералов. Следует сразу же отметить, что только распространенностью элементов нельзя объяснить их способность образовывать самостоятельные минералы. Так, среднее содержание в земной коре свинца составляет $1,6 \times 10^{-3} \%$, а число собственных минералов - 199; для галлия эти значения соответственно равны $1,9 \times 10^{-3} \%$ и 2.

Именно твердые минералы представляют собой среду, в которой и за счет которой развивается основная масса живых организмов материков. При этом составляющие их химические элементы становятся доступными для организмов либо в процессе, либо после разрушения минералов. В связи с этим при изучении экологической геохимии большое значение имеет не только состав минералов, но и их прочность и особенно растворимость. К числу важнейших, с точки зрения экологии, надо относить и такие свойства, как радиоактивность, тепло- и электропроводимость, цвет.

Существует довольно много классификаций минералов. Среди них наиболее распространение получили кристаллохимические, учитывающие свойства минералов, их химический состав и внутреннюю структуру.

Рассматривая минералы с точки зрения экологической геохимии, следует отметить их две особенности. Во-первых, сочетания некоторых минералов создают в каждом регионе соответствующий минералогический геохимический фон, который не только определяет многие условия существования организмов, но часто контролирует и их видовое разнообразие. Во-вторых, доступность для живых организмов химических элементов, составляющих минералы, зависит от свойств этих минералов, от их устойчивости в слоях биосферы.

7.2 Основные принципы кристаллохимии

Несколько условно все минералы можно разделить на кристаллические и аморфные. Условность объясняется отсутствием резкого различия между твердыми кристаллическими и аморфными минералами. Кристаллические представляют собой однородные, анизотропные, «бесконечные постройки», в которых структурные единицы, занимая строго определенные, геометрически закономерные места в пространстве, создают в совокупности кристаллическую структуру. Однако и в минералах, относящихся к аморфным, расположение структурных единиц не является хаотичным. В них также существует определенная упорядоченность в расположении атомов, ионов или групп, но только близлежащих, а периодичность повторения закономерных расположенных групп структурных единиц на больших расстояниях является нарушенной.

Важнейшие свойства минералов как веществ с закономерными расположенными структурными единицами определяются двумя основными кристаллохимическими принципами.

Структура кристаллической решетки определяется числом ее структурных единиц, их размерами и поляризационными свойствами.

Уточнение данного принципа дается в следующих правилах:

- кристаллическая решетка минералов, при прочих равных условиях, стремится к максимуму симметрии и наиболее плотной упаковке слагающих ее единиц (атомов, ионов и групп). Этим правилом объясняется как бы только геометрическая стабильность решетки.
- упорядоченная структура стремится к минимуму потенциальной энергии вследствие тенденции слагающих ее единиц нейтрализовать свой заряд за счет непосредственных соседей. Число же соседей с противоположным зарядом (координационное число) определяется в основном их относительными размерами. Здесь уместно отметить, что: 91,77% объема земной коры приходится на долю кислорода и только 8,23% на электростатические поля атомов и ионов всех других элементов;
- подавляющее большинство ионов этих элементов имеет меньший радиус, чем ион кислорода O^{2-} . Следовательно, всю земную кору можно рассматривать как своеобразную кислородную упаковку. При этом вариации плотности определяются химическими элементами, преобладающими в сочетании с кислородом. Учитывая также, что 20,9% объема атмосферы состоит из свободного кислорода, а в каждом литре вод морей и океанов его содержится 3 см. куб., можно более полно представить громадную роль этого элемента в биосфере, его прямое и косвенное влияние на живые организмы.

Второй принцип кристаллохимии. Энергия кристаллической решетки и зависящие от нее свойства кристаллических веществ определяются количеством различных структурных единиц, составляющих решетку, их валентностями и часто — поляризационными свойствами

Энергия кристаллических решеток Ферсман установил следующие правила:

1. В диссоциированных расплавах, растворах и флюидах последовательность кристаллизации минералов следует за понижением энергии их кристаллических решеток. Это положение позволяет сделать следующий вывод: элементы с небольшими величинами ЭК в результате геохимической эволюции постепенно становятся все более определяющими в низкотемпературных геохимических процессах, протекающих в биосфере.
2. В группах минералов имеющих одинаковое кристаллическое строение и сходную формулу, с возрастанием энергии решетки (и, следовательно, с увеличением значений ЭК и ВЭК составляющих ее ионов) увеличивается твердость этих минералов. Следовательно, при прочих равных условиях соединения с большей энергией кристаллической решетки позже могут быть разрушены механическим путем, а составляющие их элементы оказывать наибольшее влияние на жизнедеятельность организмов.
3. Растворимость соединений в целом согласуется с уменьшением энергии их кристаллических решеток. Таким образом, в биосфере, характеризующейся обилием воды, наблюдается тенденция к относительному накоплению в растворенном состоянии (наиболее доступном для организмов) химических элементов с небольшими значениями ЭК.
4. По мере перехода от высокотемпературных процессов к наиболее распространенным в биосфере экзогенным (т.е. по мере увеличения роли ионов с небольшими величинами ЭК) происходит закономерная эволюция окраски образующихся минералов от черных и темно-зеленых к белым и бесцветным. Это положение играет роль в экологии, ибо окраска окружающей среды относится к внешним факторам, оказывающим как прямое влияние на живые организмы, так и влияние через различную скорость солнечного нагрева темно- и светлоокрашенных минералов.

7.3 Химическая связь в кристаллических решетках

От типа химической связи зависят некоторые свойства минералов:

1. Для минералов с ионной связью характерны небольшой удельный вес, хорошая растворимость в воде, сравнительно высокие температуры плавления, малая летучесть. Растворы ионных соединений обладают электропроводимостью. Наиболее распространенным в биосфере природным, существенно ионным раствором является морская вода. Следует отметить, что кровь многих рыб и животных (в том числе и живущих на суше) по ряду параметров подобна этому раствору. К минералам с ионной связью в кристаллических решетках относятся

природные фториды, а также хлориды, бромиды и иодиды щелочных металлов. Они образуются при различных геохимических процессах и достаточно широко распространены в пределах биосферы.

2. Кристаллы с атомной (ковалентной) связью отличаются прочностью решеток, относительной твердостью, высокой температурой плавления и малой летучестью.

Для минералов с молекулярными решетками (в узлах которых находятся молекулы с атомной или ионной связью, удерживаемые между собой слабыми вандер-ваальсовскими связями) характерны слабая устойчивость самой решетки и невысокая твердость. Наиболее распространенным среди них в биосфере является лед. К этой же группе минералов следует отнести и молибденит (MoS_2), у которого слои крепко связанных между собой Mo и S соединяются «через серу», что определяет такое дополнительное свойство этого сульфида, как слоистость.

Свойства минералов с ионно-ковалентной связью являются также промежуточными между уже рассмотренными свойствами атомных и ионных кристаллов. Эти минералы резко преобладают в группе с промежуточным типом связи. К ним относится большинство окислов, часть сульфидов, а главное - наиболее распространенные среди минералов земной коры и биосферы силикаты и кремнезем со связью кислород-кремний.

7.3.1 Ионные радиусы.

Часто этот кристаллохимический показатель является, при прочих равных условиях, определяющим для ряда свойств минералов.

– С увеличением радиусов ионов повышается растворимость соединений, составленных этими ионами, и при этом понижаются их твердость, прочность, температуры плавления и кипения.

– При наличии в составе минералов крупных комплексных анионов наиболее устойчивыми являются соединения с катионами, имеющими большой ионный радиус. Среди крупных анионов обычно в биосфере преобладают SiO_4 , SO_4^{2-} , PO_4 .

– Минералы, представляющие собой сочетание крупных анионов с небольшими катионами (в природе это обычно происходит при вхождении в кристаллическую решетку молекул воды), отличаются повышенной растворимостью, хотя и легко подвергаются обезвоживанию.

При поляризации уменьшаются межузловые расстояния в решетке. Энергия решеток увеличивается. Увеличивается электрическая проводимость минералов. Поляризация также способствует переходу от ионных соединений к промежуточным, атомным, молекулярным и металлическим. Уменьшается прозрачность и увеличивается цветность минералов, усиливается металлический блеск.

7.4 Минералы в биосфере

Основная часть минералов, образовавшихся в глубинных слоях Земли, попав в условия биосферы, начинает разрушаться, так как сочетания составляющих их элементов должны соответствовать изменившимся условиям.

С точки зрения приспособления к условиям биосферы элементов, находящихся в минералах, можно выделить, кроме растворения, следующие основные реакции:

-окисление - это процесс передачи электронов атомами, входящими в минерал, кислороду. Реакция идет преимущественно в водной среде, а элементы с меняющейся валентностью переходят к ее более высокому состоянию. Довольно часто этот процесс идет ступенчато, с образованием промежуточных минералов: $\text{FeS}_2 \rightarrow \text{FeSO}_4 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3$

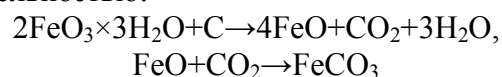
-гидролиз - один из наиболее распространенных процессов изменений минералов в биосфере. Его можно рассматривать как реакцию между ионами воды (H^+ и OH^-) и ионами минералов. Примером может служить гидролиз полевых шпатов с образованием каолинита:



-гидратация - процесс присоединения воды к минералам. В биосфере может происходить самостоятельно: $2\text{FeO}_3 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3 \times \text{H}_2\text{O}$, а может сопровождать ранее рассмотренные реакции. Довольно часто гидратации способствуют процессы жизнедеятельности бактерий.

-карбонатизация - процесс взаимодействия ионов $[\text{CO}_3]^{2-}$ и $[\text{HCO}_3]^-$ с минералами. Его конечным результатом является растворение вступающих в реакцию минералов с образованием из составляющих их минералов карбонатов.

-восстановление - процесс восстановления в условиях биосферы относительно редок, так как идет при условии отсутствия свободного кислорода. Такие условия иногда возникают в донных отложениях и почвенных горизонтах. Восстановление контролируется главным образом наличием органического вещества и бактериальной деятельностью:



диализ - это процесс разделения раствора на коллоидный и истинный. В лаборатории для этого используются специальные мембраны, непроницаемые для коллоидных частиц. В природных условиях своеобразными мембранами являются поверхности самих глинистых частиц. При этом ионы металлов из коллоидов глинистых минералов могут отделяться в виде истинных растворов. Явление получило распространение в мелководных пресных водоемах с большими объемами глинистого геля.

Описанные процессы приводят к разрушению ранее существовавших минералов и образованию новых, более устойчивых в условиях биосферы. При этом часть составлявших их элементов переходит в другие формы: водные растворы, коллоидную, биогенную, а иногда и газовые смеси.

7.5 Изоморфная форма нахождения химических элементов

Изоморфные смеси в минералах представляют собой закономерные замещения аналогичных элементов друг другом в кристаллических решетках. Явление установлено немецким химиком Митчерлихом в 1819 г. Сейчас процесс изоморфного замещения подразделяют на изовалентный и гетеровалентный. При изовалентном в кристаллических решетках замещаются ионы равной валентности, при гетеровалентной - разной. Американцы называют этот процесс «диадохия».

К настоящему времени значительная часть редких и рассеянных элементов добывается из изоморфных смесей. Традиционно и вполне обоснованно предпочтение отдается примесям рассеянных элементов в высокотемпературных магматических минералах. Так, значительное количество Hf добывается из циркона, где гафний находится в изоморфной смеси к цирконию. Список с подобными примерами может быть существенно расширен.

Однако и в низкотемпературных минералах возможны изоморфные примеси многих извлекаемых элементов и даже таких широко распространенных, как цинк. Потенциальные возможности изоморфных примесей как источника многих химических элементов (часто даже добываемых попутно) чрезвычайно велики. Однако отработка руд с развитым изоморфизмом часто способствует специфическому загрязнению территорий, прилегающих к рудникам, обоганительным фабрикам, металлургическим комбинатам.

При существующих в настоящее время методиках извлечения «попутных элементов» (часто большая) часть этих элементов уходит в отвалы, вылетает с дымом из труб, удаляется с промышленными стоками. Будучи извлеченными из кристаллических решеток, изоморфные примеси начинают самостоятельную миграцию в биосфере, точнее в ноосфере. В связи с этим в районе рудников, обогатительных фабрик, металлургических комбинатов почвы, воды, растения имеют повышенные концентрации элементов, не извлекаемых из руд. Известны случаи отравления этими элементами людей.

Необходимо в хозяйственной деятельности учитывать и то, что элементы, изоморфно входящие в какой-либо минерал, могут начать самостоятельно мигрировать практически только после разрушения этого минерала.

Явление изоморфизма следует учитывать при использовании удобрений, в связи с проблемами окружающей среды. Основная часть минеральных удобрений изготавливается из природных фосфатов и апатитов, в которых в виде изоморфных примесей содержится целый ряд редких и редкоземельных элементов, включая Li, Sr, Y и др. Несовершенные технологии способствуют накоплению этих элементов в удобрениях, с которыми они поступают в почвы, а затем при разложении удобрений - в воды и различные живые организмы.

7.5.1 Изоморфные смеси в биосфере

1. Несмотря на то, что в биосфере интервал температур не превышает 100 град., экспериментальные данные говорят о том, что изоморфизм усиливается с ростом температуры среды. Так, для доломита, омываемого цинкосодержащим раствором, концентрация цинка, изоморфно замещившего в минерале магний, возросла в два раза, при повышении температуры с 20 до 100 град.

2. Увеличение концентрации элемента в окружающей среде, происходящее на локальных участках в биосфере, также ведет к усилению изоморфизма. Суммарное воздействие на процесс температуры, давления, распределения элементов и самой «биокосности» рассматриваемой системы в целом приводит к тому, что в условиях биосферы число химических элементов, изоморфно замещающих друг друга, гораздо меньше, чем в глубинных слоях земной коры. Вернадский разработал ряды изоморфизма.

3. Изоморфные смеси, образовавшиеся в условиях высоких температур и давлений, попав в условия биосферы, начинают распадаться. Причины для этого следующие:

- изменение валентности у части элементов, входящих в смесь, при окислении. Так, в оливине $(Mg, Fe)_2[SiO_4]$ железо в условиях биосферы переходит в трехвалентную форму, и смесь начинает распадаться;
- изменение величины pH может по-разному сказаться на растворимости изоморфно-смешивающихся соединений. Так, в кислых растворах биосферы более растворим, чем CdS, и изоморфная смесь $(Zn, Cd)S$ распадается;
- изменение связей в кристаллических решетках, происходящее в биосфере при окислении изоморфных смесей, приводит к их распаду;
- химические реакции, протекающие в биосфере, могут вызвать образование из изоморфной смеси новых соединений. Таким образом, часто идет разделение смеси на Cl, Br и I;
- распад изоморфных смесей возможен в биосфере и под воздействием биогенных процессов, что особенно характерно для смесей, содержащих йод.

Вопросы для самоконтроля

1. Что понимается под формой нахождения химических элементов?
2. Охарактеризуйте самостоятельные минеральные виды как природную форму нахождения химических элементов.
3. Какие свойства минералов и почему учитываются в экологической геохимии?
4. Что представляют собой изоморфные смеси?
5. Водные растворы как форма нахождения химических элементов. Роль водных растворов в хозяйственной деятельности человека.
6. Процессы разложения и образование воды в биосфере.
7. Что включает в себя биогенная форма нахождения химических элементов?
8. Назовите ряд специфических особенностей живого вещества.
9. Каковы функции вирусов и бактерий в биосфере?
10. Какова геохимическая функция выполняемая животными?
11. Какие экологические проблемы возникают при антропогенных процессах, связанных с производством и использованием техногенных соединений, не имеющих природных аналогов?

Рекомендуемая литература [12,13,14,15,16]

8 ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОХИМИЯ ПЕДОСФЕРЫ, ИЛОВ И КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ.

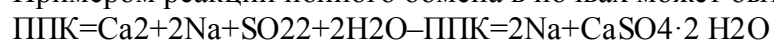
Почва является типичным представителем биокосных систем. Геохимическое своеобразие этих систем определяется сочетанием механических, физико-химических и биогенных миграционных процессов. Все биокосные системы (почвы, илы, коры выветривания и т.д.) имеют много общих черт. Это относится к процессам десульфуризации, оглеения, окисления сульфидов, засоления, огипсования, карбонатизации и др.

Во всех биокосных системах земной коры происходит тесное взаимодействие горных пород с природными водами. Это определяет некоторые общие особенности физико-механической миграции в них, которая складывается из двух противоположно направленных процессов – выветривания и цементации. Миграция элементов при выветривании, в свою очередь, также складывается из двух противоположных процессов – выщелачивания из пород и минералов водных (Ca, Mg, K, Na и др.) и присоединения воздушных (O, H – в виде H₂O, H⁺ и OH⁻, CO₂ и др.) мигрантов. Для второй группы процессов – цементации наиболее характерна аккумуляция ранее выщелоченных на других участках водных мигрантов на геохимических барьерах, уменьшение пористости и, соответственно, увеличение плотности пород. В результате могут образоваться различные конкреции, а также ожелезненные, карбонатизированные, огипсованные и др. горизонты.

