ЧЕБНИК ДЛЯ XXI ВЕКА



На пороге XXI века в комплексе наук о Земле на ведущее место выдвинулась экологическая геохимия. Раскрывая взаимосвязи между химическими процессами на нашей планете, биосферой и природными последствиями технологической и хозяйственной деятельности человека, эта научная дисциплина закладывает теоретическую базу и дает практические рекомендации для рационального природопользования, охраны и ия окружающей среды.

ай отечественный фундаментальный учебник по эколо-й геохимии предназначен для студентов высших учебных ий, обучающихся по специальностям «Геохимия», ия», «Геология», «Биология», «Прикладная геохимия, огия, минералогия», другим естественно-научным ьностям и направлениям. Книга видного российского В.А. Алексеенко представляет большой интерес для го круга ученых и специалистов в области физики, биологии и наук о Земле.

ыпущена в рамках эксперимен-о этапа проекта «Учебник для XXI Координационный комитет проек-ет признателен за замечания и жения по содержанию и оформ-которые просит направлять по 101856, Москва, Чистопрудный , 6, Минобразование России, с ой «Издательский проект».

ISBN 5-88439-001-7

9 785884 390010

XXI

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОХИМИЯ

В.А. Алексеенко

УЧЕБНИК ДЛЯ XXI ВЕКА

538.4
А-477

В.А. Алексеенко

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОХИМИЯ

УЧЕБНИК



550.4
А-477

В.А. Алекеееенко

Экологическая геохимия

Рекомендовано Министерством образования Российской Федерации в качестве учебника для студентов высших учебных заведений, обучающихся по естественно-научным специальностям

3734
O'z M U
Ilmiy kutubxonasi

Москва • «Логос» • 2000

ББК 26.30
А47

Рецензенты:

Доктор географических наук профессор *В.В.Добровольский*
Доктор геолого-минералогических наук профессор
А.И.Перельман

Федеральная программа книгоиздания России

Алексеенко В.А.
А47 Экологическая геохимия: Учебник. — М.: Логос, 2000. — 627 с: ил.

ISBN 5-88439-001-7

Рассмотрены фундаментальные положения экологической геохимии, история ее становления и развития, атакже задачи, стоящие перед этой наукой, втом числе связанные с возможными негативными последствиями антропогенной деятельности. Теоретические положения экологической геохимии излагаются в тесной связи с практическими вопросами хозяйственной деятельности. Содержит большое число иллюстраций.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям «Геохимия», «Экология», «Геология», «География», «Биология», «Геология и геохимия горючих ископаемых», «Прикладная геохимия, петрология, минералогия», другим естественно-научным специальностям и направлениям. Представляет интерес для широких кругов ученых и специалистов в области химии, биологии, охраны окружающей среды и всего комплекса наук о Земле.

ББК 26.30

>

ISBN 5-88439-001-7

© Алексеенко В.А., 2000
© И К «Логос», 2000



ВВЕДЕНИЕ В ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ ГЕОХИМИЮ

Посвящается памяти
Маргариты Генриховны
(Андреевны) Ведель
и Александра Ильича
Перельмана

Как известно, разные виды животных тесно связаны между собой. Уничтожение одного из видов приводит к нарушению существующего в природе равновесия, в результате чего начинают исчезать другие виды. Изменение видового разнообразия ведет к изменению растительности. Все это в конечном счете не может не сказаться на человеке. Осознавая надвигающуюся опасность, люди выпускают «Красные книги», куда заносят исчезающие (в биосфере в целом и в отдельных регионах) виды животных и растительных организмов, пытаются создать специальные условия для их сохранения.

Однако опасность представляет не только прямое уничтожение отдельных организмов, но и непродуманная антропогенная деятельность. Так, на юге Западной Африки для борьбы с засухой создали систему водохранилищ со ступенчатым водосливом. Это оказалось идеальным местом для развития личинок Simulium damnosum. Появляющиеся из них мошки являются переносчиками страшной болезни, получившей название слоновой.

Широко используемые дешевые и быстрые методы анализа почв, вод, воздуха показали, что жизнь и здоровье животных и растительных организмов зависят от содержания химических элементов в окружающей среде. Было установлено, что различные живые организмы могут нормально развиваться только при определенных концентрациях химических элементов. Это послужило основой для развития новой науки — экологической геохимии.

Настоящая книга — первый учебник по указанной дисциплине. Написанию учебника способствовали выполнение проекта «Геохимия биосферы» по программе «Университеты России: фундаментальные исследования», получение автором Соросовской стипендии и его научная стажировка на кафедре экологии Билефельдского университета по программе Немецкой службы академических обменов.

Автор приносит свою благодарность сотрудникам НИИ геохимии биосферы РГУ Л.П. Алексеенко, В.Ф. Теюбовой, И.Ю. Матасовой за помощь, оказанную при подготовке книги к изданию.

ГЛАВА 1
ПРЕДМЕТ, ИСТОРИЯ И ЗАДАЧИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ГЕОХИМИИ

1.1. Общие сведения

Экологическая геохимия — как определить эту отрасль науки, которая только в настоящее время становится самостоятельной? Судя по наименованию, в первую очередь можно сказать, что это составная часть другой крупной научной системы — *общей геохимии*.

В курсе *геохимии* рассматриваются закономерности перемещения и концентрации атомов (чаще ионов) различных химических элементов в зависимости от внешних и внутренних факторов. Внутренние факторы определяются особенностями строения самих атомов (ионов), внешние — зависят от условий среды, включая формы нахождения как изучаемых элементов, так и элементов, создающих среду, в которой они находятся.

Очень часто геохимию определяют как химию Земли. В этом определении есть доля истины. Но есть и существенные различия между химией и геохимией. Простое перенесение всех химических закономерностей на поведение химических элементов в Земле не позволит ни объяснить их истинное поведение в различных оболочках, ни дать прогноз их поведения в результате каких-то изменившихся условий. А.И. Перельман даже особо отмечает (1990) различия «химического» и «геохимического» мышлений. Чем же объясняются отличия поведения химических элементов в Земле, а точнее — даже в отдельных ее оболочках, от их поведения в лабораторных условиях?

Во-первых, это крайне неравномерная распространенность химических элементов в земной коре (см. гл. 4). В лабораториях обычно не возникает проблемы для осуществления реакций с равными молярными концентрациями элементов. В земной коре содержание одних элементов в миллиарды раз меньше, чем других. В этих условиях у части из них остаются нереализованными многие химические свойства. Так, элементы с малой концентрацией часто не могут образовать достаточное число собственных минералов, попадая в виде примесей (закономерных и случайных) в «чужие» минералы.

Во-вторых, многие внешние факторы, такие как температура, давление, освещенность и др., в условиях земной коры ограничены гораздо более узкими рамками, чем те, которые существуют в лабораториях. Разница будет особенно большой, если рассматривать не всю земную кору, а только ее внешнюю часть — биосферу, в которой обитают живые организмы. Следует отметить, что в экологической геохимии рассматривается в основном именно эта сфера Земли. Ограниченность изменения основных внешних факторов миграции ведет к ограничению проявления многих свойств элементов.

В-третьих, в определенной части земной коры химические элементы находятся не только в виде солей (минералов) или растворов, но и образуют довольно разнообразные формы нахождения — системы относительно устойчивых химических равновесий. Пока элементы остаются в этих системах, они не могут проявлять свои собственные свойства. Для этого должны быть разрушены формы совместного нахождения элементов (подробнее см. гл. 3). Многие из них в условиях отдельных оболочек Земли довольно устойчивы.

В-четвертых, в природных условиях практически никогда не происходят реакции только между отдельными определенными элементами. В них участвуют (хотя и в различной мере) очень многие химические элементы. (В соответствии с законом Кларка—Вернадского в каждом природном объекте присутствуют все химические элементы.) Конечно же, не все они, в прямом смысле, участвуют в определенных химических реакциях. Многие из этих элементов ускоряют или замедляют реакции, другие — создают определенные щелочно-кислотные и т.п. условия, часть из них входит в состав новых образований в виде закономерных и случайных примесей.

Подводя итог сказанному о науке «геохимия», можно отметить, что она изучает всю историю атомов (ионов) химических элементов Земли. Именно такое определение дал геохимии ее основатель — величайший ученый Владимир Иванович Вернадский. Экологическая геохимия как часть общей геохимии занимается изучением данной проблемы в верхней оболочке Земли, населенной животными и растительными организмами,— *биосфере*. Одной из отличительных особенностей этой оболочки является неразрывная связь и взаимопроникновение живых организмов и неживой (по В.И. Вернадскому, «косной») материи. Об указанной особенности следует постоянно помнить, устанавливая основные геохими-

Чвские и биогеохимические закономерности, характеризующие чу уникальную оболочку.

Все химические реакции в биосфере происходят или с участием живых организмов, или в среде, созданной под их влиянием. Это также определяется одним из законов В.И. Вернадского и еще раз подчеркивает отличие процессов, происходящих в биосфере, от реакций, осуществляемых в лабораториях, а также от реакций, идущих в других оболочках и ядре Земли.

Изучая особенности распределения и миграции химических элементов в биосфере, можно установить самые общие закономерности, характеризующие ее в целом. Однако биосфера — очень неоднородная система. Внешние факторы миграции элементов весьма существенно изменяются в ее пределах как по вертикали, так и по горизонтали — по поверхности Земли. Для установления закономерностей распределения и миграции химических элементов в отдельных, отличающихся друг от друга частях биосферы необходимо в первую очередь выделить такие части. Это должны быть своеобразные «блоки» или «кирпичики», сохраняющие основную особенность биосферы (ее биокосность) и отличающиеся друг от друга внешними факторами миграции элементов. Кроме того, природные «кирпичики» обязательно должны отвечать еще одному требованию — объединяться между собой по определенным признакам, и эти объединения также должны представлять единую природную систему. Только в таком случае можно, изучая особенности распределения элементов как в пределах отдельных участков, так и в их различных объединениях, установить основные геохимические законы и закономерности миграции и концентрации химических элементов в биосфере. Без знания и учета этих законов антропогенная деятельность будет постоянно вступать в противоречия с природой..

Опыт многочисленных исследований показал, что для такого изучения наиболее удобным является ландшафтный уровень. При этом *геохимические ландшафты* должны рассматриваться как «кирпичики, составляющие биосферу». Сами же ландшафты, по определению А.И. Перельмана, «...такое же фундаментальное понятие естествознания, как "химический элемент", "живой организм", "почва", "минерал"». Являясь биокосными образованиями, ландшафты вполне отвечают первому требованию условного разделения биосферы на отдельные блоки.

Геохимические ландшафты отвечают и второму из перечисленных требований: их объединение с учетом различных факторов ми-

грации элементов, заложенных в классификационных уровнях, дает относительно самостоятельные геохимические системы. Так, возможно объединение, в зависимости от преобладания основного вида миграции, различных техногенных и биогенных ландшафтов. При этом обе группы ландшафтов могут рассматриваться как относительно самостоятельные системы со своими закономерностями распределения химических элементов. Подобное объединение можно проводить и при крупномасштабных работах, выделяя, например, среди техногенных ландшафтов только сельскохозяйственные и т.д.

С учетом классификационного уровня, учитывающего атмосферную миграцию элементов, ландшафты можно объединить, например, в такие группы: 1 — подверженные воздушной эрозии, 2 — не подверженные воздушной эрозии, 3 — с современным отложением эолового материала. Все они будут относительно самостоятельными геохимическими системами, в которых существуют свои закономерности распределения элементов. Подобные примеры можно привести для каждого классификационного уровня.

Центром геохимических ландшафтов считаются *почвы,* также представляющие собой сложную биокосную систему. Для их верхнего гумусового горизонта характерно максимальное напряжение геохимических процессов. Изучение этих процессов позволяет переходить к закономерностям распределения химических элементов в ландшафте и в его отдельных частях. Следовательно, экологическая геохимия довольно тесно связана с почвоведением и геохимией почв.

Составной частью геохимических ландшафтов являются также *растительные и животные организмы, коры выветривания, поверхностные и подземные воды и, отчасти,— почвоподстилающие г ные породы*. Без изучения геохимических особенностей этих составных частей ландшафта часто невозможно прогнозировать поведение химических элементов в конкретном ландшафте в целом. Следовательно, экологическая геохимия теснейшим образом связана с гидрохимией и гидрогеохимией, изучающими поверхностные и подземные воды, а также с биогеохимией, геохимией горных пород и кор выветривания.

Необходимо отметить, что отдельные геохимические ландшафты и составляющие их биокосные природные тела (почвы, коры выветривания, подземные и грунтовые воды) не являются какими-то обособленными системами. Все они теснейшим образом связаны между собой в более сложной системе — биосфере. Их

«расчленение» и «самостоятельное» изучение протекающих в них процессов являются в определенной мере искусственными. Делается это для облегчения познания закономерностей этих самых разнообразных процессов.

До сих пор мы рассматривали предмет «экологическая геохимия» преимущественно как часть геохимии, почти не вспоминая об определяющем его понятии «экологическая». В современном понятии *экология* — это наука, изучающая условия существования животных и растительных организмов, взаимосвязи между этими организмами, а также между ними и средой их обитания.

Условия существования организмов можно рассматривать со многих и чрезвычайно различных позиций. Одним из важнейших показателей не только комфортности существования, но даже выживания является характеристика среды проживания животных или произрастания растений. Если мы начнем производить оценку среды с точки зрения химического состава, да еще и на современном атомно-ионном уровне и с учетом форм нахождения химических элементов,— это будет геохимическая оценка условий существования организмов. Ее проведение — одна из основных задач, стоящих перед экологической геохимией. Такую оценку можно проводить, подходя с глобальных позиций. При этом она должна быть сделана исходя из особенностей распределения, миграции, концентрации и форм нахождения химических элементов в биосфере в целом. Первая часть оценки необходима для установления самых общих геохимических критериев существования живых организмов. Таким образом будут определены первые геохимические реперы для оценки возможности развития жизни, подобной той, которая есть на Земле. И вот здесь мы подходим к второй части этой оценки — космической оценке геохимических параметров возможности появления (а в первом приближении к комфортности) жизни (аналогичной той, что развилась на Земле) на других космических объектах. Эта часть глобальной оценки геохимических параметров существования жизни на Земле только в настоящее время начинает иметь практическое значение. По мере обживания космического пространства она будет резко возрастать.

Оценка геохимических условий существования организмов проводится и при более крупномасштабных исследованиях. В этих случаях определяются геохимические условия жизни организмов в отдельных частях биосферы. В качестве таких частей, как уже отмечалось, целесообразнее всего брать геохимические ландшафты или их определенные совокупности, составленные с учетом ряда

параметров миграции элементов. Опыт работы показал, что объединение геохимических ландшафтов удобно проводить по определенным таксономическим уровням (подробнее см. гл. 7). В случае необходимости могут оцениваться геохимические параметры условий существования организмов в отдельных частях геохимических ландшафтов, например в почвах, подземных водах и т.д.

При крупномасштабных исследованиях появляются более благоприятные предпосылки для выяснения геохимических условий существования организмов определенных видов или их сообществ. Однако следует подчеркнуть, что в случае устоявшихся природных систем (а это большинство биогенных ландшафтов) нельзя говорить об экологических условиях только для одних видов, не касаясь других. Слишком велика взаимосвязь между ними, и изменения условий существования одних из них сказываются на существовании других.

Таким образом, мы переходим к взаимосвязи между организмами. Она, как и условия существования организмов, также может оцениваться с разных сторон, вплоть до психологической и социологической. В экологической геохимии взаимосвязь между организмами рассматривается как миграция химических элементов, находящихся в довольно сложной биогенной форме. Часто разделяют внутривидовую и межвидовую связи. Прослеживать их можно, начиная от возникновения (рождения) организма и кончая его смертью и разложением.

Чрезвычайно большое внимание в экологической геохимии уделяется рассмотрению взаимосвязи между организмами и средой их обитания, включая отдельные циклы биологического круговорота элементов. Эти процессы также разбираются с позиции миграции химических элементов, но сами элементы в данном случае могут находиться в различных формах, что придает особую сложность их перемещению и концентрации.

Еще одним важным разделом экологической геохимии является *биогеохимия*. В нем рассматривается химический состав различных организмов и его изменения, связанные с меняющимися условиями существования этих организмов. Изучению указанной проблемы большое внимание уделял В.И.Вернадский.

Все изложенное показывает, что экологическая геохимия, являясь в первую очередь геохимией, формируется «на стыке» целого ряда наук. Их уровень развития во многом определяет развитие отдельных направлений этой новой и чрезвычайно важной для выживания человечества науки.

1.2. История развития

Как уже указывалось, экологическая геохимия является одним из научных направлений геохимии — науки XX столетия. Время рождения геохимии можно назвать и более точно — это 1908-1911 гг. Местом ее рождения считается Московский университет, его кафедра минералогии, которой в те годы руководил В.И. Вернадский. В числе основоположников геохимии нельзя не назвать аспиранта В.И. Вернадского, а впоследствии академика А.Е.Ферсмана и норвежского ученого В.М.Гольдшмидта.

Оформлению геохимии как самостоятельной науки способствовали работы многих ученых, которых сначала называли натуралистами. Из их числа вышли многие геологи, экологи, физики, химики и математики. Исследования, проведенные ими, и создали тот научный фундамент, на котором начала строиться геохимия.

Непосредственному возникновению геохимии предшествовало заложение немецкими учеными Г.Р.Кирхгофом и Р.В.Бунзеном (1859) основ спектрального анализа. Именно этот метод на многие годы стал основным при геохимических исследованиях и таким образом способствовал развитию геохимии. Развитие геохимии было бы невозможным без выдающегося открытия Д.И.Менделеевым периодического закона (1869) и без целой серии открытий, позволивших представить строение атомов и ионов. Среди этих открытий важными вехами являются следующие: 1896 г. — открытие А.А. Беккерелем радиоактивности; 1897 г.— открытие Дж. Д. Томсоном электрона; 1898 г. — открытие сильно радиоактивных элементов (радия и полония) П.Кюри и М.Кюри-Склодовской; 1911 г.— открытие Э. Резерфордом атомного ядра и создание модели атома.

Формированию геохимии как самостоятельной науки предшествовали работы, которые можно считать даже первыми собственно геохимическими исследованиями. Так, в 1815 г. английский минералог В.Филлипс начал определять среднее содержание в земной коре десяти элементов. В определенной мере эти работы были продолжены французами Эли де Бемоном и АДобрэ. Однако все перечисленные исследования еще не являлись формированием новой науки. Позже, 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. Работы по уточнению этих данных проводились

Ф.У. Кларком долгие годы, а полученные им цифры для большинства распространенных элементов мало изменились с совершенствованием методов анализа и сохранили свое значение до настоящего времени. Деятельность этого исследователя высоко оценивалась основоположниками геохимии. Величины, характеризующие среднее содержание химических элементов, по предложению академика А.Е. Ферсмана стали называть *«кларками»*.

Первые геохимические законы и закономерности были открыты В.И. Вернадским, А.Е. Ферсманом и В.М. Гольдшмидтом, которых мы считаем основоположниками геохимии. Особое место принадлежит В.И.Вернадскому, гениальнейшему ученому, которого по разносторонности знаний можно сравнить разве что с Леонардо да Винчи. Бесспорно его можно считать отцом геохимии. Все сделанное им в науке настолько поражает, что если бы не очевидность того, что он существовал и к тому же совсем недавно, можно было бы подумать, что работал большой коллектив талантливых ученых, подписывавшихся одним псевдонимом Вернадский.



В.И.Вернадский (1863–1945)

Его труды нельзя относить к просто основополагающим (что само по себе уже характеризовало бы его как гения) — Владимир Иванович *создавал новые науки.* Кроме геохимии он заложил основы радиогеологии, биогеохимии, науковедения, учений о биосфере и ноосфере,.мерзлотоведении, гидрогеохимии, генетической минералогии, симметрии и диссимметрии и естественных производительных силах.

Вернадский был организатором и участником ряда экспедиций. Так, организованный им поиск радиоактивных минералов привел к открытию в Фергане в 1916 г. первого в стране Тюя-Муюнского месторождения урановых руд. А еще за 6 лет до этого на общем собрании Академии наук он предсказал возможность управления скоростью радиоактивного распада. Но уже в 1922 г. Вернадский предупреждает человечество о вероятном самоуничтожении при использовании ядерной энергии. Академик А.Л. Яншин

писал: «Это был первый в мире протест против возможных в будущем атомных войн».

Особо следует 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, Радиевый, Керамический, Оптический. Он основал биогеохимическую лабораторию, создал комиссии по изотопам, урану, изучению вечной мерзлоты, истории знаний и многие другие.

В.И.Вернадский владел всеми славянскими, романскими и германскими языками, причем в такой мере, что, будучи за границей, писал научные работы на языке той страны, в которой жил в это время.

Еще на третьем курсе университета Вернадский специализируется по кристаллографии и минералогии, а руководителем у него становится Василий Васильевич Докучаев. Основные же его труды о биосфере были написаны, когда ему было уже за 60. Поразительное научное долголетие!

Работы В.И. Вернадского предопределили возникновение и, как ожидается, бурное развитие экологической геохимии. Отечественные и зарубежные энциклопедии называют его творцом учения о биосфере. Первой обобщающей работой в этой области была его монография «Биосфера» (1926), в которой дана довольно полная картина процессов, протекающих в биосфере. В работах Вернадского большое внимание уделяется влиянию на течение этих процессов 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 техногенных химических соединений.

Работы В.И. Вернадского положили начало планомерному изучению химического состава живых организмов. Обобщая первые работы в этом направлении, Вернадский писал: «Химический состав организмов колеблется едва ли не менее, чем состав минералов». Однако учение о биосфере и неизбежности ее перехода в ноосферу не было в полной мере оценено современниками. Гениальность многих разработок В.И. Вернадского оценена только сейчас. К сожалению, значительная часть его работ, в том числе и уже подготовленных монографий, начала публиковаться только в 70-х годах, а многие не опубликованы до сих пор. Это-

му мешали цензура и, вероятно, то, что В.И. Вернадский был одним из основателей и членом ЦК партии кадетов.

Сейчас принято решение о выпуске 17 тематических томов полного собрания сочинений В.И.Вернадского. Главным редактором серии является академик А.Л. Яншин. В 1992 г. под редакцией проф. В.В.Добровольского вышел первый том: «Труды по биогеохимии и геохимии почв». У широкой научной общественности появилась возможность ознакомиться с работами гениальнейшего ученого.



А.Е.Ферсман (1883–1945)

Впервые курс новой науки — геохимии был прочитан в Москве для студентов Народного университета им. А.Л.Шанявского А.Е.Ферсманом. Им же в 1933—1939 гг. были впервые систематизированы в четырех томах «Геохимии» данные о миграции и концентрации химических элементов с объяснением причин (внешних и внутренних факторов), обуславливающих их. Эта прекраснейшая, научная в самом высоком смысле слова книга написана настолько талантливо, что может читаться запоем. Ее значение не пропало с годами, а многие из содержащихся в ней положений только сейчас начинают получать развитие.

Аналитический склад ума, преданность науке и огромная работоспособность АЕ.Ферсмана были отмечены В.И.Вернадским, аспирантуру у которого и проходит А.Е.Ферсман. Для подготовки к профессорскому званию по рекомендации В.И.Вернадского он с целью повышения квалификации выезжает в 1907—1909 гг. в Австрию, Германию, Францию, Италию. В результате Ферсман не только изучает многие месторождения, повышает квалификацию, но подготавливает и издает с кристаллографом В. Гольдшмидтом (не геохимиком) классическую двухтомную монографию об алмазах «Der Duamant», готовит научные статьи и собирает материал, впоследствии вошедший в еще одну имеющую до сих пор большое научное значение монографию — «Пегматиты».

За работы по минералогии Александр Евгеньевич в 1909 г. удостоен золотой медали, в 1919 г. становится профессором Петроградского университета и академиком. За свою жизнь он был членом многих научных обществ и комиссий, директором Минералогического музея и институтов, участвовал в многочисленных жепедициях в Крым, Сибирь, на Кавказ, в Хибины, на Урал, Алтай. При этом он успел внести огромный вклад в развитие геохимии и геологии в целом, опубликовать не только прекрасные фундаментальные научные работы, но и научно-популярные, а также художественные книги.

Большое внимание в работах А.Е. Ферсмана уделено изучению влияния на перемещение химических элементов внутренних факторов, обусловленных их строением, и в первую очередь — энергетическим коэффициентам ионов. Именно эти работы вместе с работами В.И.Вернадского и В.М.Гольдшмидта составили фундамент геохимии. В своих исследованиях Ферсман широко использовал такие понятия, как «заряд» и «радиус иона». Особо следует отметить введение им термина «техногенез» (1922), который характеризует геохимическую деятельность человечества и начало изучения этого процесса. Без этих работ нельзя говорить об *экологической геохимии*.