По определению А.И. Перельмана: «Почва – верхний горизонт литосферы, вовлеченный в биологический круговорот при участии растений, животных и микроорганизмов, область наивысшей геохимической энергии живого вещества». Геохимическая сущность почвообразования заключается в разложении органических веществ микроорганизмами. Эти процессы наиболее интенсивны во влажных тропиках и слабы в тундре. Разлагая остатки растений и животных, микроорганизмы выделяют в почвенные растворы CO₂, органические кислоты и другие высокоактивные химические соединения. Корни растений, как насос, перекачивают некоторые химические элементы (P, S, Ca, K, многие микроэлементы) из нижних горизонтов в верхние. В результате такой биогенной аккумуляции создается возможность обогащения этими элементами верхних горизонтов почв и улучшения среды существования следующих поколений высших растений. Биогенное накопление Be, Co, Ni, Zn, Ge, As, Cd, Sn и др. редких элементов в гумусовом горизонте лесной почвы впервые обнаружил в 30-е годы прошлого столетия В.М. Гольдшмидт. Позднее эти же явления были обнаружены и в других типах почв. Кроме того, почва является составной частью коры выветривания. Суть различия в том, что почва (даже если рассматривать её как составную часть коры выветривания) – это та её часть, которая в наибольшей мере изменена биогенными процессами и приобрела новую качественную специфику. В ней значительная доля объёма приходится на органические вещества и продукты их разложения. Биогенной является даже значительная часть минерального вещества. В почвах, в отличие от кор выветривания, постоянно действует двойной механизм вертикального перераспределения вещества. Поглощение растениями химических веществ идёт из всего объёма почвы (частью и из подпочвенных слоёв), а аккумулируются они

лишь в верхнем слое, где происходит накопление растительных остатков. В то же время, наряду с биогенной аккумуляцией, направленной снизу вверх, идёт и общая для почв и кор выветривания нисходящая миграция водных растворов. В верхнем горизонте могут господствовать кислые условия, в нижнем – щелочные; или в верхнем окислительные, в нижнем – восстановительные. Иное распределение элементов наблюдается в солончаках, болотных, луговых и иных супераквальных (надводных) почвах низин. В них наряду с биогенной аккумуляцией и выщелачиванием происходит накопление химических элементов из грунтовых вод.

Примером реакции ионного обмена в почвах может быть реакция обменной сорбции ионов натрия и кальция:



Реакция является обратимой. Протекая в природных ландшафтах слева направо, она ведёт к засолению почв, смене кальциевого ППК на натриевый (образование солонцов). При естественном рассолении солонцов идёт обратная реакция. Её можно вызвать и искусственно, проведя гипсование почв и создав в системе избыток растворимого кальция.

С геохимических позиций сущность почвообразования состоит в окислительно-восстановительных реакциях. Разложение органических веществ это окислительно-восстановительный процесс, так как углерод. Водород и другие химические элементы, входящие в состав органических соединений, при их разложении окисляются до простых неорганических соединений, а главный окислитель – кислород в этом процессе восстанавливается. Окислителями и восстановителями могут быть железо, марганец и другие элементы. Для всех почв характерна окислительно-восстановительная зональность, которая наиболее наглядна, когда в почве окислительная обстановка вниз по разрезу сменяется восстановительной – глеевой или сероводородной. Это характерно для многих болотных, луговых, солонцовых и других супераквальных почв. Главным элементом и индикатором подобной зональности является железо ($\text{Fe}^{2+} \leftrightarrow \text{Fe}^{3+}$). Окислительно-восстановительная зональность может проявиться и в полностью восстановительной (окислительной) среде. Например, резко восстановительная обстановка в нижних горизонтах болотных почв выше сменяется менее восстановительной. К микроэлементам индикаторам окислительно-восстановительной зональности относятся Cu, Mo, Ag, Sn, Au, Hg, U. Во многих аридных почвах, особенно в пустынях и сухих степях, господствует окислительная обстановка и окислительно-восстановительная зональность выражается в смене резко окислительной обстановки на слабо окислительную.

Таким образом, окислительно-восстановительная зональность является характерной особенностью всех почв. Она отражает важнейшие биогеохимические особенности этих биокосных систем. Окислительно-восстановительная зональность в почвах является моделью более грандиозных процессов, протекающих в других биокосных системах, в том числе, биосфере в целом. Преимущество почв как модели состоит в том, что окислительно-восстановительная зональность в них проявляется в пределах 1-2 метровой толщи, в то время как, например, в коре выветривания подобная зональность распространяется на десятки метров, а в биосфере в целом – на километры и десятки километров.

Геохимический анализ почвообразования позволяет выделить 3 основных ряда почв.

Почвы первого ряда – с окислительной обстановкой. Они образуются там. Где атмосферный воздух легко проникает в почву, при этом грунтовые воды залегают глубоко. Это горные почвы, многие водораздельные почвы равнин. К ним относятся черноземы, красноземы, каштановые почвы, буроземы, большинство почв пустынь и тд. В.В. Докучаев объединял их в особый класс «сухопутно-растительных почв». Позднее для них были предложены термины «автоморфные» или «элювиальные» почвы. В них окислительно-восстановительная зональность проявляется в условиях окислительной среды.

Почвы второго ряда - с глеевой обстановкой. Пользуются огромным распространением на заболоченных равнинах в районах влажного климата. В глеевых почвах часто содержится растворимое органическое вещество, в том числе. Различные органические кислоты, которые образуются при неполном окислении растительных остатков.

Почвы третьего ряда – с восстановительной сероводородной обстановкой распространены не столь широко. К ним относятся некоторые солончаки и многие другие почвы.

В пределах рядов выделяются черноземные, подзолистые, бурые, лесные, коричневые, сероземные, красноземные и другие типы почв. Размещение их подчиняется климатической зональности.

8.1 Экологическая геохимия илов

При геохимической систематике илов А.И. Перельман главное значение придает особенностям их верхнего горизонта, являющегося центром данной биокосной системы. Им выделяются 3 ряда илов: окислительные, глеевые и сероводородные (сульфидные).

Окислительные илы образуются в океанах, морях, озерах и реках – всюду, где господствуют кислородные воды и создаются условия для перемешивания вод. В морях и океанах окислительная среда характерна для прибрежных их частей, а также, хотя это и может показаться на первый взгляд странным, - для больших глубин. Там очень мало органических остатков, а холодная вода морских глубин гораздо богаче растворенным кислородом, чем теплая. Окислительные илы имеют преимущественно желтую, бурую, красную окраску, обусловленную присутствием трехвалентного железа.

Глеевые илы особенно характерны для озер районов влажного климата. Здесь разлагается много органического вещества, сульфатов же в водах мало. В результате чего развивается глеевая обстановка. Трехвалентное железо и четырехвалентный марганец восстанавливаются, в связи с чем такие илы приобретают сизую, зеленоватую, серую, охристо-сизую окраску. В глеевых илах не хватает кислорода для окисления органических веществ, поэтому их разложение резко замедляется. В лесной зоне постепенно накапливается сапрпель - «гнилой озерный ил». Он богат органическими соединениями, среди которых обнаружены белки, витамины и другие биологически активные вещества. Сапрпель используется как местное удобрение, подкормка для домашних животных и как лечебная грязь.

Сероводородные (сульфидные) илы широко распространены в морях и океанах, озерах степей и полупустынь, где преобладают сульфатные воды. В них развивается десульфуризация, в результате чего вырабатывается сероводород и образуются сульфиды железа и других металлов. Илы имеют серый, черный и синеватый цвет за счет тонкорассеянных сульфидов. Сульфидные илы соленых озер степей и пустынь используются как лечебные грязи.

Илы, как и почвы, подчиняются климатической зональности. Например, окислительные илы мелководий полярных морей отличаются по составу от окислительных илов мелководий тропиков. Глеевые илы тундровых ландшафтов отличаются от глеевых илов влажных тропиков. В них резко различны и скорость разложения органических остатков, и состав самих остатков (флора и фауна). Это позволяет выделять типы илов холодного, умеренного и жаркого географических поясов. Размещение илов на материках также подчиняется общей климатической зональности. Хотя зоны илов значительно шире почвенно-растительных зон.

Концентрация элементов в илах в основном происходит из вод соответствующих бассейнов с последующим перераспределением во время диагенеза. С этим связано, например, накопление U, Mn, Au, W, Sn, TR в черных сланцах венда, а также в фосфоритах. С осаждением железа и меди в илах на дне бассейнов в местах разгрузки подземных вод связывают образование железных и медных руд.

8.2 Экологическая геохимия кор выветривания

Корой выветривания называются рыхлые продукты изменения горных пород, образующиеся под почвой, в том числе, и за счет поступающих из нее растворов. Б.Б. Польшов различал остаточную (элювий) и аккумулятивную кору выветривания. Как и для почвы, для нее характерна инфильтрация атмосферных осадков, выщелачивание растворимых соединений, выветривание первичных силикатов с образованием глинистых минералов, формирование профиля, расчлененного на горизонты, окислительно-восстановительная и щелочно-кислотная зональность, геохимические барьеры. Поведение элементов в коре выветривания определяется их химическими свойствами, типом

ландшафта и особенностями развитых на данном участке горных пород. Минералы имеют различную устойчивость к выветриванию, что во многом определяет различную интенсивность миграции химических элементов. Так, амфиболы, особенно щелочные, выветриваются значительно легче. Чем альбит, поэтому натрий амфиболов обладает более высокой миграционной способностью, чем натрий альбита. Если уран входит в состав трудноразрушаемого циркона, его миграционная способность низкая, если в состав урановых слюдок – высокая. Устойчивость минералов к выветриванию зависит и от климата. В аридном (сухом) климате кальцит. Доломит, гипс устойчивы в коре выветривания, а в гумидном (влажном) – неустойчивы.

Для коры выветривания характерны процессы окисления. Железо, марганец и сера в изверженных породах находятся в основном в двухвалентной форме, а в коре выветривания, в трех-, четырех- и шестивалентной форме соответственно. Не менее характерны для коры выветривания и процессы гидратации. Почти все вторичные минералы содержат воду (кристаллизационную, гидратную и т.д.). в районах с засушливым климатом образуются также карбонаты, главным образом, кальцит. Б.Б. Полинов впервые установил ряды выноса химических элементов из коры выветривания, которые впоследствии были дополнены А.И. Перельманом. В коре выветривания помимо хорошо изученной минералогической зональности установлена и отчетливая геохимическая зональность – окислительно-восстановительная и щелочно-кислотная. В геохимической классификации кор выветривания А.И. Перельманом выделены окислительный и глеевый ряды, а для нижних горизонтов некоторых кор выветривания – сероводородный (сульфидный). Классы коры выветривания выделяются по аналогии с классами почв и илов. Особенно широко распространены коры выветривания окислительного ряда. Такие коры выветривания лучше всего изучены и наиболее разнообразны по составу и строению. Сернокислая кора возникает при выветривании пород, богатых сульфидами (в первую очередь, наиболее распространенным из них – пиритом). Окисление сульфидных минералов при участии тионовых бактерий приводит к появлению свободной серной кислоты, а, следовательно, к резкому понижению pH среды. Начинается «сернокислое выщелачивание», приводящее к высвобождению и вовлечению в процессы миграции ионов цинка, меди, кадмия и других металлов. Подобные коры выветривания лучше всего изучены на сульфидных месторождениях.

Для зон окисления сульфидных месторождений характерны различные геохимические барьеры. Сернокислые растворы, просачиваясь из зоны окисления вниз, реагируют с первичными сульфидами, в результате чего образуются сульфаты металлов и свободный сероводород. При этом в нижней части зоны окисления возникает сероводородный барьер, на котором осаждаются металлы. Образующиеся при этом вторичные богатые сульфидные руды обычно представляют главную ценность многих сульфидных месторождений. При окислении сульфидных руд в известняках образующиеся растворимые сульфаты железа, меди, цинка. Никеля, кобальта и других металлов, взаимодействуя с вмещающими карбонатами, осаждаются на щелочном барьере в виде гидроксидов и карбонатов этих металлов. Зона окисления здесь обогащается вторичными карбонатами и гидрокарбонатами металлов, среди которых особую роль играют малахит и азурит. Месторождения меди в аридном климате почти всегда на поверхности представлены этими минералами. Сернокислые коры образуются также при выветривании пиритизированных глин и сланцев. Кислая кора выветривания образуется во влажном климате. Богатый растительный покров обуславливает здесь интенсивное поступление в кору из почвы углекислого газа, гумусовых кислот и других продуктов разложения растительных остатков. Для нейтрализации кислых продуктов в грунтовом растворе, как правило. Не хватает катионов, и реакция природных вод сохраняется кислой. В нижних горизонтах кислой коры в результате повышения pH на щелочном барьере концентрируются некоторые элементы, выщелоченные из верхних горизонтов. Нейтральная или даже слабощелочная среда здесь обусловлена как принесенными сверху катионами, так и продуктами разложения первичных минералов нижних горизонтов. Это особенно наглядно проявляется при выветривании ультраосновных пород. Из верхних горизонтов таких кор – зон охр и нонтронита- выносятся магний, там существует кислая реакция растворов, а в нижних горизонтах – выщелоченных серпентинитов и зоны дезинтеграции – магний, напротив, осаждается на щелочном барьере в форме магнезита, доломита, магневого монтмориллонита и брусита. Поэтому в результате привноса магния сверху в нижних горизонтах таких кор выветривания возникает щелочной барьер. Следовательно, кислое выщелачивание, удаляя катионы из верхних горизонтов, приводит к появлению щелочной среды в нижних.

На контакте ультраосновных пород с известняками в результате боковой миграции кислых вод, содержащих никель и кобальт, в карстовых полостях происходит сорбция металлов глинами, т.е. совмещаются щелочной и сорбционный барьеры. Так, вероятно. Сформировались некоторые гипергенные месторождения никеля. Всем формам кислой коры присущи общие черты: отсутствие легкорастворимых солей и CaCO_3 , бедность катионами, особенно кальцием, высокая миграционная способность многих элементов в верхних горизонтах и их концентрация на щелочном и сорбционном барьерах в нижних горизонтах. Изучение профиля кор выветривания на гранитах показало, что алюминий, торий, гафний, скандий, церий практически неподвижны. В нижней зоне дезинтеграции энергично выветриваются плагиоклазы с переходом в раствор кальция, натрия, стронция, магния, с чем связано резкое повышение здесь pH. Ортоклазы замещаются гидрослюдами, с чем связан вынос калия и бария. В результате полного замещения полевых шпатов каолинитом происходит выщелачивание большинства микроэлементов. Вынесенные из каолинового горизонта редкоземельные элементы, бор и медь концентрируются в зоне дезинтеграции. А рубидий и цезий – в подзоне гидрослюд. Гидроксиды железа в верхней части профиля обычно сорбируют бор, кобальт, никель, сурьму и другие микроэлементы.

Нейтральная и щелочная кора выветривания широко распространена в сухом климате. Выветривание здесь проникает неглубоко и кора имеет малую мощность. На скальных породах она представлена обломками тех же пород, покрытых корочкой кальцита. Наиболее подвижный и накапливающийся мигрант здесь – кальций, входящий в кальцит и поглощающий комплекс (в виде обменного катиона). Богатство коры выветривания кальцием определяет ее слабощелочную реакцию, низкую миграционную способность железа и алюминия. Во влажном климате такая кора выветривания характерна для первых стадий выветривания известняков.

Кора выветривания глеевого ряда формируется под глеевыми почвами, преимущественно на гумидных равнинах. Кислое глеевое выветривание широко распространено в северной части Западно-Сибирской низменности, где кислая глеевая кора представлена подпочвенными сизыми глеевыми горизонтами, обедненными железом и марганцем. Нейтральная и щелочная глеевая кора выветривания менее распространена. Миграция железа здесь происходит на сравнительно небольшие расстояния и с малой интенсивностью. Лишь марганец энергично мигрирует.

Кора выветривания сульфидного ряда на земной поверхности не образуется, но горизонты с сульфидами местами возникают в нижней части коры окислительного ряда (зона вторичного сульфидного обогащения).