Лучшие работы В.М. Гольдшмидта связаны с установлением размеров ионных радиусов и определением их влияния на состав минералов. Можно считать, что под влиянием его идей началось бурное и плодотворное развитие кристаллохимии, первый закон которой был сформулирован им. В 1929 г. Гольдшмидт переезжает из Норвегии в Геттинген и возглавляет работы в институте с новейшим оборудованием. Начинает формироваться новая научная школа. Однако пришедший к власти фашизм вынуждает талантливейшего ученого эмигрировать. Без лидера и новейшее оборудование не дает должного результата для разви-



В.М.Гольдшмидт (1888–1947)

тия только что зародившейся науки. В Норвегии В.М. Гольдшмидт попадает в концлагерь, откуда бежит в Швецию, а затем в Англию. Все это подорвало его здоровье и в возрасте 59 лет в 1947 г. он скончался.

Под влиянием В.И. Вернадского и А.Е. Ферсмана в СССР возникает замечательная школа геохимиков (А.П. Виноградов, К.А. Власов, А.Ф. Капустинский, А.А. Сауков, Д.И. Щербаков, В.В. Щербина и др.). Быстрое развитие науки и практическое использование многих разработок приводит к разветвлению геохимии.

После монографии В.И. Вернадского о природных водах начинает свое формирование как самостоятельная наука гидрогеохимия (О.А. Алекин и др.). Возникает учение о геохимии месторождений полезных ископаемых (Н.И. Сафронов, А.П. Соловов, ВА. Соколов, Б.Л. Флеров, М.Ф. Зенин и др.). Начинаются исследования в области геохимии руд, магматических и осадочных пород (А.П. Заварицкий, Я.В. Самойлов, Л.В. Пустовалов, А.В. Казаков и др.), геохимии процессов выветривания (И.И. Гинзбург, Б.Б. Полынов и др.).

После смерти В.И. Вернадского и А.Е. Ферсмана (1945) наблюдается определенный спад в развитии науки, в политехнических институтах и подавляющем большинстве университетов курс геохимии перестают читать. Сказываются также репрессии, применяемые ко многим ученым в 30—50-е годы. Однако с конца 60-х годов начинается новый этап бурного развития и разветвления геохимии. Наряду с новыми работами соратников основателей этой науки появляются публикации новых исследователей. Идет углубленное изучение распределения и миграции элементов в различных частях земной коры. Большая работа в эти годы проводится А.А. Беусом, Г.В. Войткевичем, Б.А. Гаврусевичем, С В. Григоряном, В.В и Г.В. Добровольскими, ВА. Жариковым, Н.С. Касимовым, Е.М. Квятковским, Н.П. Лаверовым, К.И. и В.К. Лукашевыми, ДА. Минеевым, А.Е. Мирошниковым, А.М. Никаноровым, А.М. Овчинниковым, Л.Н. Овчинниковым, В.П. Парначевым, А.И. Перельманом, Е.В. Посоховым, А.Б. Роновым, Г.Б. Свешниковым, Л.В. Таусоном, А.И. Тугариновым, П.А. Удодовым, Н.И. Хитаревым, С.Л. Шарцевым, АЛ. Яншиным, АА. Ярошевским, автором этого учебника. Без работ этих исследователей невозможно представить современную геохимию и формирование ее новой ветви — экологической геохимии.

Развитию геохимии за рубежом способстювали работы Ф.У. Кларка, В.М. Гольдшмидта, а также преподавание в Праге и Париже

в 20-е годы В.И. Вернадского. Нельзя не вспомнить таких ученых, как П. Ниглли, Г. Хавеши, В. и Н. Ноддаки, Я. Мияки, С. Аррениус, Х.К. Юри, Б. Мейсон, Х. Рееллер, Х. Ланге, К. Турекьян, К. Ведеполь, Э. Дегенс, К. Ранкама.



Ф.У.Кларк (1847–1931)

В экологической геохимии значительное внимание уделяется миграции и концентрации химических 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 также послужило еще одной причиной широкого привлечения в экологическую геохимию достижений смежной науки — геохимии ландшафта.

Основные положения *геохимии ландшафта* как формирующейся науки были сформулированы в 40—50-х годах нашего столетия в серии работ Б.Б. Полынова, а первое систематическое изложение геохимии ландшафта сделано А.И. Перельманом в 1955 г. («Очерки геохимии ландшафта»). С 1951 г. преподавание новой науки началось на географическом факультете МГУ. Очень много для развития геохимии ландшафта сделано профессорами М.А. и Н.Ф. Глазовскими, В.В. и Г.В. Добровольскими, Н.С. Касимовым, В.М. Питулько, Н.А. Росляковым, Ю.Е. Саетом, Г.Б. Свешниковым, В.А. Снытко, Н.П.Солнцевой, Е.П. Сорокиной, Б.А. Судовым, Т.Т. Тайсаевым, Н.К. Чертко и др. Автором была разработана классификация геохимических ландшафтов, позволяющая широко внедрять учение о геохимии ландшафта в практику геологических работ; были изданы первые региональные карты геохимических ландшафтов.

Итоги многолетних ландшафтно-геохимических исследований были подведены на первом (1982) и втором (1986) всесоюзных совещаниях по проблеме «Геохимия ландшафтов при поисках месторождений полезных ископаемых и охране окружающей среды». Совещания проводились в Новороссийске на базе отдела геохимии биосферы (ставшего позже Научно-исследовательским институтом геохимии биосферы Ростовского государственного университета). Важнейшие направления работ в нем связаны с проблемами экологической геохимии и геохимии ландшафта. Организаторами совещаний были АН СССР и Министерство геологии СССР.



В.В.Докучаев (1846–1903)

Максимальное напряжение геохимических процессов, происходящих в ландшафтах, отмечается в почвах. Начало создания новой науки — *почвоведения* — связывается с именем проф. В.ВДокучаева, который в 1879 г. возглавил кафедру минералогии и кристаллографии в Петербургском университете. «В истории естествознания в России в течение XIX в. немного найдется людей, которые могли бы быть поставлены наряду с ним по влиянию, какое они оказали на ход научной работы, по глубине и оригинальности их обобщающей мысли. Так или иначе, Докучаев явился главой целой школы русских ученых» — писал в 1903 г., после смерти этого талантливейшего ученого, В.И. Вернадский. В числе учеников В.В.Докучаева, кроме В.И. Вернадского — почвоведы К.Д. Глинка, Н.М. Сибирцев, Г.Н. Высоцкий, географы А.Н. Краснов и Г.Н. Танфильев, петрограф Ф.Ю. Левинсон-Лессинг.

В.В. Докучаев разработал совершенно новое представление о почве как об особой биокосной системе («естественно-историческом теле»), возникающей и развивающейся под воздействием целого ряда почвообразующих факторов. Оно послужило основой генетического почвоведения. Следует также отметить разработанные Докучаевым принципы картографии почв. Развитие

направлений связано . именами его учеников и послетелей. Среди них нельзя не • мнить К.К. Гедройца, котог>пl и пел в практику почвенных .... к-дований химические и фи- • химические методы анали- |..п Очень много для установлении особенностей процесса почти >оразования сделал Б.Б.Понтон.



Б.Б.Полынов (1877—1952)

Важные исследования, разипшмие почвоведение, были сде- Ипы учеными других стран. II первую очередь это американский почвовед Е.В.Гильгард (1883-1916); немецкие - Э.Рамапн (1853-1926), Э.Бланк (1877-1955), ВЛ.Кубиены (1897-1970), англичанин Дж. М илн, австралийцы Дж. Прескотт, С.Стифенс и др. Очень быстро почвоведение, возникшее в конце прошлого века, получило широкое развитие. Без него стали немыслимы развитие сельского хозяйства, экологии.

В последние десятилетия началось детальное изучение геохимических процессов, происходящих в почвах. Толчком для этого послужило развитие поисков месторождений полезных ископаемых по вторичным литохимическим ореолам. Публикуется ряд научных монографий и учебников (А.А. Сауков, 1963; К.И. и В.К. Лукашевы, 1967; Н.И. Сафронов, 1971; В.А. Алексеенко, 1973, 1974; А.А. Беус, СВ. Григорян, 1975; М.И. Толстой, 1976; Е.М. Квятковский, 1977; В.А. Алексеенко, Г.В. Войткевич, 1979; В.Л. Барсуков, СВ. Григорян, Л.Н. Овчинников 1981; А. П. Соловов, 1985; С. В. Григорян, В. И. Морозов, 1985; В.А. Алексеенко, 1989). Позже изучение геохимии 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. Труды В.В. Добровольского и МА. Глазовской несомненно способствуют становлению экологической геохимии.



М.А.Глазовская

После основополагающих работ В,И. Вернадского было очень много сделано в развитии *биогеохимии*. Для установления закономерностей формирования химического состава организмов, особенно растений, большое значение имели работы В.А. Алексеенко, Е.Е. Беляковой, А.А. Беуса, А.П.Виноградова, Л.И. Грабовской, В. В. Добровольского, Э.Ф. Жбанова, ВА.Загоскина, Е.П. Захарова, В.П. Иванчикова, П.В. Ивашова, А.Л. Ковалевского, В.К. Лукашева, Д.П. Малюги, Б.Ф. Мицкевича, А.И. Перельмана, В.В. Поликарпочкина, Т.Т. Тайсаева, Р.М. Талипова, С М. Ткалича и др.

Экология также сравнительно молодая наука. Само слово «экология» впервые было использовано немецким биологом Э. Геккелем в 1886 г. Оно происходит от двух греческих слов oicos (дом) и logos (наука). К числу первых экологов следует отнести Ч.Дарвина. Кроме знаменитой теоретической работы «Происхождение видов» (1859) у него имеется ряд работ, посвященных изучению условий жизни организмов. Одним из основателей географии растений, учения о жизненных формах, землеведения и климатологии, что в сумме представляет основы экологии, был немецкий естествоиспытатель Александр Гумболдт (1769-1859). В ряд основателей экологии растений входят аме-



В.В.Добровольский



Александр Ильич Перельман (1912–1998) со своим учеником В.А.Алексеенко, автором этого учебника

риканский ботаник А.Грей (1810-1888), швейцарские ботаники де Кандоль: отец (1778-1841) и сын (1806-1903), немецкий ботаник А. Энглер (1844—1930). Нельзя также не вспомнить Мебиуса, предложившего в 1877 г. термин «биоценоз». Среди первых работ по становлению теоретических основ экологии — труд Элтона «Animal ecology» (1927).

В начале нынешнего века создаются Британское (1913) и Американское (1916) экологические общества. В это же время начинается выпуск специализированных журналов: «Journal of ecology» (1913), «Ecology» (1920), «Ecologycal monographs» (1931) и др. В 1970 г. АН СССР начинает издавать научный журнал «Экология». В последние десятилетия начинается бурное развитие экологии в нашей стране.

Необходимость рассмотрения, с точки зрения экологии, различных геохимических процессов, протекающих в биосфере, привела к созданию науки *«экологическая геохимия»*. Следует еще раз отметить, что ее возникновение стало возможным только благодаря успехам в развитии таких наук, как *геохимия ландшафта, биогеохимия, экология,* а также работам по изучению *вторичных ге-*

охимических ореолов рассеяния месторождений полезных ископаемы
Чрезвычайно большое влияние на ее становление оказали работы наших талантливейших современников М,А. Глазовской, В.В. Добровольского, А. И, Перельмана.

:

ГЛАВА 2
ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ПОНЯТИЯ

2.1. Геологические, физико-химические и собственно геохимические понятия

Жизнь различных организмов получила развитие только на тонкой пленочной оболочке Земли. Ее масса меньше 0,1% массы Земли, а составляющие ее химические элементы в основном сгруппировались в минералы с кристаллическим строением.

В этом разделе главы даются понятия об основных факторах, определяющих сочетание элементов в минералах, некоторые свойства самих минералов, доступность составляющих их элементов для организмов.

Оболочки земного шара. Земля, по современным данным, состоит из ряда концентрических оболочек, облегающих одна другую и весьма существенно отличающихся друг от друга физико-химическими и геохимическими особенностями. Основными из них являются атмосфера, гидросфера, литосфера, мантия.

Атмосфера — газовая оболочка, состоящая в основном из азота и кислорода с примесями водяных паров, углекислого, редких и благородных газов.

Гидросфера — водная оболочка, состоящая из природных вод. Включает в себя воды океанов, морей, рек, а также подземные воды, насыщающие горные породы.

Литосфера — каменная оболочка, состоящая из горных пород, к которым относятся граниты, базальты, сланцы, песчаники, известняки и т.д.

Земная кора — неоднородная по агрегатному состоянию и составу верхняя оболочка Земли, включающая литосферу, гидросферу, атмосферу. При определении химического состава земной коры учитывается в основном состав твердой земной коры (литосферы). На долю гидросферы приходятся единицы процентов, а атмосферы — сотые доли процента от массы литосферы.

Мантия — оболочка Земли, располагающаяся между земной корой и ядром. Ее граница с корой проходит по поверхности Мохоровичича, которая устанавливается по относительно резкому изменению скорости продольных сейсмических волн — с 6,6—7,7 до

7,9—8,2 км/с. Предполагается, что она состоит из тяжелых минералов, богатых магнием и железом. (Более подробно состав и свойство оболочек рассматриваются в гл. 4).

Биосфера. **В** настоящее время, говоря о биосфере, подразумевают особую оболочку Земли, в которой существуют живые (животные и растительные) организмы, а следовательно, проявляется и их геохимическая деятельность. В биосферу входят населенные живыми организмами атмосфера, гидросфера, часть литосферы. Биосфера является крупнейшей из известных биокосных систем (см. разд. 2.2).

Выветривание -=- процесс приспособления к условиям биосферы минералов и горных пород, образовавшихся в глубинных условиях. Оно происходит в результате изменения физико-химической обстановки, в которой формировались эти породы, минералы при их попадании в зону выветривания. Большую роль в рассматриваемом процессе играют животные и растительные организмы. Условно выветривание разделяют на физическое, химическое и биологическое. В определенных условиях может наблюдаться существенное преобладание одного из перечисленных типов выветривания.

Седиментация — образование всех видов осадков (осадкообразование) в результате совокупного воздействия физических, химических и биологических процессов, происходящих в биосфере.

Диагенез — процесс превращения осадков в горные породы (см. ниже).

Эпигенез — процессы, происходящие в сформировавшейся горной породе. Ряд особенностей процесса и даже сам термин исследователями трактуется неоднозначно.

Метаморфизм горных пород — совокупность процессов изменения горных пород за пределами зон выветривания (в более глубинных зонах). Степень изменения определяется в основном температурой, давлением и содержанием веществ, химически активных в конкретных условиях. Обычно различают следующие виды метаморфизма: *региональный, контактовый* и *динамометаморфизм*. Все они приводят к образованию метаморфических горных пород.

Минерал — это, по В.И. Вернадскому, физически или химически индивидуальный продукт земных химических реакций, состоящий из химических молекул (более подробно см. разд. 3.2).

Горные породы — плотные или рыхлые агрегаты, слагающие земную кору. Они могут состоять из однородных и различных мине-

ралов и обломков других горных пород. Среди горных пород выделяются *магматические, осадочные* и *метаморфические.*

Магматические горные породы — это породы, образовавшиеся in магмы в результате ее охлаждения и затвердевания. Остывшие на глубине называются *интрузивными,* а образовавшиеся в результате изливания расплава на поверхность — *эффузивными.*

По содержанию кремнезема магматические породы подразделяются на *кислые* (80—60% $Si0_2$), *средние* (около 60% $Si0_2$) и *ультраосновные* (менее 45% $Si0_2$).

Осадочные горные породы — образуются на поверхности земной коры в результате следующих основных процессов: химического и механического выпадения осадков из вод; жизнедеятельности растительных и животных организмов; переотложения продуктов выветривания.

В зависимости от состава и происхождения выделяются три наиболее распространенные группы осадочных пород: *глинистые, песчаные* и *карбонатные.* Они составляют от 95 до 99% общей массы осадочных пород. Соотношение занимаемых ими объемов определяется как 5:3:2.

Метаморфические горные породы — это породы, претерпевшие изменения под воздействием процессов метаморфизма. К метаморфическим относятся различные сланцы, гнейсы, роговики, скарны и т.п.

Коры выветривания, по А.И. Перельману,— это рыхлые продукты изменения горных пород, образующиеся под почвой за счет поступающих из нее растворов. Для коры выветривания характерны широкое развитие процессов окисления и гидратации (см. 3.2.5) при отсутствии биогенной аккумуляции элементов под влиянием растений (А.И.Перельман, 1989).

Полезное ископаемое — природное вещество, пригодное для использования в хозяйственной деятельности. Среди полезных ископаемых выделяются *рудные, неметаллические, горючие* (каустобиолиты), *гидроминеральные.*

Месторождения полезных ископаемых — участки земной коры, минеральное вещество которых по количеству, качеству и условиям залегания при данной экономической конъюнктуре пригодно для промышленного использования.

Разными исследователями предложены различные классификации месторождений, основанные на генезисе, морфологии, вещественном составе и применении руд. Наибольшее распространение получили генетические классификации, по которым выде-

ляются *эндогенные* (связаны с внутренней энергией Земли), *экзогенные* (связаны с внешней энергией Солнца) и *метаморфогенные* месторождения.

Среди первых наиболее распространены *магматические* и *постмагматические,* в основном — *гидротермальные,* связанные с продвижением нагретых вод. Среди экзогенных месторождений в первую очередь выделяют месторождения *выветривания* (обычно они связаны с корами выветривания) и *осадочные*. Осадочные образуются телами полезных ископаемых, представленных механическими, химическими и биохимическими осадками.

Геохимические индикаторы — это химические элементы (их соединения), по изменениям особенностей распределения которых в различных геохимических объектах (в том числе и в разных составных частях геохимического ландшафта) ведутся поиски месторождений полезных ископаемых геохимическими методами.

Геохимические индикаторы, которые соответствуют основным химическим элементам, слагающим тела полезных ископаемых, называют *прямыми*. Индикаторы, не составляющие основу тел полезных ископаемых, но часто являющиеся «спутниками» полезных компонентов или связанными с ними определенными закономерностями, получили название *косвенных* индикаторов.

Шлих — концентрат тяжелых минералов, получаемый в результате промывки рыхлых образований, искусственно измельченных горных пород или каких-либо минеральных образований.

Кларковое содержание (кларк) — среднее содержание химического элемента в земной коре, какой-либо ее части или Земле в целом.

Кристаллическая (пространственная) решетка — закономерная совокупность узлов, представленных атомами, ионами, молекулами, заполняющими пространство. Схематически отражает реальные кристаллические структуры.

Атомные (R_a) и ионные (^радиусы выражают размеры радиусов несколько идеализированных шаровидных атомов и ионов. Для их установления необходимо было определить величину хотя бы одного ионного (атомного) радиуса и межатомные расстояния в кристаллических решетках. На основе целого ряда специальных измерений были установлены размеры F", O^{2-} и еще нескольких ионов, что позволило определить ионные радиусы других элементов. Расчеты разных исследователей дали довольно близкие друг к другу величины (табл. 2.1). Ими успешно пользовались при самых различных геохимических построениях и для объяснения разнообраз-

Таблица 2.1

Величины ионных радиусов, Å

Ион	№ элемента	По Гольдшмидту	По Бокию и Белову	Ион	№ элемента	По Гольдшмидту	По Бокию и Белову
1	2	3	4	5	6	7	8
Ac^{3+}	89	–	1,11	Ni^{2+}	28	0,78	0,74
Ag^{1+}	47	1,13	1,13	Ni^{3+}	28	0,35	–
Al^{3+}	13	0,57	0,57	Ni^{5+}	28	–	–
As^{3-}	33	–	1,91	Ni^{6+}	28	–	–
As^{3+}	33	0,69	0,69	NO_3^{1-}	7,8	–	–
As^{5+}	33	–	0,47	O^{2-}	8	1,32	1,36
At^{7+}	85	–	–	O^{6+}	8	–	0,09
Au^{1+}	79	–	1,37	Os^{2+}	76	–	–
Au^{3+}	79	–	0,85	Os^{3+}	76	–	–
B^{3+}	5	–	0,21	Os^{4+}	76	0,67	0,65
Ba^{2+}	56	1,43	1,38	P^{3-}	15	–	1,86
Be^{2+}	4	0,34	0,34	P^{5+}	15	0,35	0,35
BF_4^{1-}	5,9	–	–	Pa^{3+}	91	–	1,06
Bi^{3-}	83	–	2,13	Pa^{4+}	91	–	0,91
Bi^{3+}	83	–	1,20	Pb^{2+}	82	1,32	1,26
Bi^{5+}	83	–	0,74	PO_4^{3-}	15,8	–	–
Br^{1-}	35	1,96	1,96	Pr^{3+}	59	1,16	1,00
Br^{7+}	35	–	0,39	Pr^{4+}	59	1,00	–
C^{4-}	6	–	2,60	Pt^{2+}	78	–	–
C^{4+}	6	0,20	0,15	Pt^{4+}	78	–	0,64
Ca^{2+}	20	1,06	1,04	Pt^{5+}	78	–	–
Cd^{2+}	48	1,03	0,99	Pt^{6+}	78	–	–
Gd^{3+}	64	1,11	0,94	Ra^{2+}	88	1,52	1,44
Ce^{4+}	58	1,02	0,88	Rb^{1+}	37	1,49	1,49
Cl^{1-}	17	1,81	1,81	Pd^{2+}	46	–	–
Cl^{7+}	17	–	0,26	Pd^{4+}	46	–	0,64
Co^{2+}	27	0,82	0,78	Re^{4+}	75	–	0,72
Co^{3+}	27	0,64	0,64	Re^{6+}	75	–	0,56

Окончание табл. 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8
Ir^{4+}	77	0,66	0,65	Ti^{2+}	22	0,80	0,78
K^{1+}	19	1,33	1,33	Ti^{3+}	22	0,69	0,69
La^{3+}	57	1,22	1,03	Ti^{4+}	22	0,64	0,64
Li^{1+}	3	0,78	0,68	Tl^{1+}	81	1,49	1,36
Lu^{3+}	71	0,99	0,80	Tl^{3+}	81	1,05	1,05
Mg^{2+}	12	0,78	0,74	Tm^{3+}	69	1,04	0,85
Mn^{2+}	25	0,91	0,91	U^{3+}	92	–	1,04
Mn^{3+}	25	0,70	0,70	U^{4+}	92	1,04	0,95
Mn^{4+}	25	0,52	052	U^{5+}	92	–	–
Mn^{7+}	25	–	0,46	U^{6+}	92	–	–
Mo^{4+}	42	0,68	0,68	V^{2+}	23	0,72	0,72
Mo^{6+}	42	–	0,65	V^{3+}	23	0,65	0,67
MoO_4^{2-}	42,8	–	–	V^{4+}	23	0,61	0,61
N^{3-}	7	–	1,48	V^{5+}	23	0,40	–
N^{5+}	7	0,15	0,15	W^{4+}	74	0,68	0,68
Na^{1+}	11	0,98	0,98	W^{6+}	74	–	0,65
Nd^{3+}	60	1,15	0,99	Y^{3+}	39	1,06	0,97
Nb^{4+}	41	0,69	0,67	Yb^{3+}	70	1,00	0,81
Nb^{5+}	41	0,69	0,66	Zn^{2+}	30	0,83	0,83
NH_4^{1+}	7,1	1,43	–	Zr^{4+}	40	0,87	0,82

нейших процессов основоположники геохимии В.М. Гольдшмидт и А.Е. Ферсман, а вслед за ними подавляющее большинство геохимиков. И хотя радиусы ионов не являются точными физическими константами, все развитие науки геохимии подтверждает выводы ее основателей об огромном, определяющем значении этих величин. В то же время следует отметить некоторые ограничения в их использовании для интерпретации структур с ковалентной связью, а также концепцию ионно-атомных радиусов В.И. Лебедева. Согласно этой концепции, катионы должны быть больше анионов; объемы, занимаемые в земной коре кислородом (сейчас считается, что он занимает около 92% ее объема), должны резко уменьшаться; под сомнение ставится теория плотнейшей упаковки вещества и т.д.

В настоящей книге, как и в большинстве геохимических работ, используются старые системы ионных радиусов, которые, как уже указывалось, очень хорошо объясняют геохимические процессы. Величины радиусов ионов закономерно изменяются в зависимости от положения элементов в таблице Менделеева: в пределах групп они возрастают — с увеличением порядкового номера; в рядах с увеличением валентности катиона уменьшаются, а с увеличением валентности аниона возрастают; по диагонали имеют близкие размеры (правило диагональных рядов А.Е. Ферсмана). Кроме того, величины ионных радиусов несколько изменяются в зависимости от степени поляризации и координационного числа. Так, в табл. 2.1 они приведены для структур с координационным числом 6 (структура Nad); при координационном числе 4 следует вводить поправку, равную примерно — 6%, при числе 8 — поправку около +3%, а при 12 — примерно +*12%*.

Ионные радиусы взяты за основу при вычислении таких важнейших геохимических показателей, как ионные потенциалы Картледжа и энергетические коэффициенты Ферсмана (см. ниже). Они в значительной мере определяют растворимость соединений, их твердость, прочность, температуры плавления и кипения (см. гл. 3). Ими контролируется структура и энергия кристаллических решеток минералов (см. гл. 3). От радиусов во многом зависят особенности распределения элементов (см. гл. 4), их миграционные способности и зональность концентрации.