Вопросы для самоконтроля:

- 1.Геохимические особенности педосферы.
 - 2.Геохимические особенности илов.
 - 3.Геохимические особенности кор выветривания.
 - 4.Особенности распределения вторичных ореолов рассеивания в различных по составу пород
- Рекомендуемая литература[2,14,16]

9 ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТОВ

Ландшафт – природный комплекс, сформированный сочетанием определённого геологического строения, рельефа, климата, почв, растительного и животного мира. Геохимия изучает процессы миграции химических элементов в природе, а один из важнейших аспектов функционирования любой природной или природно-техногенной системы – это обмен веществом между её компонентами (то есть как раз аспект геохимический). В качестве основных классификационных единиц Б.Б. Полинов выделил элементарный ландшафт и геохимический

ландшафт. Элементарные ландшафты выделяются им как наиболее целостные системы, в пределах которых внутренние миграционные связи атомов являются более тесными, чем между соседними системами этого же типа. Иначе говоря, миграция химических элементов в большей мере замкнута внутри системы, обмен веществом между её компонентами масштабнее, чем приток вещества извне и отток его в другие системы. Каждый элементарный ландшафт имеет определённый тип рельефа, сформированный на однородном геологическом субстрате и покрытый в каждый момент своего существования определённым растительным сообществом. Эти условия формируют однородность почвы в пределах ЭЛ и, как следствие, приводят к однотипному взаимодействию между горными породами и организмами на всём пространстве данного ландшафта. Один из критериев выделения типа ЭЛ – отсутствие конкретных граничных размеров. Пятно солончака размером 10 кв. м является ЭЛ, т.к. могут существовать и существуют аналогичные системы размеры которых на порядки выше. А кочка на болоте или муравейник – не ландшафты, т.к. их размеры ограничены и варьируют в пределах одного порядка величин. Это, по Б.Б. Польшину – предельные структурные элементы или детали ландшафта. Однотипность ЭЛ определяется устойчиво повторяющимся сочетанием определённых предельных элементов ландшафта.

Классификация элементарных ландшафтов по Б.Б. Польшину.

- элювиальные ландшафты (на плоских водоразделах с глубоким залеганием грунтовых вод, не оказывающих существенного влияния на биологический круговорот); водные связи – прямые нисходящие;
- супераккумулятивные ландшафты – с близким залеганием грунтовых вод, поставляющих в Л различные вещества и оказывающих существенное влияние на химические процессы в Л; преобладают обратные водные связи; подтипы: транссупераккумулятивные и собственно супераккумулятивные (замкнутые понижения со слабым водообменом);
- субаккумулятивные ландшафты – подводные; характерен большой боковой принос материала, не связанного с местным субстратом; водные связи – обратные (как «+», так и «-»)

Выделяются также переходные формы:

- трансэлювиальные (верхние части склонов);
- элювиально-аккумулятивные (нижние части склонов, сухие лога);
- аккумулятивно-элювиальные (замкнутые понижения с глубоким уровнем грунтовых вод).

В зависимости от ведущего типа миграции А.И. Перельман выделил три ряда ландшафтов: абиогенный (с физико-химической и механической миграцией), биогенный (ведущее значение имеет биогенная миграция) и техногенный (все четыре типа миграции при ведущем значении техногенеза).

Биогенные ландшафты – это сложные биокосные системы, в которых почва, кора выветривания, континентальные отложения, грунтовые и поверхностные воды, растительность, животный мир и приземный слой атмосферы тесно связаны между собой миграцией элементов и образуют единое целое. В 40-е годы прошлого столетия выделилось самостоятельное научное направление в изучении ландшафтов – геохимия ландшафта, основоположником которого был Б.Б. Польшин. Самые крупные единицы геохимической систематики ландшафтов – группы, выделяются по характеру фотосинтеза, т.е. особенностям растительного покрова, биомассе и годичной продукции. Различают группы лесных, степных и луговых, тундровых, пустынных и прочих ландшафтов. Группы расчленяются на типы, типы – на семейства. Например, в лесной группе выделяются типы влажных тропиков, тайги и т.д., а в таежном типе, в свою очередь, – семейства северной, средней и южной тайги. Типы и семейства различаются по годичной продукции вещества. В пределах семейств – главная роль принадлежит водной миграции, по особенностям которой выделяются классы геохимических ландшафтов. Различаются ландшафты сернокислого, кислого, содового, кислого глеевого и других классов. Так как химизм природных вод в различных частях одного и того же ландшафта неодинаков (в почвах – один, кора выветривания другой и т.д.), при выделении классов исходят из геохимических особенностей горизонта А водораздельных почв (почвы центра ландшафта). Геохимическая характеристика биогенных ландшафтов складывается из сведений об их биологическом круговороте, водной миграции, геохимических барьерах, зонах выщелачивания, геохимических формулах и т.д. Влажные тропики являются ландшафтами с наиболее интенсивным биологическим круговоротом атомов. Главные условия изобилия жизни – тепло и влага здесь присутствуют в достаточном количестве. Поэтому для влажных тропиков характерно исключительное разнообразие жизни. Здесь сосредоточен большой объем биологической информации. Именно здесь сосредоточена основная биомасса Земли – более 5000 ц/га. Разложение остатков организмов здесь происходит очень быстро и биологический круговорот характеризуется очень большой скоростью. В результате бурного разложения остатков организмов почвенные воды обогащаются углекислым газом и органическими кислотами. В результате на различных горных породах (и на гранитах, и на базальтах и на сланцах и даже на известняках) формируются сходные кислые красные почвы и коры выветривания. Именно во влажных тропиках формируются латерит-бокситовые коры выветривания. В депрессиях рельефа широко развивается оглеение, грунтовые воды нередко относятся к глеевому ряду и кислому классу. В этом процессе важную роль играют железобактерии. Так образуются железистые конкреции. Полного выноса подвижных элементов из почв тропиков все же не происходит, т.к. часть их захватывается организмами и не выходит из биологического круговорота. И все же ландшафт заметно обеднен кальцием. С дефицитом кальция связываются небольшие размеры многих животных. Кремнезем, образующийся при выветривании, выносится из почв и коры выветривания, поэтому грунтовые воды здесь обычно относительно обогащены данным компонентом. В некоторых тропических растениях также наблюдаются повышенные содержания кремниевой кислоты (например, бамбук, полые стебли которого иногда даже содержат довольно крупные стяжения опала). Таким образом, главная геохимическая особенность влажных тропиков, отличающая их от других ландшафтов, – огромная биомасса и ежегодная продукция, исключительно быстрый биологический круговорот. Большинство элементов включается в интенсивную миграцию. Тяжелые металлы мигрируют вместе с органическими веществами в виде органо-минеральных комплексов. Характерна и коллоидная миграция.

Биомасса в пустынях в сотни раз меньше, чем во влажных тропиках, число видов животных и растений намного меньше. Почти полная минерализация органических остатков до углекислого газа, воды и неорганических солей определяет малое содержание восстановителей в почвах и природных водах. В сочетании с чрезвычайно малым количеством атмосферных осадков это приводит к господству окислительной среды и максимальную валентность железа, серы, ванадия, урана и т.д. Только в солончаках развивается восстановительная среда, но такие очаги очень локальны.

Угольная и органические кислоты, в небольших количествах образующиеся здесь при разложении органических веществ, полностью нейтрализуются кальцием, натрием и другим катионами почв и горных пород, поэтому здесь преобладает нейтральная и щелочная среда. Кислая реакция наблюдается только на участках окисления сульфидных и серных руд.

Чрезвычайно малое количество органических веществ в водах определяет малую роль коллоидной миграции и миграции металлов в виде органо-минеральных комплексов. Воды пустынь – это, как правило. Истинные растворы, в которых преобладают элементы с низкой валентностью и большими ионными радиусами (в том числе, бор, молибден, селен, уран) Как справедливо отмечал А.И. Перельман: «Пустыня – это царство низковалентных и крупных ионов. Элементы, образующие многовалентные ионы небольших размеров, малоподвижны.

А.И. Перельман предложил классифицировать наземные ландшафты на основе параметров биомассы и продуктивности. Химические элементы, ионы, соединения, определяющие условия миграции в определенной системе, называются типоморфными (ведущими). Остальные – второстепенные. Число ведущих элементов невелико (наиболее типичные – Ca, H⁺, Fe, S, Cl...). Ландшафты можно типизировать по типоморфным химическим элементам (кальциевые, натриевые, кислые и т.д.). Один и тот же элемент может быть в разных системах типоморфным, либо второстепенным. Fe – типоморфный элемент в таежных болотах, но второстепенный в пустынных ландшафтах (потому что в засушливых обстановках не мигрирует)

9.1 Геохимия техногенных ландшафтов

Одним из важнейших результатов техногенного воздействия на биосферу явилось произошедшее и продолжающееся во многих районах мира изменение наземных природных ландшафтов и их преобразование в ландшафты техногенные. Техногенными называют такие ландшафты, в функционировании которых ведущая роль принадлежит техногенным процессам. При трансформации природного ландшафта в техногенный изменяется не только характер протекающих в нём процессов, но и сама структура ландшафта. Их составными частями являются, наряду с природными компонентами, их техногенные или природно-техногенные аналоги. К их числу относятся техногенные (культурные) почвы, техногенные (в отстойниках предприятий) и техногенно изменённые илы, техногенные коры выветривания (наиболее развиты на эксплуатируемых месторождениях), техногенные водоносные горизонты, техногенные отложения. Структура техногенного ландшафта и характер протекающих в нём процессов в наибольшей мере определяются характером хозяйственного использования соответствующей территории. Поэтому классификация техногенных и техногенно изменённых ландшафтов осуществляется, в первую очередь, на основе этого фактора. Выделяются ландшафты селитебные (жилые), разнообразные промышленные и сельскохозяйственные, (агроландшафты) дорожно-транспортные, лесохозяйственные, рекреационные и т.д. Давайте несколько подробнее рассмотрим наиболее важный для Вас тип техногенных ландшафтов - агроландшафты, протекающие в них техногенные процессы и направления трансформации природных геосистем под их воздействием.

Агроландшафты – особый отряд техногенных ландшафтов, отличающийся от других техногенных тем, что в обмене веществом между компонентами ландшафта ведущая роль принадлежит процессам биологического круговорота химических элементов. В этом агроландшафты принципиально не отличаются от природных биогенных ландшафтов – разница лишь в том, что этот круговорот иначе организован. Минимальная степень трансформации природного биологического круговорота характерна для пастбищ. Наибольшее техногенное влияние испытывают ландшафты, занятые многолетними насаждениями (сады, виноградники). Должна учитываться и степень техногенного загрязнения, оцениваемая по величинам внесения минеральных удобрений и пестицидов.

Техногенную природу в агроландшафтах нередко имеет и химизм вод – как поверхностных, так и в ещё большей мере почвенных и грунтовых. Во многом он зависит от таких факторов, как внесение удобрений и различных агроメリорантов, и потому может принципиально отличаться от химизма вод исходного природного ландшафта. Нередко в их составе могут существенную, даже ведущую роль приобретать компоненты, для которых в природных условиях это не свойственно (нитраты, фосфаты). Агротехногенез, в отличие от большинства других видов техногенеза, имеет свои положительные экологические стороны. Это противодействие минеральному голоданию растений, улучшение водного режима в ландшафтах. Но стремление к максимально эффективному использованию агроландшафтов (под которым с утилитарной точки зрения понимается максимальное производство сельхозпродукции), без учёта всего комплекса экологических процессов, ведёт и к негативным последствиям – развитию загрязнения, деградации ландшафтов. Наиболее традиционными видами агротехногенного воздействия на ландшафты являются агротехническая обработка почвы, внесение в почву минеральных и органических удобрений, почвенных мелиорантов и пестицидов, проведение водной мелиорации (орошение, осушение). Сопутствующими результатами агротехногенеза являются нарушения растительного покрова, которые в предельных случаях могут приводить к развитию процессов пустынной деградации. Рассмотрим далее влияние основных техногенных факторов на агроландшафты и наиболее существенные последствия их воздействия – как прямые, так и косвенные. Агротехническая обработка почвы на протяжении периода вегетации растений проводится многократно – в процессе вспашки, боронования, сева, культивации, внесения удобрений, мелиорантов и пестицидов, сбора урожая. Некоторые виды работ сопровождаются нарушением первичной погоризонтной структуры почвы. В совокупности все процессы обработки имеют следствием уплотнение почвы и (в той или иной степени) её химическое загрязнение. Источниками загрязнения являются истирание рабочих частей сельскохозяйственных орудий, а также выхлопы транспортных средств и утечки ГСМ. При истирании орудий в почву попадают частички легирующих металлов, в результате чего в почвах повышаются содержания таких компонентов, как Mn, Ni, Co, Cr, V. По оценкам специалистов ИМГРЭ (Саеи и др., 1990), концентрации названных металлов в почвах могут возрастать на 10-40%. Другие исследователи (Летувнинкас, 2002) считают эти цифры несколько завышенными, но признают, что такой источник загрязнения, действительно, имеет место. Те же металлы попадают в почвы и с выхлопами. Кроме того, транспортные выхлопы и утечки ГСМ вызывают загрязнение углеводородами и свинцом. Использование удобрений является одним из важнейших агротехнических приёмов. Но, наряду с полезными результатами, использование удобрений нередко вызывает нежелательные трансформации круговорота и баланса химических элементов. Особенно в тех случаях, когда внесение удобрений по объёмам не сбалансировано с их потреблением растениями. В этих случаях внесение удобрений становится серьёзным источником загрязнения почв, сельхозпродукции, поверхностных и грунтовых вод, приземной атмосферы. Кроме того, непродуманное использование определённых видов удобрений может вызывать рост кислотности почв, а это, в свою очередь, ведёт к вымыванию гумуса и других органических веществ, а также микроэлементов. Наиболее экологически опасно накопление различных токсичных элементов и их соединений в подземных и поверхностных водах, что может вызывать различные заболевания при использовании такой воды.

9.2 Биогеохимические провинции

В природе часто возникают ситуации, когда в почве значительно больше каких либо химических элементов (одного или нескольких), чем требуется растению и наоборот. Химический элемент, находящийся в недостаточном количестве для нормального развития растения, называется дефицитным. Добавление подвижных форм дефицитных элементов в среду увеличивает продукцию живого вещества. В разных условиях к дефицитным элементам чаще всего принадлежат азот, фосфор, калий, фтор, бор, йод, медь и многие другие микроэлементы. Чаще всего в дефиците – именно подвижные формы элемента, хотя валовое содержание элемента в почве может быть достаточно высоким. Это обусловлено влиянием внешних факторов геохимической среды: её кислотностью (щелочностью), величиной окислительно-восстановительного потенциала, присутствием других элементов.

Избыток элементов в геохимической среде также может сдерживать развитие растений и снижать их урожайность. Элементы, удаление которых из среды увеличивает продукцию живого вещества, называются избыточными. Чаще всего это хлор, сера, натрий, медь, никель, железо, фтор, алюминий и др.

Таким образом, один и тот же элемент может быть дефицитным в одних условиях и избыточным в других. Резкий дефицит или избыток элементов в среде может приводить к серьёзным заболеваниям растений, животных и человека. Такие болезни А.П. Виноградов назвал биогеохимическими эндемиями, а районы их распространения – биогеохимическими провинциями. Многие тяжелые металлы очень токсичны. Но хорошо известно, что марганец, медь, цинк, кобальт, никель, молибден и другие тяжелые металлы в малых концентрациях необходимы растениям. Диапазон содержания тяжелых металлов в природе очень велик. Например по данным В.В. Ковальского, в почвообразующих породах содержание меди может различаться в 30-60 раз, цинка в 25-170 раз, кобальта – в 2000 раз, марганца – в 20 раз, стронция – в 200 раз, молибдена в 5 раз. При среднем содержании меди в почвах, равном 2,5х10⁻³%, её количество в различных почвах может отличаться в 1500 раз! Если же принять во внимание и почвы, подверженные техногенному загрязнению, - то даже в несколько тысяч раз. Содержание цинка может меняться в почвах в 1000 раз.

Биогеохимическая провинция – это область на поверхности Земли, отличающаяся содержанием химических элементов в почвах, водах и других средах. Следует иметь в виду, что содержание химических элементов в пределах каждой биогеохимической провинции может быть как выше, так и ниже биологического оптимума. В настоящее время, когда природные и техногенные миграционные потоки веществ образуют единый техно-биогеохимический поток, многие ученые объединяют биогеохимические, техногенные и геохимические аномалии в техно-биогеохимические провинции. На территории Украины существуют биогеохимические провинции с дефицитом йода в почвах и кормах; дефицитом и избытком фтора в питьевой воде; избытком и дефицитом меди в почвах; дефицитом кобальта, бора, избытком стронция и т.д.

Таким образом, биогеохимические провинции с пониженным содержанием отдельных элементов связаны с особенностями состава почвообразующих пород. Биогеохимические провинции с повышенным содержанием элементов обычно формируются в районах рудных месторождений. Кроме того, повышенные концентрации некоторых элементов могут быть обусловлены выбросами промышленных предприятий и автотранспорта. Концентраций некоторых элементов отрицательно влияют на живые организмы.