Координационное число характеризует количество ионов, непосредственно взаимодействующих с данным ионом в кристаллической решетке. Как правило, оно равно 3, 4, 6, 8. Обычно это число тем больше, чем меньше различаются радиусы взаимодействующих ионов. При одинаковых радиусах ионов в металлических решетках координационное число равняется 12. В свою очередь и размеры ионов в конкретных кристаллических решетках также зависят от координационного числа. Координационным числом в значительной мере определяются поляризационные свойства ионов.

Поляризация (поляризуемость) характеризует деформируемость атомов или ионов в электрическом поле. Она может быть определена количественно. Обычно различают активную поляризацию (а) — способность ионов деформировать «чужие» электронные оболочки, которые при этом испытывают пассивную поляризацию, или .поляризуемость (0). Величина деформации контролируется целым рядом факторов, основными из которых являются:

I) размеры ионных (атомных) радиусов — прямо пропорциональны поляризуемости;

') валентность (заряд иона) — прямо пропорциональна активности поляризации;

3) тип строения электронной оболочки — с увеличением координационного числа, т.е. симметрии решетки, явление поляризации ослабевает.

Суммарный коэффициент активной и пассивной поляризации, по А.Е. Ферсману, оказывает следующее воздействие:

• уменьшает радиусы ионов, сближает узловые расстояния в металлических решеток, тем самым укрепляет решетки и увеличивает их энергии;

• понижает растворимость соединений, температуру их кипения, плавления и сублимации, повышает летучесть и электропроводимость;

• увеличивает цветность, непрозрачность и металличность окраски соединений;

• способствует переходу от ионной связи к другим ее типам;

• усиливает фотохимическую чувствительность.

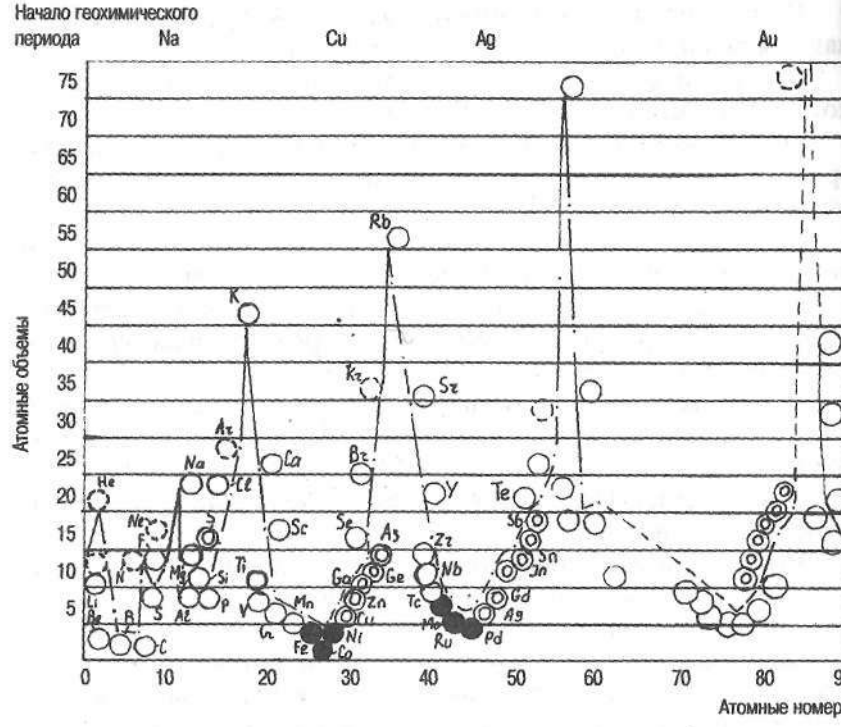
Таким образом, поляризация делает соединения менее доступными для животных и растительных организмов и усиливает в соединениях ряд свойств, значительно влияющих на условия существования организмов (окраска, электропроводимость).

Атомный объем элемента — частное от деления относительной атомной массы элемента на его плотность (объем, занимаемый 1 молем элемента в твердом состоянии). Этот физико-химический параметр в геохимии используется довольно редко. Однако периодичность его изменения послужила основой для одной из наиболее известных геохимических классификаций химических элементов (рис. 2.1).

Энергетические коэффициенты (ЭК), введенные в науку А.Е. Ферсманом, базируются на величинах радиусов ионов и относятся к важнейшим понятиям в геохимии. Их величины определяются по предложенным Ферсманом формулам, которые при использовании ангстремов имеют следующий вид:

$$ЭК_{аниона} = \frac{W^2}{2R_i}; \quad ЭК_{катиона} = \frac{W^2}{2R_i}[0{,}75(R_i + 0{,}2)].$$

Если же размеры радиусов выражать в нанометрах, то формулы будут выглядеть так:



Элементы: ○ — атмофильные; ● — сидерофильные; ○ — литофильные; ◎ — халькофильные

Рис. 2.1. Кривая атомных объемов

$$ЭК_{аниона} = \frac{W^2}{20R_i};\ ЭК_{катиона} = \frac{W^2}{20R_i}[0{,}75(10R_i + 0{,}2)].$$

Энергетические коэффициенты — величины безразмерные, однако, умножив их на 1071,74, получаем килоджоули. Можно считать, что это определенный пай энергии (энергетическая константа иона), который вносится каждым ионом при формировании кристаллических решеток.

После смерти Ферсмана (1945) наступил довольно продолжительный период «ревизий» и даже «неприятия» разработанной им геоэнергетической теории и энергетических коэффициентов. Анализируя многочисленные новые данные, можно уверенно говорить, что ЭК являются (как и ионные радиусы, используемые

дня их расчета) как бы «полуколичественными» показателями. Их Использование не только возможно, но и необходимо для поня- ПИЯ сути геохимических процессов. Однако *применение ЭК ограничивается ионной формой,* а во многих случаях даже есть возможность i и-lпения обратной задачи: если с помощью ЭК и Rj невозможно объяснить некоторые процессы, то элементы в них, как правило, участвуют не в виде ионов.

Для решения некоторых специальных задач Ферсман считал необходимым определять пай энергии иона, приходящийся на единицу заряда. Этот коэффициент, обозначаемый ВЭК, равняется •Ж, деленному на валентность.

Как указывалось, ЭК и ВЭК получили очень широкое применение в геохимии. Они используются для определения энергии кристаллических решеток, твердости и растворимости минералов, дальности миграции и зональности концентрации ионов, доступности элементов растениям, а также при решении ряда эколого-геохимических вопросов, рассматриваемых в этом учебнике.

Сродство к электрону характеризует величину энергии, выделяемой (поглощаемой) при соединении нейтрального атома с электроном. Обычно его абсолютные значения приводятся в таблицах величин потенциалов ионизации, так как они равны энергии, необходимой для отделения одного электрона от иона с зарядом —1. Естественно, при этом берется обратный знак (Г.В.Войткёвич и др., 1970, 1985). Обычно величина сродства к электрону используется в одном из методов вычисления электроотрицательности.

Потенциал ионизации атомов — величина энергии, необходимой для отрыва электрона от атома, т.е. энергии образования катиона. Определяют также потенциал ионизации ионов, т.е. энергию, требуемую для отделения последующих электронов от уже положительно заряженного (+1) иона. Эти величины (табл. 2.2) во многом определяют возможность изовалентного изоморфного замещения ионов: изоморфное замещение происходит только при близких значениях потенциалов ионизации замещаемого и замещающего ионов. Л. Арене (1952) назвал отношение величин потенциалов ионизации двух элементов *индексом анионного сродства.* При его значениях до 1,2 обычно ограничений для процесса изоморфизма нет. Знание рассматриваемых потенциалов необходимо и при нахождении величины электроотрицательности.

С увеличением значения потенциала ионизации резко уменьшается возможность образования чисто ионных кристаллических

Таблица 2.2

Потенциалы ионизации атомов

Атомный номер	Химический символ	I	II	III	IV	V	VI
1	2	3	4	5	6	7	8
1	H	0,75	13,595	–	–	–	–
2	He	–0,53	23,58	54,5	–	–	–
3	Li	0,54	5,39	75,62	122,42	–	–
4	Be	–0,6	9,32	18,21	153,85	217,66	–
5	B	0,3	8,296	25,15	37,92	259,30	340,13
6	C	2,08±0,87	11,264	24,376	47,86	64,48	391,99
7	N	0,04	14,54	28,6	47,426	77,45	97,86
8	O	2,73	13,614	35,15	54,93	77,39	113,87
9	F	3,94	17,418	34,98	62,65	87,23	114,21
10	Ne	–1,2	21,559	41,07	63,5±0,1	97,16	126,4
11	Na	0,08	5,138	47,29	71,8±0,1	98,88	138,6
12	Mg	–0,9	7,644	15,03	78,2±0,1	109,3	141,23
13	Al	0,09	5,984	18,82	28,44	119,96	153,8
14	Si	0,6	8,149	16,34	33,46	45,13	166,73
15	P	0,9	10,55	19,65	30,16	51,35	65,01
16	S	2,06	10,357	23,4	34,8	47,29	72,5±0,1
17	Cl	3,7	13,01	23,8	39,9	53,3	67,8±0,2
18	Ar	–1,0	15,755	27,6	40,9	59,79	75,0±0,1
19	K	0,69	4,399	31,81	45,9	61,1	82,6±0,4
20	Ca	–	6,111	11,87	51,21	67,3	84±0,1
21	Sc	–	6,56	12,75	24,75	73,9	91,8
22	Ti	–	6,83	13,57	28,14	43,24	99,8
23	V	–	6,74	14,2	29,7	48	65,2
24	Cr	–	6,764	16,49	31	(51)	73
25	Mn	–	7,432	15,64	33,69	(53)	(76)
26	Fe	–	7,9	16,18	30,64	(56)	(79)
27	Co	–	7,86	17,05	33,49	(53)	(82)
28	Ni	–	7,633	18,15	36,16	(56)	(79)

Продолжение табл. 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8
29	Cu	0,99	7,724	20,29	36,83	(59)	(83)
30	Zn	–	9,391	17,96	39,7	(62)	(86)
31	Ga	–	6	20,51	30,7	64,2	(90)
32	Ge	–	7,88	15,93	34,21	45,7	93,4
33	As	–	9,81	18,7±0,1	28,3	50,1	62±0,1
34	Se	–	9,75	21,5	32	42,9	68,3±0,1
35	Br	3,64	11,84	21,6	35,9	47,3	59,7±0,1
36	Kr	–	13,996	24,56	36,9	52,5	64,7
37	Rb	–	4,176	27,56	40	52,6	71
38	Sr	–	5,692	11,026	43,6	57,1	71,6
39	Y	–	6,38	12,23	20,5	61,8	77
40	Zr	–	6,835	12,92	24,8	33,97	82,3
41	Nb	–	6,88	13,9	28,1	38,3	50
42	Mo	–	7,131	15,72	29,6	46,3	61,2
43	Tc	–	7,23	14,87	31,9	(43)	(59)
44	Ru	–	7,36	16,6	30,3	(47)	(63)
45	Rh	–	7,46	15,92	32,8	(46)	(67)
46	Pd	–	8,33	19,42	(33)	(49)	(66)
47	Ag	1,1	7,574	21,48	36,1	(52)	(70)
48	Cd	–	8,991	16,904	44,5	(55)	(73)
49	In	–	5,785	18,86	28	58	(77)
50	Sn	–	7,332	14,6	30,7	46,4±0,1	91
51	Sb	–	8,64	16,7±0,5	24,8	44,1	63,8±0,5
52	Te	–	9,01	18,8±0,5	31	38	66±1
53	I	3,3	10,44	19	33	(42)	71
54	Xe	–	12,127	21,2	32,1	(45)	(57)
55	Cs	–	3,893	25,1	34,6±0,7	(46)	(62)
56	Ba	–	5,81	10	37±1	(49)	(62)
57	La	–	5,61	11,43	19,17	(52)	(66)
58	Ce	–	6,91	12,3	19,5	36,7	(70)
59	Pr	–	5,76	–	–	–	–

Примечание. Энергия, необходимая для отделения электрона: I — от кимократно отрицательно заряженного иона данного элемента с образо-Ваиием нейтрального невозбужденного атома (сродство к электрону с обратным знаком); II — от нейтрального невозбужденного атома; III—VI — in однозарядного (положительного) невозбужденного иона: для отделении второго (III), третьего (IV), четвертого (V), пятого (VI) электронов.

решеток (см. гл. 3). В этом случае будут преобладать атомно-ионн hie и атомные решетки. Они отличаются большей устойчивостью, и, следовательно, образующие их элементы будут менее доступны живым организмам.