Медь. В концентрациях свыше $60 \times 10^{-4}\%$ токсична для живых организмов. Но есть культуры, нуждающиеся в повышенных количествах этого элемента. Например, чай, который может накапливать меди до 15 мг/кг сухого вещества. При резком недостатке меди (менее $6-15 \times 10^{-4}\%$) нарушаются процессы метаболизма растений, они заболевают: засыхают листья, задерживается развитие корневой системы, проявляется хлороз, у злаков не формируются колосья, у фруктовых деревьев – желтеют листья. У животных наблюдаются анемии, заболевания костной системы. Но и при избыточных количествах меди также наблюдаются анемии, возможны поражения печени. На переизбыток меди растения также реагируют хлорозом, как и на недостаток.

Цинк. В больших количествах (более $7 \times 10^{-3}\%$) токсичен для растений, так как наблюдается угнетение процессов окисления. Недостаток цинка ($3 \times 10^{-3}\%$) приводит к задержке или прекращению роста большинства растений. Заболевают паракератозом свиньи.

Марганец. У многих растений при недостатке марганца (менее $4 \times 10^{-2}\%$) снижается усвояемость йода. Большинство растений при дефиците марганца накапливает железо. У животных и человека развиваются заболевания костной системы, возможно развитие зубной болезни. Избыток марганца, особенно в кислых почвах, (более $30 \times 10^{-2}\%$) приводит к уменьшению содержания железа в растениях и вызывает у них хлороз, проявляющийся в пятнистости листьев.

Бор. Недостаток бора оказывает влияние только на растения, так как животным этот элемент не нужен. При содержании бора в почвах менее $6 \times 10^{-4}\%$ растения, как правило, погибают. Заболевание начинается с гибели точки роста, отмирания корней, у свеклы недостаток бора вызывает гниль сердечка. Избыток бора (более $30 \times 10^{-4}\%$) вызывает заболевания животных и человека (борные энтериты).

Кобальт. Недостаток кобальта в почве (менее $7 \times 10^{-4}\%$) приводит к развитию у растений заболевания – безлепестковая анемона. Систематический недостаток кобальта в пище животных и человека также приводит к тяжелым нарушениям и даже вызывает тяжелые заболевания, обусловленные недостатком витамина B12. Эти заболевания выражаются в разрушении волосяного покрова, нарушении функции печени, приводящем к развитию анемии и малокровия.

Молибден. Остро реагирует на недостаток молибдена (до $1,5 \times 10^{-4}\%$) клевер. Животные, питающиеся растениями, выросшими на почвах с недостатком молибдена, болеют анемией, так как в их организме наблюдается накопление меди. Наоборот, избыток молибдена в кормах является причиной недостатка меди в организме животных и приводит к развитию молибденоза. При недостатке кальция в пище животных высокое содержание молибдена приводит к развитию заболевания – эндемическая атаксия (поражается желудочно-кишечный тракт) и человек страдает эндемической подагрой – заболеванием суставов.

Свинец. Содержится в почвах в небольших количествах (Кларк – $1,6 \times 10^{-3}\%$). Повышенное количество свинца обнаруживается в почвах промышленных зон, особенно вдоль автомагистралей. Повышенное содержание свинца в почвах приводит к накоплению его в растениях. Повышение концентрации свинца в пищевых продуктах свыше 10-4% вызывает токсические явления. Поражаются все органы, но наиболее сильно – нервная система. Для человека токсичной считается суточная доза более 0,35 мг. Нейтрализовать свинец в организме человека можно высокими дозами аскорбиновой кислоты, а предотвратить поступление свинца в растения – внесением мебди в почву.

Йод. Недостаток этого элемента в пище вызывает заболевание эндемичным зобом. Обусловлено это тем, что йод необходим для синтеза гормонов щитовидной железы. Хотя бы один раз в 30-50 дней организм должен получать новые порции йода в количестве 10-15 мг на каждые 70 кг массы тела. Если йод поступает в организм в меньших количествах, щитовидная железа начинает увеличиваться в размерах и образуется зоб. Это заболевание может сопровождаться резким ухудшением умственных способностей. Причем болезнь может поразить человека в любом возрасте. Если же йода не хватает в пище грудного ребенка, то это может вызвать развитие слабоумия, причем кретинизм сопровождается ухудшением деятельности сердца, теряется слух, зрение, слабеют мышцы, наступает стадия идиотии. В настоящее время многие территории Земли относятся к эндемическим по йоду. В России дефицит йода проявляется в Центральноевропейском регионе, Восточной Сибири, на Урале, Северном Кавказе и Крайнем Севере. Для предотвращения этих заболеваний в районах с недостатком йода в почвах необходимо вводить в пищу небольшие порции этого элемента. Однако, здесь необходимо проявлять осторожность, т.к. избыток йода также может привести к заболеванию – базедовой болезни (увеличение щитовидки, пучеглазие, сердцебиение).

Фтор. Недостаток фтора приводит к развитию кариеса, т.к. постепенно разрушается эмаль (в которую входит 0,02% фтора). У некоторых организмов наблюдается деформация костей, их повышенная хрупкость и переломы. Повышение содержания фтора может привести к нарушению функций щитовидной железы. При избытке фтора в пище и воде также возникают заболевания зубов – флюороз (разрушение эмали). У животных наблюдаются явления, усиливающие выделение из организма йода, при этом тормозится активность некоторых ферментов.

Вопросы для самоконтроля:

1. Какие факторы определяют биогеохимическую неоднородность биосферы?
2. Перечислите основные компоненты почв.
3. Охарактеризуйте роль живого вещества в создании почв.
4. Охарактеризуйте процесс почвообразования с точки зрения геохимии.
5. Каковы особенности концентрации и рассеяния химических элементов в почвах в зависимости от климатических условий и рельефа?
6. Какие геохимические барьеры могут возникать в почвах? Приведите примеры.
7. Какие элементы называются тяжелыми металлами? Какое влияние они оказывают на живые организмы?
8. Каковы особенности биогеохимического цикла тяжелых металлов?
9. Каковы основные принципы выделения биогеохимических провинций?
10. Приведите примеры негативного воздействия дефицитных и избыточных количеств химических элементов на живые организмы.

Рекомендуемая литература [4,5,6,7,9,10]

10 ВОДНЫЕ РАСТВОРЫ

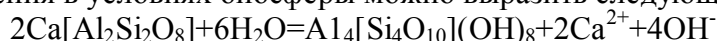
В сумме на долю морей и океанов приходится около 71% земной поверхности. По данным Гольдшмидта, на 1 кв. см. поверхности Земли приходится 273 л природных водных растворов, распределяющихся следующим образом, л (кг): морская вода - 268, 45 (278, 11); пресная вода - 0,1 (0,1); континентальный лед - 4,5 (4,5); водяные пары - 0,003 (0,003). В большинстве случаев именно наличие воды контролирует

развитие живых организмов. Вода является и основным природным растворителем минералов, газов и техногенных соединений. Считается, что в воде взаимодействие между ионами в 80 раз слабее, чем в кристаллах, поэтому для растений и животных облегчено выборочное поступление необходимых им ионов. Все основные свойства воды обусловлены ее структурой, которая окончательно не выяснена, несмотря на существование десятков гипотез. По наиболее принятым из них молекулу воды можно представить в виде равнобедренного треугольника с двумя протонами и одним атомом кислорода в вершинах. При таком строении каждая молекула может участвовать в четырех водородных связях: одной зеркально-симметричной (между молекулярными слоями воды) и трех центросимметричных (внутри каждого слоя). Для структуры воды характерна только ближняя упорядоченность, осложняемая тепловым движением. В процессе растворения часть ионов растворенных веществ соединяется с молекулами воды, образуя так называемые гидратированные ионы. По мере увеличения концентрации такого раствора структура воды (из-за гидратации) все более меняется. Когда же число молей воды, приходящихся на один моль соли, становится равным сумме координационных чисел гидратированных ионов, структура рассола приближается к структуре твердых кристаллогидратов. Это является одной из причин уменьшения растворимости веществ в таких рассолах. Без воды невозможной была бы жизнь организмов. При этом для большинства из них нужна пресная вода, т. е. такая, в одном литре которой содержится сухого остатка меньше 1 г. Такой воды на Земле всего 2% ее общих запасов. Большая часть вод отличается довольно высокой степенью минерализации. Так, в морях и океанах (а это более 70% всей гидросферы) средняя соленость 3,5 г/л, а соленость минерализованных подземных вод континентов доходит до 200 г/л. Считается, что общегодовое потребление составляет около 3500 куб. км и таким образом на одного человека приходится порядка 800 кубометров воды. Около 70% воды, используемой человеком, приходится на долю сельского хозяйства. По данным С. Брылова с соавторами (1985), при выращивании растительной массы в 1 кг лишь на транспирацию (испарение воды растениями) уходит, в зависимости от вида растений и внешних условий, от 150 до 1000 кубометров воды. Более 20% воды используется промышленностью. По данным разных исследователей расход воды на 1 т. готовой продукции составляет, куб.метров: синтетического волокна - от 500 до 5000, хлопчатобумажной ткани - свыше 1000, пластмасс - от 500 до 1000, бумаги - от 400 до 800, никеля - около 4000, меди - 500, нефти - около 18, каменного угля - 2. Очень большое количество воды требуется на охлаждение ядерных реакторов. Для одной атомной станции мощностью 1000 МВт каждую минуту требуется 320 тыс. л холодной воды, а в сутки соответственно около 4, 6 млрд. л. Значительное количество пресных вод, включая питьевую, расходуется на удовлетворение бытовых нужд населения. На одного жителя благоустроенного города приходится около 200 л в сутки. Обеспеченность пресными водами различных регионов крайне неравномерна, и по данным ВОЗ еще в 80-е годы прошлого столетия более 1 млрд. человек страдало от нехватки питьевой воды. В настоящее время ряд стран (Алжир, Голландия, Сингапур и др.) используют привозную воду, а во многих - работают опреснители морской воды. Интенсивное потребление поверхностных пресных вод приводит к изменению их химического состава и загрязнению. Достаточно сказать, что люди, живущие в низовьях Дона, являются уже третьими потребителями одних и тех же вод

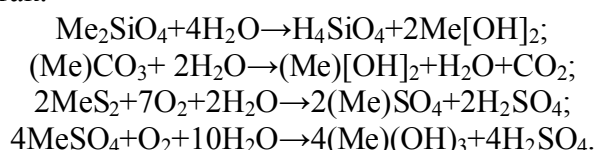
10.1 Водные ресурсы как форма нахождения химических элементов

В производственных водах большинства предприятий обычно содержатся нерастворенные минеральные вещества (от 10 до 900 мг/л), различные нефтепродукты (от 3 до 800 мг/л) и тяжелые металлы в следующих концентрациях, мг/л: Fe — от 0,5 до 500; Cr - от 0,07 до 95; 2п - от 0,1 до 15; Ni - от 0,01 до 3,6; Cu - от 0,15 до 32; Pb - от 0,01 до 5. В число особо токсичных веществ, производственных вод входят цианиды (0,5 - 10 мг/л), фенолы (до 45 мг/л), Cr⁶⁺. Среди нерастворимых соединений наиболее распространены SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃. В последнее десятилетие стала увеличиваться концентрация в производственных водах Ag, Cd, Sn и ряда рассеянных элементов. Бытовые воды отличаются повышенным содержанием различных органических соединений, а часто и более широким развитием коллоидной формы нахождения химических элементов. Загрязнение атмосферными водами происходит в основном за счет веществ, смываемых дождевыми и снеговыми водами с твердой поверхности биогенных и техногенных ландшафтов. Особое загрязнение вызывается водами, поступающими с сельскохозяйственных угодий. С ними поступает большое количество удобрений, что приводит к эвтрофикации рек, водохранилищ, озер, прудов, каналов, а затем - к возникновению целого ряда геохимических барьеров, на которых происходит накопление Cu, Cr, Mo, U, V и ряда других элементов.

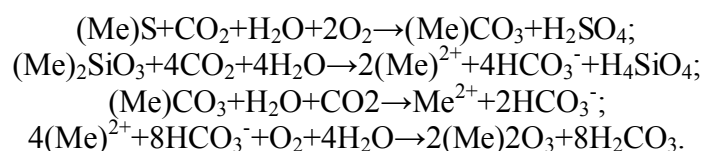
Для одних и тех же атомов водорода и кислорода вода не является постоянной формой нахождения. Разложение воды происходит в условиях биосферы и при процессах химического выветривания минералов. К числу наиболее распространенных среди них относятся силикаты и, в частности, плагиоклазы. Их изменения в условиях биосферы можно выразить следующей реакцией:



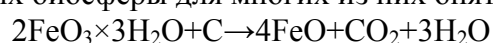
Выветривание других силикатов, а также сульфидов, карбонатов, сульфатов тоже идет с разложением воды. Обозначив металлы через «Me», эти реакции можно представить в общем виде так:



Существенное влияние на растворимость минералов оказывает широко распространенная в биосфере углекислота. Однако и в ее присутствии продолжается разложение воды:



Этот процесс идет в биосфере и при образовании (за счет выветривающихся минералов магматических пород) карбонатов, гидрослюдов, глин. По данным Перельмана, количество разложившейся, а затем связанной воды составляет для глин не менее 15-20% их массы. Довольно распространенными процессами разложения воды являются радиолиз и гидратация. Последняя может идти с участием бактерий. Процессов синтеза воды в биосфере меньше, чем приводящих к ее разложению. Прежде всего, выделение воды происходит при разложении органических веществ путем окисления. Считается, что вода выделяется в объеме, равном объему воды, разложившейся при фотосинтезе этих веществ. Однако следует помнить, что значительная масса органических соединений (примерно 3×10^{15} т) захоронена в литосфере неокислившись, а это существенно нарушает теоретический баланс вод. Для наглядности такую массу органики. Некоторое количество воды выделяется и при определенных восстановительных реакциях, но в условиях биосферы для многих из них опять же необходимо органическое вещество:



Таким образом, в пределах биосферы, существование которой невозможно без воды, преобладают процессы ее разложения. Состояние воды в биосфере и состав природных растворов. Зона жидких структурированных вод имеет наибольшее значение для живых организмов, а приходящиеся на ее долю воды составляют более 95% объема гидросферы. Она включает воды Мирового океана, поверхностные и подземные воды суши, отличающиеся друг от друга по составу и виду существования растворенных веществ. Наиболее распространенными в водных растворах являются ионы. Это обусловлено тем, что распад на ионы происходит при растворении минералов не только с ионной, но и с другими видами связи в кристаллических решетках. Так как живые организмы (особенно растения) наибольшее количество элементов получают в форме водных растворов, то можно считать одной из важнейших эколого-геохимических закономерностей то, что живые организмы в процессе своего развития потребляют химические элементы в основном в виде ионов. Значительная часть ионов в растворах

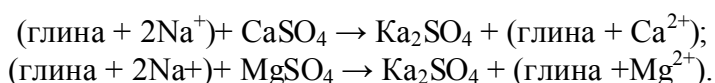
связана с молекулами воды (гидратированные ионы). Количество молекул воды пропорционально размеру гидратированных ионов, а сила связи между ними увеличивается с уменьшением радиуса иона. Довольно много элементов (особенно токсичных редких и тяжелых металлов) переносится в природных водах в виде комплексных соединений. Часть химических элементов находится в природных водах в виде молекул. В первую очередь это растворенные в воде газы. Наибольшее значение для живых организмов имеют молекулы кислорода, поступающие в воды из атмосферы, а также за счет фотосинтеза водных растений. Расходуется кислород при дыхании живых организмов, а также при окислении различных веществ, главным образом органического детрита. По данным Ветенберга, в верхнем слое океанической воды содержание растворенного кислорода колеблется от 7,6 до 4,3 куб. см/л. Относительное насыщение вод кислородом - от 10 до 9%. Во всех океанах есть и промежуточный слой с минимальным содержанием этого газа 5,2 - 0,7 куб. см/л, что в настоящее время объясняется биохимическими процессами. Содержание в воде Ag, He, Ne всегда близко к насыщению и не зависит от глубины. Средняя общая концентрация CO₂ в морской воде – 2,3 ммоль/л. Распределение молекул газов в воде озер и водохранилищ зависит от их вертикальной устойчивости. Обычно периодами циркуляции являются весна и осень. Летом часто возникает поверхность разрыва, выше которой вода перемешивается и обогащается O₂, а ниже - расслоена и не перемешивается. В результате в придонных слоях воды молекулы O₂ могут практически отсутствовать, но возможно появление H₂S, H₂, CH₄. Такая обстановка способствует появлению в донных отложениях сульфатов, сульфидов и свободной серы. При отсутствии техногенного загрязнения, даже в крупных равнинных реках на большей части их протяжения, идет перемешивание слоев воды и их обогащение кислородом. В последнее время сброс в реки около крупных городов значительного количества органических соединений приводит к обеднению вод растворенным кислородом; в донных отложениях и придонных слоях воды возникает бескислородная, глеевая обстановка.

Можно считать, что антропогенные процессы в целом приводят к увеличению коллоидной формы нахождения элементов. Наибольшие площади с постоянной техногенной нагрузкой занимают сельскохозяйственные угодья. Так вот, даже самый легкий в стране трактор «Беларусь» после обработки 1 га земли оставляет после себя 13-14 т пыли. Ее легкие частицы очень быстро поднимаются в воздух, образуя аэрозоли. Частицы, сорбирующие тяжелые металлы, во многих случаях начинают преобладать на полях. За счет этого процесса (при равных прочих условиях) происходит обогащение гумусового горизонта многими тяжелыми токсичными металлами. В Ростовской области таким путем на каждом квадратном километре в верхнем 30-сантиметровом слое почвы в среднем накопилось 7,8 т только Pb.

Источником аэрозолей, образовавшихся за счет техногенеза, являются не только с/х угодья. Огромное количество дисперсных частиц и капель выбрасывается в атмосферу различными предприятиями, расположенными в городах. Так, в 1 кубометре воздуха только среднее содержание сажи и капель серной кислоты (каждого вещества отдельно) над городами страны в 1988 г. Было примерно равно общему количеству всех природных аэрозольных частиц в 1 кубометре атмосферы. Количество пыли (без сажи) превосходило этот показатель на порядок. В крупных городах с населением 1 млн жителей и больше концентрация дисперсной фазы обычно на порядок выше средней величины.

10.2 Ионный обмен в водных растворах

При ионной адсорбции на минеральных адсорбентах в природных условиях часто происходит так называемый ионный обмен, или обменная адсорбция ионов. Суть ее состоит в том, что практически нерастворимые в воде твердые частицы дисперсной фазы обладают не только обычной для коллоидов способностью поглощать из водных растворов (дисперсионной среды) катионы или анионы, но и одновременно выделять в раствор эквивалентное количество анионов других элементов. Ионный обмен идет более интенсивно при высокой концентрации обменивающихся ионов в дисперсионной среде (водном растворе). Коллоиды почв, минералов и горных пород практически всегда содержат обменные катионы. Их общее количество (емкость поглощения) обычно составляет несколько процентов и зависит от энергетического состояния ионов на поверхности частиц, которое отличается от состояния этих ионов в кристаллической решетке. Как пример ионного обмена можно рассмотреть процесс умягчения воды, происходящий в присутствии алюмосиликатов, образовавших дисперсную фазу. Частицы минералов поглощают Ca²⁺ и Mg²⁺ из сульфатно-кальциевых (магниевого) подземных вод, «обменивая» их на катионы Na⁺. В виде обобщенных формул это можно представить так:



Широкое распространение ионный обмен получил в процессе почвообразования, а также формирования химического состава многих минеральных вод и лечебных грязей.

Коллоидная форма менее устойчива в природных условиях, чем другие формы. Однако это не мешает перемещаться дисперсным частицам (и сорбированным на их поверхности веществам) на большие расстояния. Аэрозоли переносятся в тропосфере на десятки тысяч км; это и природные коллоиды (пыльца растений, споры бактерий и плесени), и техногенные. Велика дальность миграции коллоидов, переносимых в водах рек. Однако все эти примеры миграции второго типа (перемещение элементов без изменения форм нахождения). Гораздо чаще с коллоидными системами связана миграция первого типа (изменение формы нахождения), обуславливаемая их устойчивостью. Процесс, приводящий к уменьшению числа дисперсных частиц в единице объема, называется старением. В одних случаях старение происходит уже в первые часы, в других - коллоиды сохраняются десятилетиями. Рассмотрим основные факторы устойчивости коллоидных систем.

1. Под влиянием силы тяжести происходит оседание (седиментация) всех коллоидных частиц, независимо от их природы.
2. В случае растворимости частиц возможна перекристаллизация системы, растворение мелких и рост более крупных частиц. У последних возрастает скорость седиментации.
3. За счет слипания (коагуляции) идет быстрое увеличение их размеров. В присутствии электролитов скорость процесса возрастает. К числу, хотя и слабых природных электролитов можно отнести морские воды. Вот почему значительная часть коллоидов оседает в устьях рек.

Вопросы для самоконтроля:

1. Водные растворы как форма нахождения химических элементов. Роль водных растворов в хозяйственной деятельности человека.
2. Расскажите об особенностях коллоидной и сорбированной форм нахождения химических элементов.
3. Что представляет собой процесс адсорбции молекул и ионов? Расскажите об ионном обмене в водных растворах.

Рекомендуемая литература[2,11]

11 ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИ ТЕХНОГЕННЫХ ПРОЦЕССАХ

С появлением человека и развитием человеческого общества в биосфере появляется качественно новый и самый сложный тип процессов – техногенез. Под техногенезом понимается воздействие хозяйственной деятельности человека во всех её формах на природную среду. Особенно быстро возрастает роль техногенеза в последние два столетия (с начала промышленной революции). При этом техногенез не просто «дополняет» уже имевшийся ранее круг процессов, протекающих в биосфере. Налицо всё возрастающее влияние техногенеза и на собственно природные процессы, рост техногенной нагрузки на природные системы, вплоть до биосферы в целом. В результате техногенного воздействия биосфера трансформируется и переходит в новое качество. Систематические исследования техногенного влияния на биосферу начались (и у нас, и за рубежом) только с 50-х годов XX в.

Рассмотрим, что представляет собой техногенез с точки зрения прямого вклада в основные биосферные процессы и геохимию биосферы – процессы обмена веществом и энергией. В общем виде мы можем говорить, что в процессах своей техногенной деятельности человек осуществляет извлечение вещества из одних природных геосистем, и перемещает их в другие системы, где может происходить их накопление. Для осуществления этих процессов необходимо использовать какую-то энергию. Главным образом, человек в своей деятельности использует ту же самую энергию, которая используется и в природных процессах - преобразованную энергию Солнца. Но формы её использования значительно более разнообразны. В том числе, очень широко используется та солнечная энергия, которая была аккумулирована в прошлые геологические эпохи в составе горючих полезных ископаемых (угля, нефти, горючих газов). При их сжигании, энергия, затраченная многие миллионы лет назад на образование органического вещества, высвобождается в тепловой форме. Это оказывает прямое влияние на энергетический баланс в биосфере. Используются и эндогенные источники энергии, в том числе и энергия радиоактивного распада, применение которой в таких масштабах чуждо биосфере, и возможные последствия её применения ясны ещё далеко не в полной мере.

В информационном аспекте техногенез означает возникновение большого числа новых объектов и расширение числа связей между ними, резкое увеличение информации, скоростей и способов её распространения. Даже несмотря на то, что объём биологической информации в техногенных ландшафтах, как правило, уменьшается (даже в сельскохозяйственных, так как на пшеничном поле или в банановой плантации разнообразие меньше, чем было в существовавших ранее на их местах природных ландшафтах). Но эта потеря биологической информации многократно перекрывается ростом информации техногенной. В целом техногенные ландшафты в информационном отношении намного разнообразнее природных.

Эколого – геохимические проблемы, порождаемые техногенезом. К ним относится проблема химического загрязнения природных сред. Загрязнёнными считаются такие биокосные системы, в которых в результате привноса избыточных количеств каких-либо химических веществ оказываются нарушенными биогеохимические функции живого вещества, пищевые цепи, снижается количество биологической продукции и её разнообразие. При значительных масштабах загрязнение приводит к техногенной трансформации природной системы или даже к её разрушению.

Проблема теплового загрязнения биосферы. Один из результатов техногенеза – рассеяние значительной части используемой энергии в тепловой форме. Главная причина в том, что огромные объёмы солнечной энергии, аккумулированные в горючих полезных ископаемых за многие сотни миллионов лет, мы «вбрасываем» в биосферу в течение очень узкого промежутка времени. Исторически доля рассеянной энергии относительно общего количества используемой в техногенезе, снижается благодаря появлению более эффективных технологий. Но в абсолютном выражении количество рассеиваемой тепловой энергии растёт. В больших городах уже сейчас доля техногенного разогрева атмосферы составляет 5% от объёма поступающей солнечной радиации. Есть оценки, что увеличение мирового производства энергии на 5-10% в год без изменения структуры энергопользования приведёт к тому, что через 100-200 лет баланс техногенного тепла сравняется с балансом солнечной радиации.

Проблема вероятного роста парникового эффекта. Его основная техногенная причина – увеличение содержания в атмосфере парниковых газов, в первую очередь CO₂., значительные объёмы которого поставляются в результате сжигания топлива и других видов промышленной деятельности.

Проблема запыления атмосферы в результате выбросов предприятий и других видов промышленной деятельности. Это ведёт к уменьшению притока солнечной радиации к поверхности Земли, что также меняет энергетический баланс в биосфере.

Проблема уменьшения общего количества биомассы и биоразнообразия в биосфере Земли в результате смены природных ландшафтов техногенными на обширных территориях. Это влечёт за собой очень широкий спектр изменений хода различных биосферных процессов.

Во многих случаях влияние техногенеза на биосферные процессы не поддаётся точному прогнозу. Нередко различные техногенные факторы оказывают противоположные воздействия. Например, парниковый эффект вызывает повышение температуры в приземной атмосфере, а запыление атмосферы ведёт к её снижению. Влияние какого из факторов окажется существеннее, предсказать сложно, так как механизмы их воздействия изучены пока недостаточно.

Рассматривая влияние техногенеза на биосферу, можно выделить два основных типа процессов:

Собственно техногенные процессы, не свойственные биосфере. К ним можно отнести производство веществ, не существующих в природе, перемещения вещества, подчиняющиеся социальным законам, создание техногенных объектов, не имеющих природных аналогов, использование атомной энергии и т.д.

Техногенно трансформированные биосферные процессы. Это любые процессы перемещения и преобразований вещества и энергии, которые продолжают осуществляться в целом в тех же формах и по тем же законам, что и в природе, но их ход так или иначе изменён в результате техногенного влияния. В целом, поиски решения проблем, порождаемых техногенезом, могут лежать лишь в русле разумного регулирования техногенной деятельности. Этот путь получил название оптимизации техногенеза. Её основные направления. Оптимизация биологического круговорота (рациональное использование минеральных и органических удобрений). На этом пути впервые в истории Земли именно человек смог наиболее эффективно противодействовать неблагоприятным тенденциям в эволюции ландшафтов. Оптимизация круговорота воды (осушение и орошение, защита вод от загрязнения). Реальная оптимизация возможна только на основе глубокой научной проработки. Попытки решать такие вопросы без всего необходимого комплекса экологических исследований, напротив, могут порождать новые и более сложные проблемы (Кара-Богаз-Гол, Арал). Разработка и внедрение безотходных и малоотходных технологий. Комплексное использование сырья. Оценить влияние деятельности конкретных загрязнителей, даже если это крупные территориально-промышленные комплексы, на биосферу в целом практически невозможно. Биосфера слишком велика и происходящие в ней техногенные изменения являются следствием деятельности всего человечества на разных участках нашей планеты. В связи с этим изучать последствия деятельности конкретных загрязнителей следует в геохимических ландшафтах, составляющих биосферу и являющихся (как и она) биокосными системами. Необходимо еще раз особо отметить, что вся биосфера, представляя собой громадную природную биокосную систему, не является чем-то неизменно постоянным. Это убедительно доказывается данными палеонтологии, исторической геологии и геохимии. Во многом изменения, происходящие в биосфере, связаны с эволюцией земной коры. За время развития нашей планеты увеличилась мощность гранитного слоя, уменьшился суммарный объём вулканогенных образований, возросла роль континентального осадконакопления и т.д. Изменились даже концентрации определенных элементов на отдельных участках земной коры, т.е. можно говорить об изменениях направленности процесса «концентрация-рассеяние». Наибольшая информация об этом получена при изучении глобальных процессов минералообразования и истории формирования многих месторождений полезных ископаемых.

По мнению Н.П. Лаврова, формирование урановых месторождений началось только после среднего архея. Это явление могло оказать большое влияние на развитие верхних оболочек Земли, так как уран является одним из двух (U и Th) природных концентрирующихся радионуклидов, остальные находятся в ультрамалых количествах (Н.А.Титаева, 1992). Еще один пример - магний: в послепалеозойское время произошел процесс затухания доломитообразования. Доломиты (CaMg [CO₃]₂), являющиеся преобладающими карбонатными породами в протерозое, постепенно вытеснялись из формировавшихся осадочных пород известняками, состоящими преимущественно из кальцита (CaC₃). Это также, несомненно, сказывалось не только на составе верхних оболочек, но и на развитии организмов. Подобных примеров можно привести много.

В целом можно говорить, что в истории развития Земли происходили весьма существенные изменения концентраций многих химических элементов, находящихся в форме водных растворов, газовых смесей, в минеральной форме. Иногда этими изменениями были охвачены лишь отдельные, довольно большие участки планеты, в других случаях - вся ее поверхность. Безусловно, все это изменяло и общую экологическую обстановку. Однако не всегда можно говорить о природных катастрофических изменениях. Вероятнее всего, это связано с получившим довольно широкое развитие в природе постепенным (во времени и пространстве) течением указанных процессов. Резкое увеличение эколого-геохимической значимости техногенных процессов последних десятилетий позволяет сравнивать деятельность людей с

глобальными геологическими и геохимическими явлениями. Однако, если не учитывать довольно редкие планетарные природные катастрофы, скорость техногенных изменений резко превышает скорость природных. При этом многие организмы не могут приспособиться к новым условиям. Тогда начинаются процессы мутации и вымирания определенных видов животных и растений.

11.1 Основные виды антропогенных изменений в биосфере

Изменений, происходящих в биосфере под воздействием различных антропогенных процессов, великое множество. Назовем только некоторые из них: перемещение громадного (сравнимого с планетарной деятельностью рек) количества горных пород и почв; изменение концентраций целого ряда химических элементов на больших площадях в почвах, водах, живых организмах; изменение климатических условий как в региональном, так и планетарном плане, связанное с техногенным увеличением в атмосфере CO₂, ряда углеводородов, фреонов, озона, а также со строительством гигантских водохранилищ, осушением болот и уничтожением лесов и т.д. Эти эколого-геохимические изменения приводят в свою очередь к болезням, мутациям и гибели определенных видов живых организмов. Не обошли стороной они и человека.

Невольно возникает вопрос: возможно ли по единой методике оценить столь различные по размерам и последствиям техногенные (а желательно и природные) изменения, происходящие в биосфере, и если возможно, то как?

Чтобы ответить на поставленный вопрос, необходимо в первую очередь систематизировать эколого-геохимические изменения, происходящие в биосфере. Подходя к данной проблеме с позиций миграции - концентрации химических элементов, автор данного учебника предложил (1982) объединить все важнейшие изменения в четыре основных вида:

- 1) изменения концентрации химических элементов (их соединений) в пределах отдельных частей биосферы;
- 2) изменения формы нахождения химических элементов (и даже видов соединений элементов при одной и той же форме их нахождения) в пределах отдельных частей биосферы;
- 3) появление на отдельных участках в больших количествах техногенных соединений, практически не имеющих природных аналогов или не характерных для данных природных условий;
- 4) механическое перемещение значительных масс химических элементов (они могут находиться в различных формах и образовывать различные виды соединений) без существенного изменения формы нахождения составляющих их химических элементов.

Все четыре перечисленных вида изменений можно оценить не только качественно, но и количественно. Таким образом, появилась реальная возможность проводить оценку состояния окружающей среды и происходящих в ней природных и, что особо важно, антропогенных изменений на количественной основе с позиций перемещения и концентрации химических элементов (их соединений).

Следует отметить, что любая количественная оценка изменений, происходящих в геохимических ландшафтах, должна проводиться с учетом форм нахождения химических элементов. Это дает возможность охарактеризовать такие на первый взгляд различные явления, как загрязнение через атмосферу природных территорий, загрязнение рек в результате сброса сточных вод, вырубку лесов и т.д.

Вопросы для самоконтроля:

1. Геохимические особенности при техногенезе.
2. Вторичные ореолы при техногенезе.
3. Основные виды антропогенных изменений в биосфере.
4. Экологические проблемы при вторичном загрязнении.