Необходимо отметить, что существует определенная связь потенциала ионизации со скачками в строении электронных

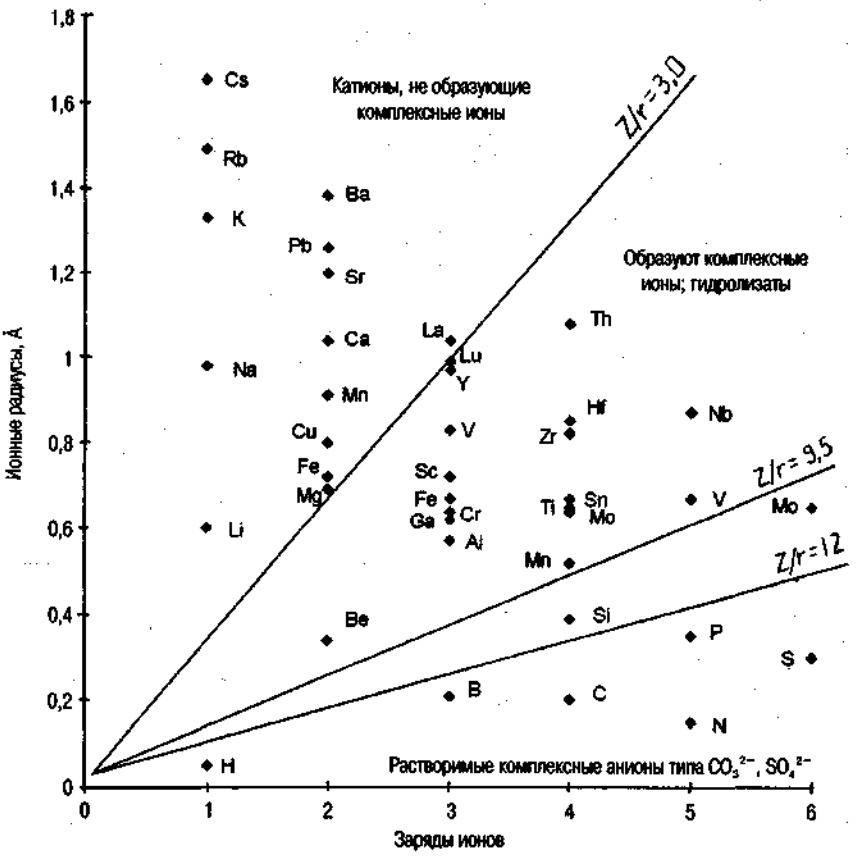


Рис. 2.2. Величины ионных потенциалов и связанные с ними свойства ионов

оболочек атомов и кларками. Это было особо отмечено А.Е. Ферсманом.

Потенциалы ионизации следует отличать от ионных потенциалов Картледжа (сокращенно картль).

Ионный потенциал, или потенциал Картледжа, был введен в геохимию Г. Картледжем в 1928 г. и представляет собой отношение заряда иона к его радиусу (Z/Rj). Величины ионных потенциалов и связанные с ними основные свойства ионов представлены на рис. 2.2. При значениях потенциала Картледжа меньше 3 комплексные ионы не образуются, а катионы легко переходят в природные водные растворы, т.е. становятся наиболее доступными для организмов. При значениях от 3 до 12 образуются сложные комплексные ионы, плохорастворяемые гидролизованные соединения. Если потенциал Картледжа больше 12, образуются комплексные кислородосодержашие и хорошо растворимые анионы типа $C0_3^{2}$~ и SO/⁻. Кремний и молибден часто выделяют в промежуточную группу (Z/Ri=9,5...12).

По величине ионного потенциала легко установить химический характер ионов (рис. 2.3), а следовательно, и их поведение

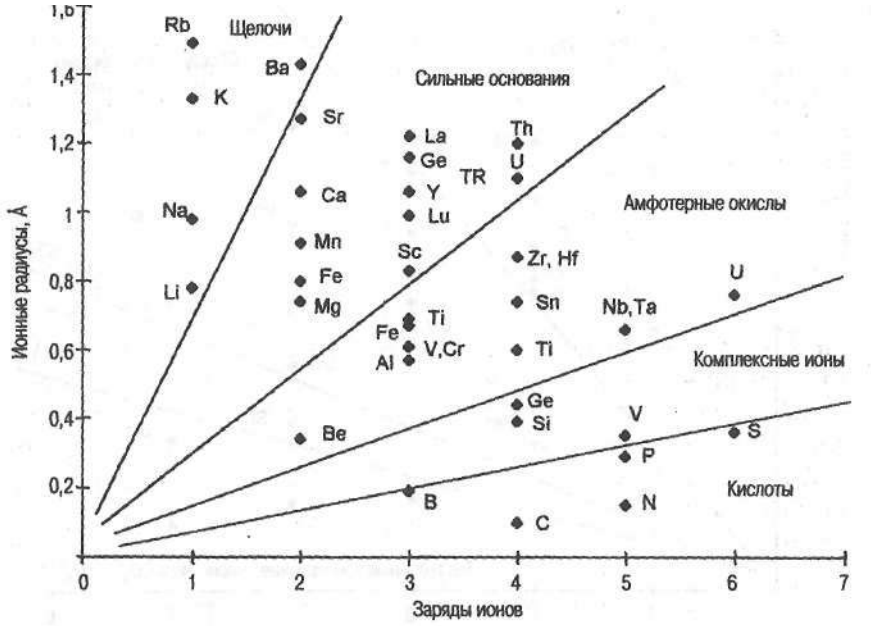


Рис. 2.3. Химический характер ионов в зависимости от величины ионного потенциала

Таблица 2.3

Связи ионного потенциала и осаждаемости гидратов при разных pH (по А.Е. Ферсману)

Элемент	Zr		Th^{+4}	Ce^{4+}	Se	Yb	Dy	Tb
Картль	4,6		3,6	3,9	3,6	3,0	2,8	2,7
pH	2			3,5				
Элемент	Y	Sm	Gd	Nd	Pr	Ce^{+3}	La^{+3}	Mg
Картль	2,8	2,65	2,7	2,6	2,6	2,5	2,5	2,6
pH	6,8			7,0		7,4	8,4	10,5

и биосфере. Чрезвычайно важно, что, зная ионные потенциалы, можно, в первом приближении, определить поведение гидратов В природных растворах при изменении щелочно-кислотных услоиий (табл. 2.3). Это представляется особо перспективным в свяш с техногенным загрязнением редкими и рассеянными элементами.

Ионы с большим потенциалом являются более активными поляризаторами других ионов, кроме того, для них более характерен процесс гидратации.

Электроотрицательность — это энергия, с которой притягиваются данным атомом валентные электроны при соединении с другими атомами. В современном значении это понятие было введено в науку в 1932 г. Л. Полингом. Существует ряд методов определения относительных и абсолютных величин электроотрицательности (табл. 2.4). А.С. Поваренных предложил для этого следующую формулу:

$$\frac{J}{n}$$

где J_n — потенциал ионизации атома до определенного валентного состояния; n — валентность иона; F — сродство к электрону.

По разнице величин электроотрицательности ионов определяется степень ковалентной и ионной связи в образуемом ими соединении. Исходя из смысла, вкладываемого в понятие «электроотрицательность», следует, что чем больше разность электроотрицательностей двух элементов, образующих соединение (табл. 2.5), тем больше доля ионной связи между ними. В зависимости от этого меняется целый ряд свойств соединения, в том числе и доступность составляющих его элементов для организмов (см. гл. 3). Для быстрого расчета доли ионной и ковалент-

Таблица 2.4

Электроотрицательность химических элементов по Л. Полингу (относительная безразмерная величина) и А.С.Поваренных (ккал/г-ат)

Химический элемент (ион)	Порядковый номер	Электроотрицательность	
		по Л.Полингу	по А.С.Поваренных
1	2	3	4
Ac	89	1,1	145
Ag^+	47	1,93	175
Al	13	1,6	220
Am	95	1,3	–
As	33	2,18	300, 220
At	85	2,2	320
Au	79	2,54	210, 230
B	5	2,04	290
Ba	56	0,89	115
Be	4	1,57	210
Bi	83	2,02	260, 195
Bk	97	1,3	–
Br	35	2,96	420
C	6	2,55	370
Ca	20	1,0	135
Cd	48	1,69	195
Ce	58	1,12	210, 150
Cf	98	1,3	–
Cl	17	3,16	460
Cm	96	1,3	–
Co	27	1,18	305, 260, 195
Cr	24	1,66	350
Cs	55	0,79	90
Cu	29	1,9	180, 235
Dy	66	1,22	–
Er	68	1,24	–
Es	99	1,3	–
Eu	63	(1,1)	130

Продолжение табл. 2.4

1	2	3	4
F	9	3,98	610
Fe	26	1,83	185, 235
Fm	100	1,3	–
Fr	87	0,7	90
Ga	31	1,81	235
Gd	64	1,12	140
Ge	32	2,01	265
H	1	2,2	315
Hf	72	1,3	180
Hg	80	2,0	215, 240
Ho	67	1,23	–
In	49	1,78	215, 135
Ir	77	2,2	275, 225
J	53	2,66	375
K	19	0,8	100
La	57	1,1	150
Li	3	0,88	125
Lu	71	1,27	170
Md	101	1,3	–
Mg	12	1,31	175
Mn	25	1,55	180, 260, 430
Mo	42	2,16	235, 260
N	7	3,04	450
Na	11	0,93	120
Nb	41	1,6	230
Nd	60	1,14	220
Ni	28	1,91	210
No	102	1,3	275
Np	93	1,36	–
O	8	3,44	530
Os	76	2,2	290, 230

Продолжение табл. 2.4

1	2	3	4
P	9	2,19	310
Pa	91	1,5	(190)
Pb	82	2,33	175, 245
Pd	46	2,2	280, 225
Pm	61	(1,1)	–
Po	84	2,0	260
Pr	59	1,13	–
Pt	78	2,28	215
Pu	94	1,28	–
Ra	88	0,89	115
Rb	37	0,82	95
Re	75	1,9	260, 250, 215
Rh	45	2,28	265, 250
Ru	44	2,2	345, 270, 235
S	16	2,58	375, 275
Sb	51	2,05	190, 235
Sc	21	1,36	190
Se	34	2,55	350, 250
Si	14	1,9	260
Sm	62	1,17	130
Sn	50	1,96	170, 265
Sr	38	0,95	125
Ta	73	1,5	210, 190
Te	52	2,1	320
Th	90	1,3	165
Ti	22	1,54	215, 250
Tl	81	1,62	140, 230
Tm	69	1,25	–
U	92	1,38	(180)
V	23	1,63	230, 275, 300
W	74	2,36	200, 235

Окончание табл. 2.4

1	2	3	4
Y	39	1,22	160
Yb	70	(1,2)	140
Zn	30	1,85	205
Zr	40	1,33	195

Таблица 2.5

Зависимость степени атомности связи в соединениях, %, от величины разности электроотрицательности элементов (ΔE, ккал/г-ат, по А.С. Поваренных)

ΔE	Атомность связи	ΔE	Атомность связи	ΔE	Атомность связи	ΔE	Атомность связи	ΔE	Атомность связи	ΔE	Атомность связи
550	0	410	16	330	35,4	260	54	190	72,5	120	88
525	1	400	18	320	38	250	56,7	180	75	110	90
500	3	390	20	310	40,7	240	59,4	170	77,5	100	91
475	6	380	22,5	300	43,4	230	62	160	80	75	94
450	9	370	25	–	–	–	–	–	–	–	–
440	10	360	27,5	290	46	220	64,7	150	82	50	97
430	12	350	30	280	48,7	210	67,4	140	84	25	99
420	14	340	32,7	270	51,4	200	70	130	86	0	100

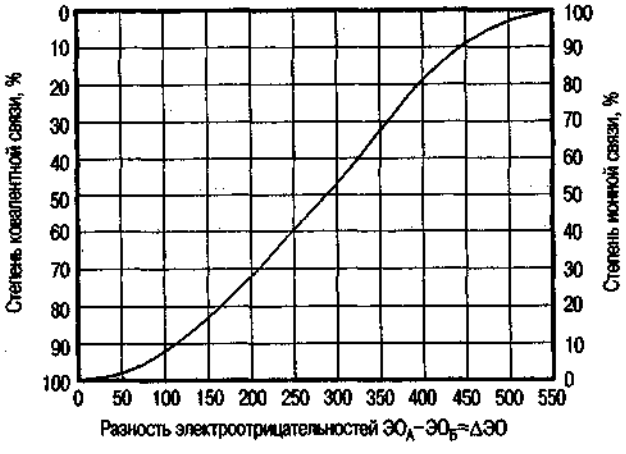


Рис. 2.4. Номограмма для определения соотношения ионной и ковалентной связи в бинарных соединениях (по А.С. Поваренных)

ной связи можно использовать составленную А. С. Поваренных номограмму. Так, электроотрицательность K равна 100, Cl — 460, следовательно, составит 360. По номограмме (рис. 2.4) определяем, что в этом соединении ионная связь составляет около 70%, а ковалентная — 30%.