Рекомендуемая литература [1,2,5,16]

12 ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ БИОСФЕРЫ

12.1 Общие требования к оценке процессов и явлений

При оценке любого явления или процесса необходимо выполнение самых общих требований. Отметим некоторые из них:

- оценка должна быть объективной, а с этим самым простым требованием связаны и два последующих.
- если оценка производится объективно, она должна быть при аналогичных внешних условиях воспроизводимой. С выполнением этого требования связан мониторинг окружающей среды. Если не происходит никаких последующих изменений, то результаты повторной оценки должны практически полностью совпадать с результатами первой. Если же (с выполнением условия воспроизводимости) результаты различаются, то отличия можно считать изменениями, происшедшими в окружающей среде за период между первой и последующими оценками состояния одного и того же изучаемого участка биосферы.
- при выполнении условий объективности и воспроизводимости оценку состояния окружающей среды целесообразно осуществлять по единой методике. Эта методика должна обеспечить выражение оценки в единых общепринятых единицах измерения, а также возможность отражения полученной информации в виде специального картографического материала.
- реализация трех предыдущих требований почти автоматически приводит к выполнению еще одного: результаты проводимой оценки определенного участка биосферы (геохимического ландшафта, или их группы) должны быть конкретными, легкодоступными для восприятия, наглядными.

12.2 Требования к оценке биосферных процессов

Перечисленные общие требования касаются оценки любых явлений или процессов, проводимой на современном уровне. Однако эколого-геохимическая оценка состояния биосферы требует выполнения еще целого ряда специфических условий. Рассмотрим кратко важнейшие из них.

1. Как уже отмечалось, и сама биосфера, и составляющие ее геохимические ландшафты являются очень сложными биокосными системами. Это необходимо учитывать при любых исследованиях, проводимых для оценки биосферных процессов, а тем более для оценки состояния самой биосферы или ее отдельных частей. Все живые организмы, объединенные в биогенную форму нахождения химических элементов, весьма существенно отличаются от косного (неживого) вещества. В связи с этим при любой оценке состояния биокосных систем (даже при подсчете общих масс химических элементов) биогенная форма нахождения должна рассматриваться отдельно. Однако в составе геохимических ландшафтов (а при оценке состояния биосферы рассматриваются изменения, происходящие именно в них) находятся и такие самостоятельно обособляющиеся биокосные системы, как почвы, подземные и поверхностные воды, атмосфера. Данные системы также должны подвергаться самостоятельному изучению. Все это в сумме требует в обязательном порядке комплексности исследований при проведении работ по оценке состояния биосферы.

Отсутствие комплексности исследований может привести к получению вместо объективной информации - дезинформации. Особенно большие ошибки могут появиться при оценке последствий недавно начавшихся техногенных процессов. В этих случаях скорость проявления

их последствий в различных частях ландшафтов может быть резко различной. Изучение только отдельных частей может дать информацию, по которой будут приняты неправильные решения. Рассмотрим это на самом простом примере.

На новом химическом предприятии в качестве отстойника использовался перегороженный дамбой овраг. Анализ почв и растительности в ландшафтах, окружающих отстойник, проведенный через два года после пуска первой очереди предприятия, не дал основания для беспокойства. После введения в эксплуатацию последующих частей предприятия были заполнены подобные отстойники на соседних участках. Состав подземных вод из-за высокой стоимости работ, связанных с бурением скважин, не изучался. Еще через три года в ландшафтах у первого отстойника была отмечена смена растительности. Повторно проведенные исследования показали чрезвычайную степень загрязнения почв и растений рядом токсичных соединений, связанных с накоплением отходов производства в отстойнике. За пять лет произошли: постепенный подъем уровня загрязненных грунтовых вод; их просачивание по капиллярам на поверхность; испарение вод и концентрация на испарительном барьере токсичных веществ; накопление этих веществ растениями, в результате чего определенные их виды погибли.

По результатам вторичного изучения обстановки начались дорогостоящие работы по переустройству отстойников-накопителей, а большая чрезвычайно загрязненная территория стала сама источником загрязняющих веществ для соседних ландшафтов. Если бы в рассматриваемом случае была сразу проведена комплексная ландшафтно-геохимическая оценка изменений окружающей среды с анализом подземных вод, отмеченные отрицательные последствия можно было бы предотвратить.

2. Методика работ по оценке состояния отдельных участков биосферы должна обеспечивать возможность постепенного перехода от экспрессной качественной оценки к количественной и экономической. В случае необходимости при тех же методических подходах должна быть дана эколого-геохимическая оценка и результатов отдельных техногенных процессов. Только при выполнении этого условия появляются: преемственность работ, проведенных на разных этапах исследований; возможность использования результатов исследований прошлых лет; практическая основа для проведения мониторинга.

В настоящее время тратится довольно много средств на оценку состояния окружающей среды, особенно в регионах с ожидаемым развитием промышленности, проектированием новых портов, нефте- и газопроводов. В частности, такие работы производятся на юге европейской части страны. К сожалению, часто выполняют их люди без достаточной подготовки и по методикам, не соответствующим поставленным задачам, или вообще без определенных методик. Использовать результаты таких работ для мониторинга, оценки влияния определенных техногенных процессов на состояние среды, а тем более проведения экономической оценки невозможно. А именно такие задачи будут поставлены через несколько лет перед исследователями. И придется выполнять снова ту работу, которая уже была оплачена, но не соответствовала рассматриваемому требованию.

3. По оценке состояния окружающей среды должна соблюдаться определенная последовательность проведения исследований, обуславливающая исключение ошибок, связанных с неправильным выбором района работ и масштаба исследований.

Можно выделить четыре основных стадии работ по оценке состояния окружающей среды (В.А. Алексеенко, 1989, 1990):

1) региональные работы в масштабе 1:500 000— 1:200 000 (очень редко, при проведении оценки в больших биосферных структурах масштаб региональных работ может уменьшаться до 1:1 000 000 — 1:2 000 000);

2) среднемасштабные работы (1:100 000 — 1:50 000);

3) крупномасштабные работы (1:25 000 — 1:10 000);

4) режимные наблюдения и оценка состояния населенных пунктов с масштабом исследований крупнее 1:10 000.

Несколько обособленно, обобщая работы различных и, как правило, многочисленных исследователей, можно проводить глобальную оценку состояния окружающей среды как для всей биосферы в целом, так и для очень больших регионов, например территории всей России. Масштаб таких исследований обычно меньше 1:5000 000.

При работе по оценке состояния окружающей среды (особенно в новых регионах) начинать исследования» следует с региональных работ, постепенно переходя от одной стадии к другой. В виде исключений возможны следующие основные отклонения от рекомендуемой последовательности:

-среднемасштабные исследования можно приводить раньше региональных в новых районах, на площадях, расположенных вблизи крупных городов или территориально-промышленных комплексов;

-крупномасштабные исследования можно проводить непосредственно после региональных исследований на аномальных участках, выявленных по результатам работ первой стадии;

-в отдельных случаях работы можно начать с режим наблюдений, а также с оценки эколого-геохимического состояния населенных пунктов.

Нарушение требования стадийности выполнения работ может привести к существенным ошибкам. Так, на основании эколого-геохимических исследований было необходимо дать оценку состоянию заповедника, граничащего с рядом промышленных предприятий. Для ухудшения такой оценки проводились только крупномасштабные геохимические исследования с анализом почв. В результате обработки анализов почвенных проб определялось фоновое содержание поллютантов и выявились участки с их аномальным содержанием. Все аномалии, выявленные при проведении описываемых исследований, находились за пределами заповедника. Это позволило сделать вывод о нормальной эколого- геохимической обстановке на его территории. Однако проведение только первых рекогносцировочных мелкомасштабных работ в регионе показало, что вся территория, схваченная крупномасштабными исследованиями, попадает в конкретную аномалию, образованную весьма токсичными поллютантами. (Предельно допустимые концентрации для почв по большинству определяемых поллютантов отсутствовали.) Таким образом, очень загрязненная территория первоначально была признана как нормальный фон. Исправление этой ошибки было связано со значительными затратами, поскольку она была выявлена через несколько лет после рекомендаций, сделанных по результатам работы проведенных без необходимой стадийности.

4. При ограничении площадей участков, на которых проектируется проведение эколого-геохимической оценки состояния окружающей среды, необходимо в первую очередь учитывать особенности природной миграции элементов, определяемые ландшафтно-геохимическими факторами. При отсутствии карт геохимических ландшафтов соответствующего масштаба необходимо обращать внимание на рельеф местности и особенно воздушной миграции. Рельефом будет определяться основная часть поверхностного и подземного стоков. В связи с этим наилучшими границами могут считаться водоразделы и области накопления осадков, в данном случае практически исключался «разрезание» аномалий, связанных с единым природным потоком мигрирующих элементов.

При интенсивном выдувании почв или в областях отложения значительных масс эолового материала желательно, чтобы границы районов проектируемых работ не пересекали эти области.

В областях с интенсивной антропогенной деятельностью границы районов работ (особенно при региональных исследованиях) можно ограничивать административными границами. Это связано с тем, что в таких регионах техногенное поступление химических элементов (их соединений) в ландшафты и их миграция преобладают над аналогичными природными процессами. Развитие же техногенных процессов в нашей стране долгое время шло только по административным указаниям без всякого учета природных условий и соответственно менялось на административных границах. Сказанное видно из рис. 9.1, где показано, что граница между Краснодарским краем и Ростовской областью хорошо «отбивается» по содержанию в пахотном горизонте почв тяжелых металлов. Особо следует отметить, что никаких природных ландшафтно-геохимических изменений на административной границе не отмечено. Разница в содержаниях тяжелых металлов связана с различной интенсивностью эксплуатации земель и количеством вносимых удобрений.

5. Основные принципы методики проведения эколого-геохимической оценки территорий должны быть независимы от масштаба исследований, а также от природных условий и техногенной нагрузки разлитых оцениваемых территорий. Это требование должно, во-первых, полностью обеспечить при оценке состояния окружающей среды использование материалов предыдущих исследований. Результаты работ, проведенных в более крупном масштабе на одной и той же территории, должны, как в матрешке, органически «вкладываться в более мелкий

масштаб». Во-вторых, без всяких дополнительных работ (а очень часто их стоимость бывает сопоставимой со стоимостью оценки территорий) можно будет «сбивать» карты и рассматривать совместно или сравнивать между собой результаты оценки эколого-геохимического состояния различных (даже удаленных друг от друга) территорий.

6. Наиболее удобной для использования и в то же время наглядной формой анализа результатов оценки состояния окружающей среды является представление соответствующих картографических материалов. Однако специальная нагрузка, позволяющая делать выводы и о распространении поллютантов, и об общей экологической ситуации, и о сохранности (исчезновении) определенных видов животных и растительных организмов, и об остальных показателях, должна выноситься на единую, общую для всех эколого-геохимических исследований основу. К настоящему времени лучшей основой для таких целей являются карты геохимических ландшафтов. Они, при принципиально одинаковых требованиях, могут выполняться в различных масштабах, соответствующих поставленным перед исследователями задачам. Кроме того, карты геохимических ландшафтов уже сами представляют качественное отражение эколого-геохимических условий изучаемых регионов.

12.3 Качественная оценка состояния территории

Как уже указывалось, начинать исследования по оценке состояния окружающей среды следует с ее качественного анализа. Проведение этих работ должно дать общую оценку состояния отдельных участков биосферы. Более чем 20-летний опыт работ, проводимых в этом направлении в различных климатических и ландшафтно-геохимических условиях (Северный Вьетнам, Красноярский край, юг европейской части России и Украины, Северный Кавказ), позволяет считать, что основой качественной оценки состояния окружающей среды является ландшафтно-геохимическое картирование. Карты геохимических ландшафтов объективно и комплексно отражают состояние окружающей среды на период их составления. Комплексность такой оценки гарантируется методикой работ, при проведении которых учитываются как особенности «техногенной нагрузки», так и биологические (ботанические), почвенные, геоморфологические, атмосферные и геологические особенности отдельных блоков биосферы. Объективность оценки также заложена в методику исследований, т.е. на каждом классификационном уровне качественно отмечаются все изменения, способные вызываться антропогенной деятельностью.

Необходимо отметить, что в основе составления карт геохимических ландшафтов учтены сложные закономерности связи между отдельными биокосными системами, составляющими ландшафт и определяющими особенности миграции элементов (их соединений). Учтены также особенности постепенного развития антропогенных изменений в различных частях (ярусах) геохимических ландшафтов, определяемые законом развития антропогенных изменений ландшафте (см. 3.7.2). Так, антропогенное загрязнение почвенных вод (соответственно и изменение их состава) приводит к определенным изменениям в составе почв, а затем и к изменению ассоциаций произрастающих на них растений.

Рассмотрим теперь последовательность качественной оценки состояния окружающей среды, проводимой на ландшафтно-геохимической основе.

1. Составив карту геохимических ландшафтов, следует переходить к определению тенденции развития конкретных изменений в изучаемом регионе. Эти тенденции можно устанавливать, во-первых, при определении результатов протекания какого-либо одного конкретного процесса. Так, среди довольно большого числа разнообразных пойменных ландшафтов на юге европейской части России выявились ландшафты с типоморфными ионами Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , т.е. ландшафты с засоленными почвами. Часть их расположена в зонах орошения. Есть ли тенденция к засолению при развитии технического орошения? После подсчетов получаем следующую информацию: на неорошаемых пойменных землях 4% ландшафтов подвержены засолению, а на орошаемых (при всех остальных неизменных ландшафтно-геохимических факторах) — свыше 50%. Таким образом, можно говорить о тенденции развития засоления при современной системе орошения в регионе.

Установление тенденции в развитии определенных качественных изменений дает возможность обоснованно планировать проведение последующих эколого-геохимических работ. В рассматриваемом случае нужно детально изучать особенности орошения пойменных земель.

2. Следующим этапом исследований является непосредственная качественная оценка состояния окружающей среды либо последствий каких-либо техногенных или природных процессов. Для этого на картах геохимических ландшафтов необходимо выделить геохимические ландшафты, необычные для данных природных условий. Их называют аномальными. Иногда пространственно или генетически связанные между собой аномальные ландшафты объединяются в отдельные аномальные зоны. Выделение таких ландшафтов и зон можно считать важнейшей задачей качественной оценки территорий по результатам первых исследований.

Попутно с основной задачей может (и должен) решаться целый ряд второстепенных задач. Так, в последние годы в печати часто появляются публикации о естественном (природном) самоочищении целых регионов. Анализ карты геохимических ландшафтов Ростовской области (масштаб 1:500000) показывает, что около 90% всей территории приходится на техногенные (в основном сельскохозяйственные) ландшафты. В них практически вся миграция 516 элементов контролируется различными антропогенными процессами. О каком же самоочищении можно говорить при таком положении в этом регионе? Опыт работ, проводимых на ландшафтно-геохимической основе, показал, что по результатам качественной оценки можно давать предварительную экономическую оценку планируемой деятельности, например вырубке лесов и созданию на их месте сельскохозяйственных ландшафтов (см. разд. 9.6). Можно на основе карты геохимических ландшафтов планировать освоение новых территорий, обоснованно проводить расселение беженцев и переселенцев и т.д.

3. После проведения повторной оценки эколого-геохимического состояния территории (что является фактически началом мониторинговых исследований) по пученные данные можно сравнивать с результатами первых исследований, т.е. переходить к качественной оценке последствий природных и антропогенных процессов, происходивших в промежутке времени между двумя эколого-геохимическими исследованиями. Так, в подавляющем большинстве случаев можно оценить последствия продолжительного (от начала действия до времен: и последней оценки состояния среды) воздействия на окружающую среду отдельных предприятий или же каких-либо процессов, начавших свое воздействие в рассматриваемый промежуток времени.

Например, введение в действие в пойме реки новых отстойников химического завода привело к загрязнению тяжелыми металлами подземных и поверхностных вод. В соответствии с законом развития эколого-геохимических изменений в ландшафте постепенно изменения охватили почвы, а затем сказались и на растительности ближайших пойменных лесов. В результате гибели от загрязнения в первую очередь тополей возникли ландшафты редколесий, а затем изменилось положение границ между лесами и степями за счет сокращения площадей, занятых лесами. Установление этих закономерностей и представляет собой качественную оценку последствий введения в строй новых отстойников.

Качественно можно определить и последствия суммарного воздействия всех природных и антропогенных факторов, действовавших между двумя рассматриваемыми исследованиями. Для этого по данным сравнения карт геохимических ландшафтов определяется появление в регионе в указанный период новых геохимических ландшафтов, а также изменение границ между ранее существовавшими ландшафтами (последнее характеризует развитие одних ландшафтов за счет других). В рассматриваемом случае качественная характеристика не позволяет конкретно оценить роль каждого из факторов в происшедшем изменении состояния окружающей среды, хотя может быть определено значение ведущих факторов. Так, на Кавказе за 10 лет отмечается уменьшение площадей, занятых лесными ландшафтами. Произошло это главным образом за счет возрастания площадей пашен, садов, населенных пунктов, пожаров и вырубки лесов. Из-за вырубки внутри лесных ландшафтов появились новые ландшафты лесов. Создание рисовых чеков резко сократило ландшафты плавней в Западном Предкавказье и т.д. Такая оценка изменений и называется качественной. Она конкретно (хотя и не количественно) указывает на последствия развития в пределах изучаемой территории природных и антропогенных факторов за определенный промежуток времени.