При образовании ковалентной связи между двумя атомами разных элементов общее электронное облако смещается в направлении атома с большей электроотрицательностью. Величина этого смещения пропорциональна разности электроотрицательности элементов и во многом определяет геометрическую структуру образующейся полярной молекулы. Вещества, образуемые такими молекулами, обычно отличаются более высокими температурами плавления и кипения. Их растворение происходит с распадом на ионы, чему очень способствует полярность молекул растворителя.

Рассматриваемая концепция электроотрицательностей позволяет установить только приблизительное соотношение ионной и ковалентной связей в кристаллах. Ошибка возрастает в случаях образования кристаллов много- и разновалентными элементами.

Сами величины электроотрицательности закономерно изменяются в зависимости от положения элемента в таблице Менделеева: в начале периодов они малы (типичные металлы), а в конце велики (типичные неметаллы), в пределах отдельных подгрупп они уменьшаются с ростом заряда ядра.

Геохимические классификации химических элементов проводились многими геохимиками. Как уже указывалось, одной из наиболее известных является классификация В.М. Гольдшмидта. Выделенные им группы элементов в значительной мере отражают их преимущественное накопление в определенных слоях (сферах) Земли; сидерофильные и халькофильные характерны для центральных частей планеты, литофильные — для литосферы и большей части мантии, а атмофильные — для атмосферы. Таким образом, периодичность изменения атомных объемов элементов в первом приближении соответствует их распределению по геосферам. Однако многие элементы по классификации В.М. Гольдшмидта могут относиться к нескольким группам одновременно. Железо, находясь у «минимума» кривой, относится к сидерофильным элементам, а так как это «нисходящая ветвь кривой», то оно может относиться к литофильным. Таких примеров можно привести очень много, это отражает их распределение в природе, но создает трудности при практическом использовании классификации. Опреде-

Таблица 2.6

Геохимические группы элементов (по данным В.И. Вернадского)

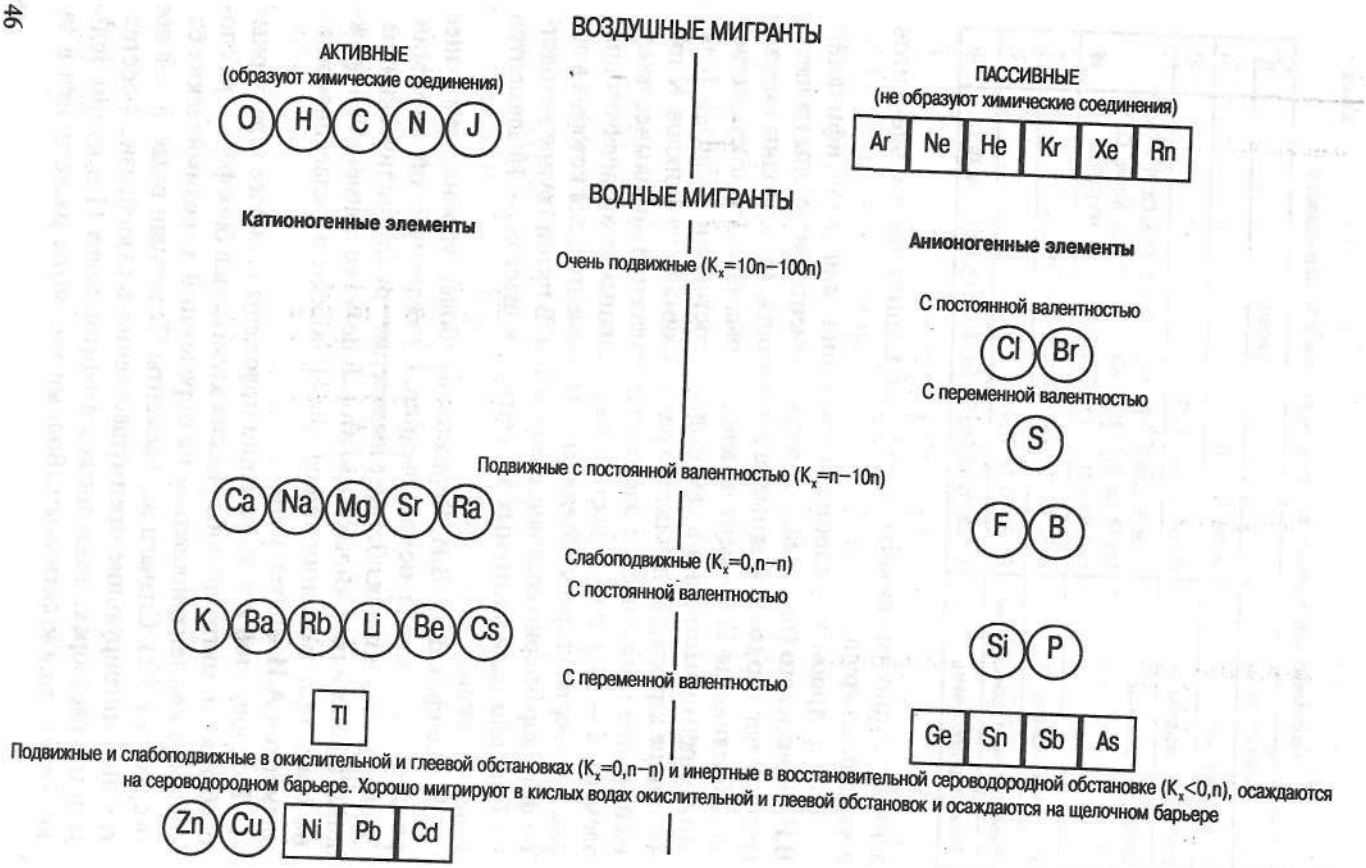
Название группы	Элементы	*n*
Благородные газы	He, Ne, Ar, Kr, Xe	5
Благородные металлы	Ru, Rh, Pd, (Os), Ir, Pt, Au	7
Циклические элементы	H, Be, B, C, N,O, F, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, (Cr), Mn, Fe, Co, (Ni), Cu, Zn, (Ge), As, Se, Sr, (Zr), Mo, Ag, Cd, (Sn), Sb, (Te), Ba, (Hf), (W), (Re), (Hg), (Tl), (Pb), (Bi)	44
Рассеянные элементы	Li, Sc, Ga, Br, (Rb), Y, (Nb), In, I, Cs, Ta	11
Элементы сильно радиоактивные	Po, Rn, Ra, Ac, Th, Pa, U	7
Элементы редких земель	La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu	15

ленные трудности связаны и с очень большим числом элементов в каждой из групп.

Более дробное деление характерно для классификации В.И. Вернадского (табл. 2.6), в которой элементы разделены на шесть групп. В первую (благородные газы) и вторую (благородные металлы) объединены 12 элементов, для которых характерно существование преимущественно в самородном состоянии, а следовательно, они не характерны для целого ряда геохимических циклов. К третьей группе (циклические элементы) отнесено наибольшее число элементов — 44, все они участвуют в различных геохимических циклах. В четвертую группу объединены 11 элементов, для которых в литосфере характерно состояние рассеяния. В пятой группе находятся 7 сильно радиоактивных элементов, в шестой — 15 элементов редких земель.

Классификация В.И. Вернадского более удобна, чем ранее рассмотренная, для использования в экологической геохимии. Этому особенно способствует выделение групп циклических, радиоактивных и рассеянных элементов. Еще более применимой должна стать при изучении биосферы и ноосферы классификация элементов А.И. Перельмана.

В основу этой классификации положены наиболее характерные особенности миграции химических элементов в биосфере и их способность концентрироваться на определенных геохимических барьерах (рис. 2.5). Сначала все элементы Перельман разделил на две группы: мигрирующие преимущественно в газообразном состоянии и в растворах. Воздушных мигрантов всего 11 и из них только 5 относятся к активным. Водные мигранты разделяются в за-



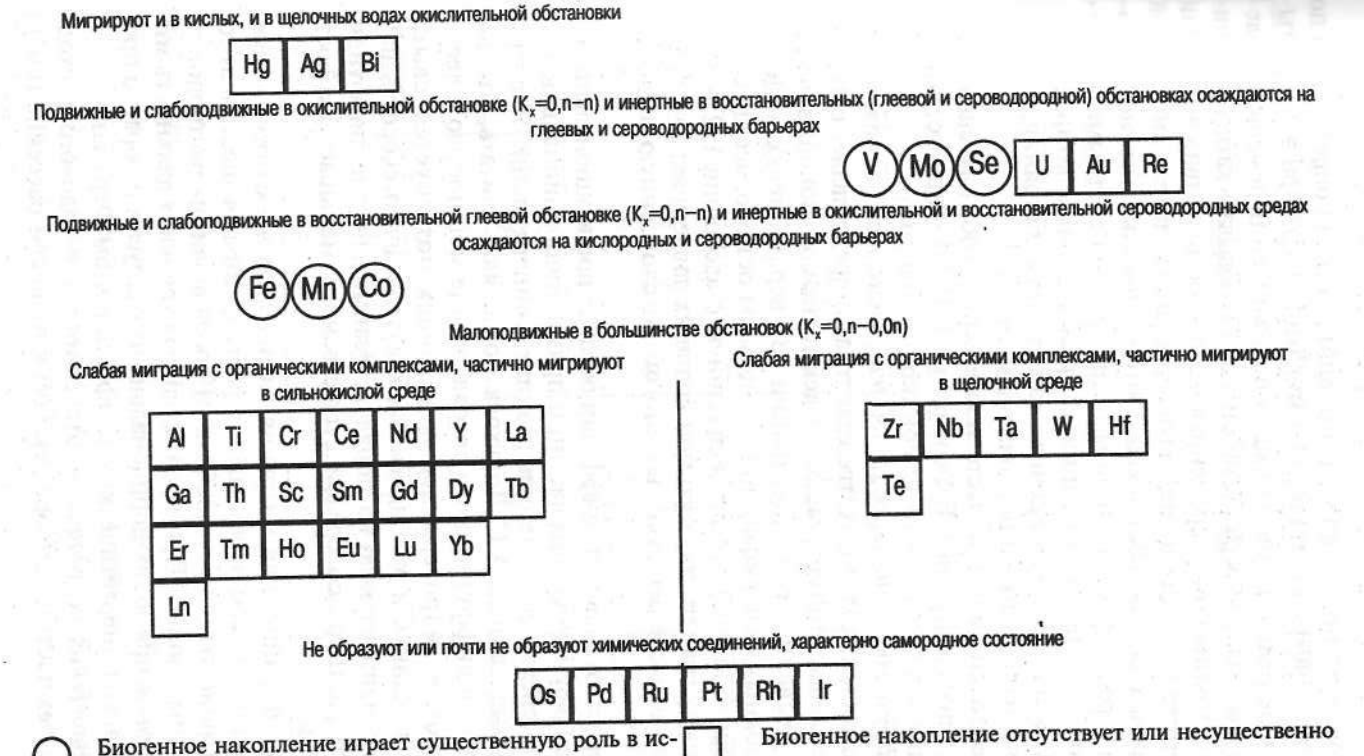


Рис. 2.5. Геохимическая классификация элементов по особенностям гипергенной миграции (по А.И.Перельману)

висимости от интенсивности миграции, которая определяется по величине коэффициента водной миграции *(KJ.* При этом учитывается еще целый ряд важнейших показателей перемещения элементов в водных растворах: способность образовывать катионы и анионы; постоянная или переменная валентность; подвижность (или же инертность и осаждение на барьерах) в окислительной, глеевой или сероводородной обстановках; интенсивность (инертность) миграции в растворах с различными щелочно-кислотными условиями; интенсивность миграции с органическими комплексами; преимущественное нахождение в самородном состоянии; роль биогенного накопления в истории элемента.

В геологии довольно часто также используют классификации химических элементов А.Е.Ферсмана и А.Н.Заварицкого, которые приводятся в большинстве учебников по геохимии.

Диффузионная миграция химических элементов возможна в газах, жидкостях, коллоидах, твердых телах и представляет собой перемещение частиц (коллоидов, молекул, атомов, ионов) в направлении убывания их концентрации. В твердых телах выделяют три основных вида диффузии: 1 — поверхностную, всегда сопровождающую инфильтрацию и связанную с адсорбцией; 2 — вдоль внутренних граней, идущую при больших давлениях; 3 — сквозь кристаллические решетки, во многом обусловленную их дефектами.