Часто качественной оценки состояния окружающей среды и ее изменений за определенные промежутки времени бывает недостаточно и требуется количественная оценка этих явлений.

12.4 Количественная оценка состояния территорий и его изменений

Современная количественная оценка состояния биосферы должна производиться не только с «мерой и весом». Разнообразие последствий антропогенной деятельности требует кроме количественного учета происшедших изменений прогноза новых, ожидаемых, а также комплексного всестороннего подхода. При этом необходимо учитывать сложную картину переплетения различных видов миграции элементов. Как уже указывалось, для биосферы характерно теснейшее переплетение процессов физико-химической и собственно механической миграции косного материала с биогенной миграцией, являющейся результатом геохимической работы живых организмов. Однако в настоящее время биосфера ускоренно переходит в ноосферу - по определению В.И. Вернадского, новое геологическое явление на нашей планете. В ней впервые человек становится крупнейшей геологической силой. В ноосфере существенную роль начинает играть техногенная социальная миграция элементов, причем она происходит не обособленно, а переплетается с уже рассмотренными природными процессами миграции элементов в биосфере. Следовательно, оценить состояние окружающей среды в осваиваемых и уже освоенных районах можно только в результате проведения комплексных исследований.

Для этих исследований также требуется определенная последовательность. Начинаться они должны (как и при качественной оценке) с мелкомасштабных (1:2000000 - 1:200000) работ, дающих общую количественную характеристику больших территорий. Важным условием количественной оценки состояния окружающей среды является необходимость рассмотрения перемещения элементов на современном атомно-ионном уровне с учетом форм их нахождения, а также сложного, изменчивого взаимоотношения между элементами в различных участках биосферы.

Опыт работ, проводимых для оценки состояния биосферы на планете, показал, что наиболее удобным и отвечающим перечисленным требованиям является изучение всех процессов, протекающих в окружающей нас среде на ландшафтно-геохимической основе.

Вопросы для самоконтроля:

1. Перечислите основные требования к эколого-геохимической оценке состояния биосферы.
2. В чем заключается качественная оценка состояния территории?
4. Какие требования предъявляются к оценке биосферных процессов?
5. Количественная оценка состояния территорий.

Рекомендуемая литература[2,14,15]

13 ХАРАКТЕРИСТИКА ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ГЕОХИМИИ

Для количественной оценки состояния окружающей нас природной среды и в особенности для принятия определенных мер, в том числе административных, по недопущению ее загрязнения конкретными поллютантами или ее улучшению, необходимо знать контрольные значения содержания загрязняющих веществ в различных частях геохимических ландшафтов. Начиная с этих значений, дальнейшая концентрация поллютантов должна считаться неприемлемой. Такие контрольные значения содержаний должны устанавливаться для почв, воздуха, подземных и поверхностных вод, растений (в первую очередь для сельскохозяйственных культур, употребляемых в пищу). Для каждого загрязняющего вещества они должны устанавливаться отдельно. В соответствии с законом развития эколого-геохимических изменений в геохимическом ландшафте изменение концентрации загрязняющих веществ в какой-либо части ландшафта, несомненно, отразится на всех его частях. Однако, учитывая природную консервативность, этот процесс может затянуться на годы. Загрязнение же такой части ландшафта, как, например, атмосферный воздух, может сказаться на состоянии (и даже существовании) живых организмов, включая человека, гораздо раньше. Эта определенная консервативность биосферы и сделала необходимым установление для различных ее частей контрольных значений, получивших название предельно допустимых концентраций (ПДК). Предельно допустимые концентрации веществ, загрязняющих биосферу, вводились как нормирующие показатели во многих странах. Единые ПДК были введены в свое время и для такой громадной территории, как СССР, а затем и Украины. Часть из них вводилась с учетом времени пребывания человека в данном месте. В них учитывалось предельно безвредное для человека содержание отдельных химических веществ, в том числе техногенных, не имеющих природных аналогов.

Кроме ПДК были введены и другие (тоже нормирующие) показатели, например, предельно допустимый выброс загрязняющих веществ отдельным источником за единицу времени. Превышение ПДВ теоретически должно приводить к последующему превышению ПДК в среде, окружающей рассматриваемый источник загрязнения. Однако, разрабатывая общие для огромных территорий ПДВ, не учитывались ландшафтно-геохимические особенности и история геологического (геохимического) развития, хотя бы за последние годы, отдельных участков загрязняемой территории. В соответствии же с одним из законов развития антропогенных изменений в биосфере поведение загрязняющих веществ (концентрация, рассеяние, особенности распределения), поступивших в результате техногенеза в биосферу, а во многих случаях и форма нахождения этих веществ определяются конкретными ландшафтно-геохимическими условиями загрязняемой территории. Кроме того, при установлении ПДВ не учитывается все многообразие возможных сочетаний совместного расположения источников загрязнения. Таким образом, ПДВ в целом представляют собой нормирующую величину, которая должна была бы ограничить выбросы до концентраций, не приводящих в конечном итоге к превышению в окружающей среде ПДК.

Для людей тяжелые, а главное - наиболее быстро сказывающиеся последствия загрязнения обычно связаны с аномальными концентрациями отравляющих веществ в воздухе и питьевой воде. Однако эти концентрации, как правило, в рассматриваемых частях биосферы сохраняются непродолжительное время. Техника очищения воздуха и воды относительно проста, а для многих природных и даже некоторых техногенных ландшафтов часто характерен процесс самоочищения. Гораздо дольше сохраняется большинство загрязняющих веществ в почвах, которые же последующем сами могут стать источниками загрязнения атмосферы, воды, растительности и животных организмов. Именно поэтому особое внимание всегда уделяется вопросам, связанным с возможностью использования ПДК для почв.

С точки зрения экологической геохимии и экологии, ПДК могут использоваться в практической деятельности лишь как предварительные показатели ориентиров. Вероятно, они необходимы в странах с низкой экологической культурой и на первых этапах исследований в новых регионах. Однако их широкое использование при оценке состояния окружающей среды часто невозможно по целому ряду объективных причин. Отметим только важнейшие из них: предельно допустимые концентрации в их настоящем виде рассматриваются как: нормы содержаний различных веществ в среде, окружающей человека, при которых он может считать безопасным свое существование в тех участках биосферы, для которых эти ПДК определены. При этом под существованием подразумевается, проживай не или только нахождение во время работы в районах, для которых эти ПДК определены. Подразумевается также использование продуктов и воды, для которых установлены ПДК. Однако, надо учитывать, что ПДК стали устанавливаться только в последние десятилетия. А, к настоящему времени достоверно известно, что последствия многих видов загрязнения (силикоз) проявляются через десятилетия после нахождения в загрязненной зоне. Естественно, что большинство поздно сказывающихся последствий загрязнения же могло быть, учтено. Положение усугубляется еще тем, что многих видов загрязнения несколько десятилетий назад не существовало, а на некоторые не обращалось внимания.

Определенные вещества могут вызывать генетические изменения. Последствия загрязнения такими поллютантами в полной мере скажутся только на последующих поколениях. При этом многие вещества, а тем более их опасные концентрации даже не могли быть учтены при установлении ПДК, хотя эти вещества следует относить к наиболее опасным поллютантам. Совершенно не ясны и практически не учтены в ПДК последствия совместного воздействия на человека разных химических элементов (а тем более их токсичных соединений), находящихся в самых различных концентрациях. С одной стороны, ассоциация основных антропогенных загрязняющих веществ известна. В соответствии с законом ассоциаций химических элементов, образующих крупные техногенные геохимические аномалии, она определяется в основном уровнем развития науки и техники в период загрязнения. С другой стороны, учесть все возможные комбинации совместного воздействия этих поллютантов, к тому же находящихся в разных концентрациях, практически невозможно. К настоящему времени нет даже работ, рассматривающих суммарное влияние на организмы группы химических элементов с различными аномальными (повышенными и пониженными) концентрациями. Ряд химических элементов, при недостатке последних в среде (или продуктах питания), замещается их геохимическими аналогами. При этом возникают многие довольно тяжелые болезни у растений и животных (включая человека) организмов. К настоящему времени наиболее известными с этих позиций являются пары элементов Ca-Sr, Ba; S-S. Так, урская болезнь (поражение скелета человека и животных - искривление позвоночника, поражение суставов, ломкость костей, выпадение зубов и т.д.) характерна лишь для районов с пониженным содержанием Ca при избытке Ba и особенно Sr. В районах с повышенным содержанием в почвах Se, переходящего в растения, наблюдается специфическое отравление этим элементом, получившее название алкалоз. Однако внесение кристаллической серы (и даже гипса) в почвы с тем же содержанием селена уменьшило содержание этого элемента в выращенном на этих почвах зерне с 12 до 4 мг/кг. При концентрации в зерне селена около 12 мг/кг поедающие его крысы, кролики, крупный рогатый скот, лошади через несколько месяцев умирали. Вскрытие показало поражение печени, а в некоторых случаях - почек, сердца и селезенки.

Таким образом, для геохимически подобных друг другу элементов чрезвычайно важным становится относительное (по сравнению со средним) содержание каждого из них, так как одна и та же концентрация одного из этих элементов в одном случае является токсичной, а в других - совершенно безвредной. И это тоже было бы необходимо учесть в ПДК, иначе возможны большие ошибки, приводящие к ненужным затратам и заболеваниям людей. Было установлено, что потребление многих металлов организмами контролируется особенностями биогеохимической связи между химическими элементами в организмах. Очень четко эти закономерности были выявлены в растениях для Pb, Cu и Mo; Be, Bi и K, Na, Si. Поступление в организм в существенно повышенных (или пониженных) содержаниях одних элементов, определяемое только изменением концентрации в окружающей среде других элементов, как бы «наследуется» при перемещении по трофической цепи и часто сопровождается болезнями организмов. Это широко развитое для отдельных элементов явление также совершенно не отражено в ПДК, хотя оказывает чрезвычайно большое воздействие на организмы. Все рассмотренное, с позиции совместного токсичного воздействия нескольких химических элементов, делает практически невозможной разработку ПДК для больших территорий, включающих отдельные районы (и даже целые геохимические провинции) с повышенными или пониженными местными фоновыми содержаниями.

Токсичность химических элементов (их соединений) зависит не только от концентрации, но и от формы, а часто и от вида их нахождения в биосфере. Так, в почвах большинство химических элементов находится в минеральной форме. При этом, чем труднее минерал растворим, тем менее доступны для организмов составляющие его химические элементы, а, следовательно, меньше их токсичное воздействие даже при высоких концентрациях. Рассмотрим в качестве примера поведение натрия. Более доступным и токсичным он будет при высоких концентрациях в почвенных растворах, а не в минералах. Однако и в разных минералах степень его доступности будет различной: в галите (NaCl) - доступен, а в жадеите (NaAlSi₂O₆) - практически недоступен.

Учесть в ПДК все формы, а тем более конкретные виды, в которых находятся элементы, практически невозможно. Кроме того, растворимость многих соединений определяется щелочностью среды, температурой и еще целым рядом изменяющихся в биосфере ландшафтно-геохимических факторов.

Природное распределение химических элементов в различных типах горных пород отличается крайней неравномерностью (а как уже указывалось, любой химический элемент, попадающий в организм, при определенной концентрации и форме нахождения может стать токсичным). Горными породами во многом определяется состав формирующихся на них (и за счет них) почв, вод, растений и животных организмов. К неравномерности распределения элементов в породах, а точнее, к вполне определенным концентрациям химических элементов в конкретных породах отдельных регионов живые организмы (от простейших до высших) «привыкли», по крайней мере, за миллион лет (четвертичный период). В некоторых регионах такое привыкание и эволюция происходили не один, а многие миллионы лет. Как пример возникновения резких геохимических отличий существования организмов можно рассмотреть участки биосферы с карбонатными и ультраосновными горными породами. В карбонатных породах Sr содержится в 100, а Co в 1500 раз меньше, чем в ультраосновных. Отличаются эти породы, хотя и не столь контрастно, содержанием и других элементов. Весьма существенны геохимические отличия и между другими типами горных пород. Конечно же, геохимические особенности пород, получивших преимущественное распространение в отдельных регионах, привели к естественному отбору в их пределах определенных организмов. Так, по наблюдениям С.М. Ткалича, на Сахалине над угленосными пластами произрастают лиственные ольховники березовые леса, а над вмещающими их породами - хвойные, над кимберлитами в Сибири произрастают лиственничные и ольховники на фоне лишайниковых редколесий (А.Н. Лукачева, 1960). А теперь рассмотрим примеры ПДК двух упомянутых выше элементов в почвах - Co и Sr. Для Co она равна 0,005%, для Sr - 0,01%. Соответственно их кларковые содержания в ультраосновных породах составляют 0,015 и 0,16%. Природа перечеркивает эти ПДК для районов с ультраосновными породами, где обломки коренных горных пород даже в почвенном горизонте С должны рассматриваться как очаги интенсивного загрязнения. Но сравним эти, же ПДК с кларковым содержанием в карбонатных толщах: соответственно 0,00001 и 0,0011%, и картина резко изменится. Содержание в почвообразующих породах Co в данном случае в 500 раз меньше предельно допустимой, а Sr - почти в 10 раз. Вряд ли нормально будут развиваться организмы, если в почвенных горизонтах А и В содержание Co будет в 500 раз выше, чем в горизонте С. (ПДК предопределяют именно такую картину.) К тому же нужно учесть, что расстояние между ними по вертикали может быть не больше первых двух десятков сантиметров. Во всех подобных случаях меняется содержание (пусть хоть не так контрастно) еще многих других элементов.

Таким образом, с точки зрения геохимии природных образований выбрать для всех участков биосферы или даже для нашей страны единые ПДК невозможно, а безответственное ориентирование на предлагаемые цифры без учета конкретной ландшафтно-геохимической обстановки может привести к экологическим осложнениям, вплоть до катастроф. Особо следует учесть, что для всех живых организмов, включая человека, нет химических элементов «полезных» и «вредных». Для нормального развития организма необходимы все элементы, но только при их определенных концентрациях и формах нахождения в различных частях биосферы. При этом одни элементы нужны в больших концентрациях, другие - в меньших. Как известно, элементы, находящиеся ниже линии питательных веществ, даже при незначительном повышении концентрации очень быстро становятся токсичными. Резко пониженные содержания элементов также вызывают различные болезни живых организмов, включая человека. Вспомним йод, фтор и ряд других элементов, недостаток которых уже учитывается в обыденной жизни (фторирование воды и зубной пасты, йодирование соли и т.д.). Оценивая как токсичность химических элементов при определенных высоких концентрациях, так и последствия их недостаточно высокой концентрации, следует помнить о влиянии на организмы величин абсолютного разброса химических элементов, установившегося на континентах после образования осадочных пород и почв. Существенное техногенное увеличение или уменьшение содержания химических элементов в первую очередь может негативно сказаться на развитии организмов для следующих элементов: Bi (1,43), Ag (2,9), W (3,67), I (4), Be (6), Au (6), Br (6,2), P (6,47), Zn (8,67). В скобках приведены значения абсолютного разброса для каждого химического элемента.

Таким образом, при определении нормирующих показателей для химических элементов должны учитываться две цифры - максимальная и минимальная их концентрация. Они должны ограничивать величины содержаний, определяющих условия наиболее оптимального развития организмов.

В последние десятилетия все большую роль в биосфере начинают играть техногенные соединения, не имеющие природных аналогов. Токсичность и время ее проявления для многих из них еще не известны. Пока ясно, что они «чужды конкретным природным условиям», что их количество поддается учету (и это необходимо делать), что особенности их разложения и свойства продуктов разложения следует изучать. Наверное, уже классическим примером стало изучение фреона и продуктов его разложения, влияющих на мощность озонового слоя, а в конечном итоге - на выживание организмов. Для большинства техногенных соединений ПДК нет и в ближайшее время их невозможно определить.

ПДК учитывают токсичность элементов или их определенных соединений по отношению к человеку. При этом не берется во внимание их воздействие на другие организмы, в том числе и микро, а также то, что биосфера - это особая биокосная система, в которой тесно связаны и взаимообусловлены живые организмы и косное (минеральное) вещество. Изменения косного вещества (концентраций, форм нахождения, закономерностей распределения и т.д.), происшедшие в определенном районе, несомненно, сказываются на каких-то (может быть, немногих из находящихся в этом районе) организмах. Ими могут быть вирусы, бактерии, растения, грибы или животные. Непосредственно для людей эти изменения могут быть в первое время безвредными. Но гибель или мутация определенных видов организмов, безусловно, скажутся на остальных организмах. В биосфере все организмы связаны между собой, а человек составляет часть биосферы. Выделение каких-либо ПДК только для человека - по крайней мере бессмысленно. Загрязняя биосферу или ее отдельные части и районы веществами, вызывающими смерть, болезни и мутации определенных организмов, но безвредными на каком-либо первом промежутке времени для человека, мы создаем для людей бомбу замедленного действия.

Вопросы для самоконтроля:

1. Что означает термин предельно допустимые концентрации?
2. Что означает термин предельно допустимый выброс?
3. Какие болезни возникают с превышением ПДК различных элементов?
4. От чего зависит токсичность химических элементов?
5. От чего зависит геохимический состав почв?
6. Влияние техногенных элементов на человека.

Рекомендуемая литература[1,2,12]

14 ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ЕЕ ИЗМЕНЕНИЙ

Выступая за ограничение использования в практической деятельности экологов ПДК, следует предложить вместо них новые, более приемлемые показатели допустимых концентраций в конкретных природных условиях. Такими нормирующими показателями для отдельных крупных регионов могут и должны служить местные фоновые содержания химических элементов в почвах, поверхностных и подземных водах, основных видах дикорастущих растений в конкретных геохимических ландшафтах. Определять местные фоновые содержания следует в геохимических ландшафтах, аналогичных изучаемым, с учетом практически не подвергшихся техногенному воздействию. Это должно исключить влияние техногенеза на изменение величины природных фоновых концентраций. Определяя предполагаемый нормирующий показатель, можно объединять отдельные геохимические ландшафты в группы. При установлении местных фоновых содержаний исследованиям следует подвергать достаточно большие территории. Желательно, чтобы это была биосферная структура. Такая структура представляет собой совокупность геохимических ландшафтов, ограниченную крупными (с планетарной точки зрения) водоразделами и областями накопления материала, смываемого и переносимого по ее территории. Это требование позволяет обеспечить более точное определение фоновых содержаний, так как при больших площадях исследований резко уменьшается вероятность влияния на величину фонового содержания. Анализы проб, отобранных из неучтенных, а потому и не исключенных из подсчетов геохимических, положительных и отрицательных аномалий как природного, так и техногенного генезиса. В качестве примера можно рекомендовать горный ландшафт Крыма или степной Керченского полуострова. Установление местных фоновых содержаний химических элементов для больших регионов требует проведения в значительных объемах специальных эколого-геохимических исследований. В связи с этим пока чаще используются не местные фоновые, а кларковые содержания, рассчитанные для Земли в целом. Хотя использование их для оценки эколого-геохимической ситуации в отдельных регионах не может считаться вполне корректным, тем не менее, они являются объективными величинами, характеризующими концентрации элементов, при которых существует земная жизнь на современном (точнее, доноосферном) этапе ее развития.

14.1 Принципы количественной оценки и введение новых эколого-геохимических показателей

Как уже указывалось, для выполнения требований комплексности исследований и их проведения по единой методике, качественная и количественная оценки эколого-геохимического состояния окружающей среды проводятся на ландшафтно-геохимической основе. При этом в полевой период ландшафтно-геохимического картографирования для проведения количественных оценок проводится отбор проб из различных частей ландшафтов по определенной сетке. Все пробы анализируются в обязательном порядке на комплекс элементов, образующих ассоциации в формирующихся в настоящее время крупных техногенных геохимических аномалиях. Кроме того, в тех случаях, когда на изучаемой территории ожидается появление новых приоритетных загрязняющих веществ, в пробах определяется и их содержание. Если эколого-геохимические исследования для оценки состояния окружающей среды проводятся на данной территории впервые, то при количественной оценке сначала следует сравнить местные фоновые содержания, устанавливаемые для всех частей различных геохимических ландшафтов данного участка, с региональными фоновыми концентрациями (местными ПДК) или кларковыми содержаниями. Можно сравнивать местные фоновые содержания с существующими в настоящее время ПДК, едиными для всей страны, но в данном случае неизбежна все связанные с этим ошибки, рассмотренные в предыдущих разделах. Проведенное сравнение позволяет установить, насколько местные фоновые содержания отличаются от региональных (кларковых). В случае существенного отличия ставится вопрос о выделении специфической геохимической провинции, что необходимо учитывать при административном делении территорий, и о специфическом снабжении населения продуктами питания. Гораздо чаще местные фоновые содержания повышены или понижены (незначительно). В этих случаях полученную информацию следует рассматривать как количественное установление тенденции эколого-геохимических изменений в районе под, влиянием различных действующих факторов. Указанная информация крайне важна при планировании развития регионов. Так при пониженных содержаниях в почвах Сг и Mn (как, например в Таманском эколого-экономическом районе Черноморского побережья России) развитие промышленных предприятий, приоритетно загрязняющих биосферу этими элементами, в данном регионе не только не будет опасным, но даже способствует улучшению эколого-геохимической обстановки. Повышенная же концентрация Pb в почвах Сочинского района должна рассматриваться как серьезное предупреждение о последствиях, к которым может привести дальнейшее развитие в регионе автомобильного транспорта, являющегося дополнительным источником Pb в окружающей среде. Примеров использования полученной количественной информации можно привести довольно много (Рис 14.1.1). Следующая работа, которую надо выполнить при первичной количественной оценке состояния окружающей среды, - это оценка выявленных геохимических аномалий. Для первичной оценки этих аномалий предлагается показатель абсолютного накопления (ПАН) химических элементов, доказывающий, какая масса того или иного химического элемента (его соединений)

накопилась в результате определенных процессов (как природных, так и техногенных) на единице площади концентрациях, превышающих региональное фоновое содержание. Вместо фоновое содержание (при отсутствии данных) можно брать кларковое или использовать величину ПДК. Показатель абсолютного накопления может рассчитываться (т/км2) для почв, вод, атмосферного воздуха, растений. Рассмотрим пример определения ПАН.

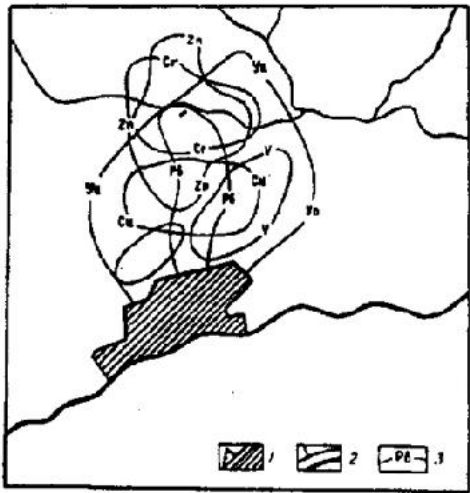


Рисунок 14.1.1 Схема распространения техногенных литохимических аномалий (вблизи городов); 1.- Город; 2-Реки; 3.-геохимические аномалии

В результате эколого-геохимических исследований в масштабе 1:500 000 вблизи одного из промышленных центров, расположенного в степной части Украины, в почвах были выявлены частично перекрывающиеся друг друга аномалии Pb, Zn, Ti, Cu V, Ga и Cr (рис. 9.2). Общая площадь аномалий составляет, км: Pb - 103, Zn - 200, Cu - 105, Ga - 450, V - 75, Ti - 65, Cr - 150. Аномальные содержания прослеживаются в среднем на глубину 30 см. Расчеты показывают, что в пределах рассматриваемого аномального участка за счет техногенного загрязнения в почвах накопилось в основном в минеральной форме, т: Cu - 840, Pb - 824, Zn - 2080, Ti - 1040, Cr - 1200. Показатели абсолютного накопления равны, т/км²: Ti - 16; Zn - 10,4; Pb, Cr, V, и Cu - 8; а Ga - 4,8. Чтобы узнать величину относительного накопления химического элемента (это важно для принятия последовательных мер быстрого реагирования и предварительной оценки медико-экологического влияния загрязнения каждым из поллютантов), следует вычислить значение показателя относительного накопления – ПОН. Он представляет собой частное от деления показателя абсолютного накопления на фоновое (кларковое) содержание в почвах:

$$\text{ПОН} = \text{ПАН} / \text{С}_\text{ф}$$

Для рассматриваемого примера вычисленные по этой формуле значения ПОН приведены в табл. 14.1.1

Таблица 14.1.1 Содержание химических элементов в почвах в пределах техногенных геохимических аномалий вблизи крупного промышленного центра

Элемент	Площадь аномалии, км ²	Превышение концентрации элементов в сравнении с фоновым содержанием геохимических ландшафтах, n×10 ⁻³ %	Техногенная составляющая в элементах, т	ПАН, т/км ²	ПОН
Pb	103	1	824	8	8000
Zn	200	1,3	2080	10,4	2080
Ti	65	2	1040	16	35
Cr	150	1	1200	8	400
V	75	1	600	8	800
Ga	450	0,5	2160	4,8	1600
Cu	105	1	840	8	4000

Как видно из таблицы, по абсолютному накоплению металлов представляется следующий ряд: Ti → Zn → (Pb, Cr, V, Cu) → Ga. При этом на первом месте стоит относительно инертный в зоне гипергенеза Ti. Однако если учитывать фоновое содержание и определять ПОН, то ряд загрязняющих веществ, составленный по мере уменьшения его значений, примет следующий вид: Pb → Cu → Zn → Ga → V → Cr → Ti. Следовательно, в изучаемом районе нужно обращать наибольшее внимание на загрязнение окружающей среды Pb, Cu и Zn. На эти элементы и вызываемые ими заболевания необходимо обращать особое внимание и; при медико-экологических исследованиях, и при разработке профилактических мероприятий.

14.2 Экономическая оценка

Достоверная экономическая оценка изменений, происходящих в окружающей среде, возможна после проведения их объективной качественной и количественной оценки; а следовательно, после выполнения ландшафтно-геохимических исследований. Первые попытки экономической оценки состояния окружающей среды относятся к оценке создания (или уничтожения) лесных ландшафтов Р.Н. Гордиенко, И.В. Туркевичем, Г. Паулюквичюсом. «Полезность» определенных геохимических ландшафтов можно измерить приростом конкретного дохода (или предотвращением потерь) в различных отраслях народного хозяйства. Как пример рассмотрим особенности экономической оценки лесных ландшафтов. Эта проблема является важной для районов и горного Крыма, и многих других районов Украины. Во-первых, лесные ландшафты способствуют повышению водного стока в пределах 130—300 м³ на каждые 100 м² занимаемой ими территории. В случае использования вод для орошения, зная площадь, занимаемую лесами, и стоимость 1 м³ воды, применяемой в регионе для орошения, легко подсчитать чистый доход, образующийся за счет развития лесных ландшафтов. В данном случае доход можно рассчитать и другим способом, учитывая непосредственную стоимость урожая, выращенного на орошаемых землях. Для этого необходимо знать увеличение урожайности на каждый кубометр воды, используемой для полива, а также стоимость полученной прибавки урожая. По данным различных исследователей, эта часть ежегодного дохода от 1 га леса может превышать 40 гривен. Повышение водного стока за счет лесов, окружающих водохранилища, приводит к их большинству наполнению(Симферопольское водохранилище). В этом случае косвенный доход от лесных ландшафтов определяется стоимостью вырабатываемой электроэнергии и стоимостью расхода воды на проводку судов через шлюзы. Во-вторых, поступающие из лесных ландшафтов воды отличаются слабой степенью минерализации и способны разбавлять сточные воды (как промышленные, так; и с пашен). По данным Б. Рукшенаса, воды с 1 га леса способны разбавить до 29 м³ промышленных стоков и до 870 м³ вод с пашен. Стоимость промышленной (биологической) очистки такого количества воды и будет представлять рассматриваемую часть дохода от

лесных ландшафтов. По данным различных авторов, она колеблется от 15 до 21 руб. В-третьих, лесные ландшафты препятствуют эрозии почв. Денежное выражение такой роли лесов можно установить, учитывая вред эрозии почв при отсутствии лесных ландшафтов. Анализ может быть проведен путем сравнения урожайности в ландшафтах, отличающихся только по степени эрозии почв (такие сравнения возможны после проведения региональных ландшафтно-геохимических исследований). В-четвертых, лесные ландшафты оказывают большое противодефляционное воздействие, экономическое выражение которого можно установить аналогично ранее рассмотренному противоэрозионному воздействию. В-пятых, леса и лесонасаждения способствуют накоплению снега, что может быть приравнено к затратам, производимым при снегозадержании на полях. В-шестых, лесные ландшафты препятствуют сносу удобрений с полей в реки и водохранилища. В денежном выражении их роль будет складываться из затрат, идущих на очистку водоемов от водорослей, прямого убытка от гибели рыбы и раков в местах скопления водорослей, уменьшения урожайности на полях, связанного с выносом удобрений. В отдельных районах необходимо учитывать оздоровительную роль лесов, их способность задерживать крупные наносы и препятствовать солеобразованию, поглощать воды поверхностного стока и др. Аналогичным образом можно давать экономическую оценку не только появлению (исчезновению) определенных геохимических ландшафтов, но и каждому из ранее перечислявшихся изменений в окружающей среде. При этом должны учитываться стоимость производимых сельхозпродуктов, продуктивность животноводческих ферм, затраты на оплату бюллетеней, лечение и восстановление трудоспособности населения и др. Работы в этом направлении в стране пока только начинают проводиться и необходимо, чтобы достоверность экономической оценки изменений окружающей среды была высокой. Этому могут и должны способствовать опережающие ландшафтно-геохимические исследования, позволяющие количественно установить размеры и степень антропогенных изменений, которые в дальнейшем должны быть оценены в денежном выражении.

Вопросы для самоконтроля:

- 1.Что такое фоновое содержание для конкретной территории?
 - 2.Принципы качественной оценки геохимического фона.
 - 3.Принципы количественной оценки геохимического фона.
 - 4.Что означает термин местное ПДК?
 - 5.Что такое геохимическая провинция?
 - 6.Как определяется ПАН (показатель абсолютного накопления)
 - 7.Как производится экономическая оценка воздействия геохимических элементов на окружающую среду и возможность уменьшения нагрузки на О?
- Рекомендуемая литература[1,2,13]

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеенко В.А. Экологическая геохимия / В.А. Алексеенко. - М.: Логос, 2000. – 628 с.
2. Алексеенко В.А. Введение в экологическую геохимию / В.А. Алексеенко. - Краснодар: КГТУ, 1-е и 2-е изд. 1994; 1997. – 348 с.
3. Вернадский В.И. Живое вещество и биосфера / В.И. Вернадский. - М.: Наука, 1994. – 358 с.
4. Вернадский В.И. Труды по биогеохимии и геохимии почв / В.И. Вернадский. - М.: Наука, 1994. – 289 с.
5. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР / М.А. Глазовская. - М.: Наука, 1988. – 462 с.
6. Касимов Н.С. Геохимия степных и пустынных ландшафтов / Н.С. Касимов. - М.: Наука, 1988. – 278 с.
7. Круговорот веществ в природе и его изменения хозяйственной деятельностью человека / Под ред. А.М. Рябчикова. - М.: Наука, 1989. – 352 с.
8. Перельман А.И. Геохимия / А.И. Перельман. - М.: Наука, 1989. – 345 с.
9. Перельман А.И. Геохимия ландшафта / А.И. Перельман. - М.: Наука, 1975. – 234 с.
10. Перельман А.И. Геохимия ландшафта и экология / А.И. Перельман. - Новороссийск: ИНТЕМ, 1991. – 189 с.
11. Перельман А.И. Геохимия природных вод / А.И. Перельман. - М.: Наука, 1982. – 234 с.
12. Титаева М.А. Ядерная геохимия / М.А. Титаева. - М.: Наука, 1992. – 345 с.
13. Трофимов В.Т. Экологическая геология: учебник / В.Т. Трофимов, Д.Г. Зилинг. - М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2002. - 415 с.
14. Трофимов В.Т. Лекции по экологической геологии: Уч. пособие / В.Т. Трофимов. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. - 182 с.
15. Трофимов В.Т. Лекции по экологической геологии: Уч. пособие / В.Т. Трофимов. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 2009. - 152 с.
16. Экологические функции литосферы // Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г., Барабошкина Т. А., Богословский В. А., Жигалин А. Д., Харькина М. А., Хачинская Н. Д., Цуканова Л. А., Касьянова Н. А., Красилова Н. С. / Под ред. В. Т. Трофимова. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 2000. - 432 с.

© Инна Дементьевна Кудрик

Конспект лекций по дисциплине «Экологическая геохимия»
для студентов направления 6.040106 «Экология, охрана окружающей среды и сбалансированное природопользование»
дневной и заочной формы обучения

Тираж _____ экз. Подписано к печати _____.
Заказ № _____. Объем 6,43 пл.
Изд-во «Керченский государственный морской технологический университет»
98309 г. Керчь, Орджоникидзе, 82.