Скорость и дальность диффузии обратно пропорциональны размерам диффундирующих частиц и прямо пропорциональны температуре среды, давлению и разнице концентраций. Экспериментальные данные А. С. Лопухова позволяют считать, что для образования диффузионного ореола свинца мощностью в десятки метров в гидротермальных условиях потребуется свыше 10 000 лет. Кливаж и рассланцевание могут увеличить скорость диффузии по направлению на порядок. Взаимодействие диффундирующего раствора со средой существенно уменьшает скорость диффузии.

Инфильтрационная миграция химических элементов — преобладающий способ перемещения растворенных веществ в литосфере. Происходит при «свободном просачивании» растворов по ослабленным зонам. При прочих равных условиях дальность миграции ионов прямо пропорциональна их радиусам и обратно пропорциональна энергетическим коэффициентам Ферсмана.

Механическая денудация — это отношение годового расхода взвешенных частиц в створе реки (т) к площади бассейна ($км^{г}$).

Таблица 2.7

Интенсивность миграции элементов в подземных водах зоны гипергенеза

Элемент	Содержание элементов в		Коэффициент водной миграции K_x
	водах (M_x) (по С.Л. Шварцеву), г/л	земной коре (по А.П. Виноградову), %	
Cl	$4{,}7 \cdot 10^{-2}$	$1{,}7 \cdot 10^{-2}$	644
Br	$1{,}83 \cdot 10^{-4}$	$2{,}1 \cdot 10^{-4}$	203
I	$1{,}61 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-5}$	99
Mg	$1{,}86 \cdot 10^{-2}$	1,87	2,3
Ca	$4{,}3 \cdot 10^{-2}$	2,96	3,3
Na	$4{,}55 \cdot 10^{-2}$	2,5	4,2
F	$4{,}5 \cdot 10^{-4}$	$6{,}6 \cdot 10^{-2}$	1,6
Zn	$3{,}4 \cdot 10^{-5}$	$8{,}3 \cdot 10^{-3}$	0,94
Sr	$1{,}85 \cdot 10^{-4}$	$3{,}4 \cdot 10^{-2}$	1,2
Mo	$2{,}06 \cdot 10^{-6}$	$1{,}1 \cdot 10^{-4}$	4,4
K	$4{,}59 \cdot 10^{-3}$	2,5	0,43
P	$5{,}75 \cdot 10^{-5}$	$9{,}3 \cdot 10^{-2}$	0,14
Mn	$4{,}94 \cdot 10^{-5}$	0,1	0,11
Ni	$3{,}31 \cdot 10^{-6}$	$5{,}8 \cdot 10^{-3}$	0,13
Cu	$5{,}58 \cdot 10^{-6}$	$4{,}7 \cdot 10^{-3}$	0,27
Fe	$5{,}47 \cdot 10^{-4}$	4,56	0,02
Al	$2{,}79 \cdot 10^{-4}$	8,05	0,008
Ti	$1{,}07 \cdot 10^{-5}$	0,45	0,005
Cr	$2{,}9 \cdot 10^{-6}$	$8{,}3 \cdot 10^{-3}$	0,08
V	$2{,}06 \cdot 10^{-6}$	$9 \cdot 10^{-3}$	0,05
Zr	$1{,}3 \cdot 10^{-6}$	$1{,}7 \cdot 10^{-2}$	0,017
Th	$4{,}2 \cdot 10^{-7}$	$1{,}3 \cdot 10^{-3}$	0,07

Химическая денудация — отношение годового расхода растворенных веществ в определенном створе реки (т) к площади бассейна (км^2). Измеряется, как и механическая денудация, для одного и того же бассейна при изменении техногенной нагрузки.

Коэффициент водной миграции (KJ используется для оценки интенсивности миграции элементов в водных растворах, введен

А.И. Перельманом. Определяется как отношение содержания химического элемента в минеральном остатке воды к его содержанию в водовмещающих породах, или отношение к кларку земной коры:

$$K_x = \frac{M_x \cdot 100}{an_x},$$

где M_x — содержание элемента х в воде, г/л; а — минерализация воды, г/л; $п_x$ — содержание элемента х в водовмещающих породах, или кларк, % по массе.

Коэффициент водной миграции может устанавливаться для зоны гипергенеза в целом (табл. 2.7), для отдельных водоносных горизонтов и т.д.

Глеевая обстановка — восстановительная бессероводородная обстановка. Ее показателями являются «углеводороды, растворенные органические соединения, Fe^{2+}, H_2» (А.И.Перельман, 1989). Горные породы и почвы в глеевой обстановке принимают белую, сизую, серую и зеленую окраску. При переходе в окислительную обстановку (т.е. при доступе свободного кислорода) окраска изменяется на бурую в основном за счет перехода Fe^{2+} в Fe^{3+}.

Сероводородная восстановительная обстановка характеризуется наличием H_2S, HS^-, S^{2-} и характерным запахом сероводорода. Цвет пород — черный, серый, реже зеленый. Многие металлы образуют труднорастворимые сульфиды.

Окислительная кислородная обстановка характеризуется присутствием свободного (атмосферного или растворенного в воде) кислорода. Осадочные породы, образовавшиеся в кислородной обстановке, окрашены обычно в желту'ю, бурую и красную окраску, в основном за счет Fe (III).

2.2. Эколого-биологические термины и понятия

Жизнь организмов невозможна без их взаимодействия между собой и с окружающим их косным веществом. Это взаимодействие, как и сама жизнь всех организмов, представляет собой сложный биогеохимический процесс перераспределения, миграции и концентрации химических элементов. Его изучение требует знания ряда специальных терминов и понятий. Часть основных из них рассматривается ниже.

Биокосные системы — системы, в которых живые организмы и не- • ч'| шическая материя (косное вещество) неразрывно связаны •> I iv собой. Для них (косного и живого вещества) характерны взаюникновение и взаимообусловленность, вместе они состав- I .ни единое целое.

(>ткрытие первых биокосных систем (почвы) связано с рабоп 15.В. Докучаева. Дальнейшее развитие учения о биокосных сиt ц-мах продолжил В.И. Вернадский.

К биокосным системам, кроме уже названных почв, относят- i и илы, природные воды, ландшафты в целом и т.д. В настоящее Эремя все биокосные системы испытывают сильное и все возра- I ию щее техногенное воздействие. Происходит также формирова- НИе техногенных биокосных систем. Таким образом, их нельзя счиi.iп. только природными образованиями.

Почвы — биокосная система. По В.В. Докучаеву, это самосто- •|ильное, естественно-историческое тело, которое является проектом совокупной деятельности: грунта, климата, растительных м животных организмов, возраста страны, а отчасти и рельефа местности. К указанным пяти факторам были добавлены еще два: иода (почвенная и грунтовая) и хозяйственная деятельность челопека (В.В. Добровольский, 1989). С учетом этих добавлений Добровольский предложил следующую формулу:

$$n = f(ПО + РО + ЖО + ЭК + Р + В + ДЧ)t,$$

где П — почвы; ПО — почвообразующие организмы; РО — растительные организмы; ЖО — животные организмы; ЭК — элементы климата; Р — рельеф; В — вода; ДЧ — деятельность человека; t — время.

Гумус — сложный комплекс органических веществ почвы. Образуется в результате разложения растительных и животных остатков и продуктов жизнедеятельности организмов. Имеет темную окраску. Состоит преимущественно из гуминовых и фульвокислот и гумина. Ряд исследователей считает, что между ними существуют постепенные переходы. Гумус во многом определяет плодородие почв. Химический состав определяется такими элементами, как С, Н, О, N. В значительных количествах содержит S, Р, Са, К. В гумусе накапливается значительное количество тяжелых металлов. В связи с этим чем больше в почве гумуса, тем обычно больше так называемых микроэлементов (см. гл. 4).

Гуминовые кислоты — органические кислоты, нерастворимые в воде и щелочах. Цвет черный. Структура окончательно не установлена.

Фульвокислоты — высокомолекулярные соединения, хорошо растворимые в воде. В высушенном состоянии имеют буровато-желтый цвет (от лат. Fulvus — желтый). Разрушают многие минералы и образуют комплексные соединения с катионами, в первую очередь с Fe (III). Образующиеся фульваты, как правило, хорошо растворимы в воде и слабых растворах кислот.

Гумин — часть гумусовых веществ, которая практически не растворяется ни в одном растворителе.

Классификация почв — за основную классификационную единицу которой Докучаев принял генетические типы почв, образованные определенным сочетанием факторов почвообразования, обладающие характерными свойствами и закономерностями распространения (В.В.Добровольский, 1989). На территории России выделено порядка 100 типов различных почв.

Типы почв — определяются в основном: 1) способом поступления в них и разложения органических веществ аналогичного состава; 2) однотипностью разложения минералов и синтеза новых минеральных и органоминеральных соединений; 3) аналогичным характером миграции и аккумуляции веществ; 4) подобным строением почвенного профиля; 5) однотипной растительностью.

Типы почв по степени выраженности процесса почвообразования подразделяются на *подтипы*. Так, чернозем имеет следующие подвиды: обыкновенный, южный и т.д. Ниже кратко рассматриваются важнейшие типы почв с учетом их географического распространения.

Почвенный профиль — вертикальное строение почвенной толщи, представляющее ее закономерное изменение сверху вниз, напоминающее слоистость за счет смены определенных генетических горизонтов. Как пример можно рассмотреть профиль почв лиственных лесов: A_0 — лесная подстилка, A_1 — гумусовый горизонт, A_2 — горизонт вымывания (элювиальный), A_3 — горизонт вмывания (иллювиальный), C — материнская почвообразующая горная порода, D — почвоподстилающая порода. В.В. Добровольский рекомендует выделять ее при малой мощности почвенного профиля.

Распространение типов почв. Один из последних обзоров распространения типов почв был сделан для северо-восточной час-

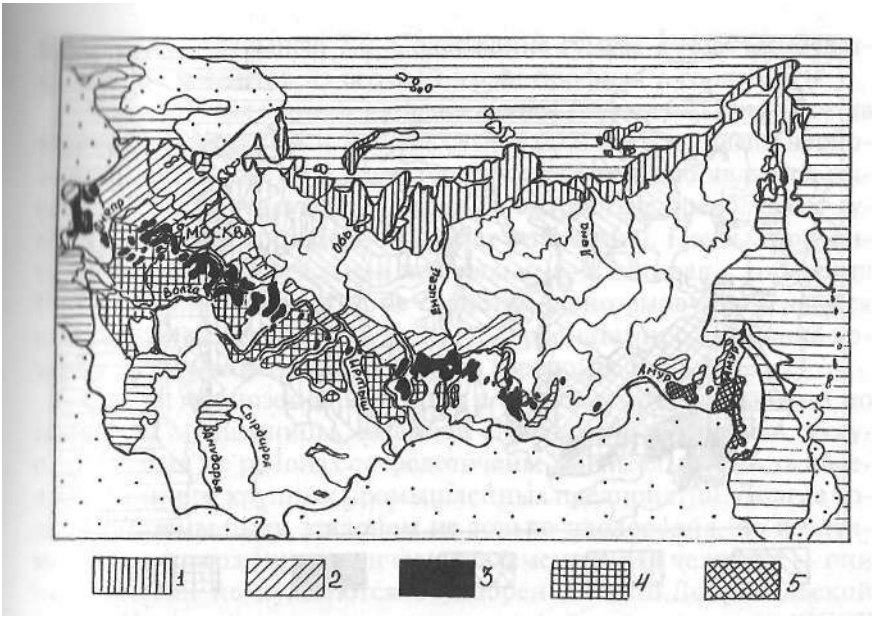


Рис. 2.6. Распространение типов почв в северо-восточной части евроазиатского материка: 1 — тундровые и арктические; 2— дерново-подзолистые; 3 — серые лесные; 4 — черноземы; 5 — бурые лесные

ти евроазиатского материка В.В.Добровольским (1989). Так как при ландшафтно-геохимическом картографировании географическое распространение типов почв чрезвычайно важно, используем этот обзор.

Почвы арктических и тундровых ландшафтов занимают около 4% суши и около 10% территории России (рис. 2.6). Мощность их почвенного профиля зависит от глубины сезонного оттаивания многолетней мерзлоты и колеблется от нескольких сантиметров до 160 см. Содержание гумуса в верхних горизонтах обычно не превышает 5%, а гуминовые кислоты преобладают над фульвокислотами. Почвы слабокислые. На низких террасах и в широких дельтах рек возможно образование приморских солончаков (см. ниже), а в верхнем горизонте почв островов Ледовитого океана повышены концентрации тяжелых металлов, включая Sr.

Почвы таежно-лесных ландшафтов занимают более 1/3 территории России (рис. 2.7), широко распространены в Западной Европе и Северной Америке (М.А. Глазовская разделяет эту территорию на ряд самостоятельных областей). Почвы кислые. Содержание в них гумуса колеблется в значительных пределах (обычно

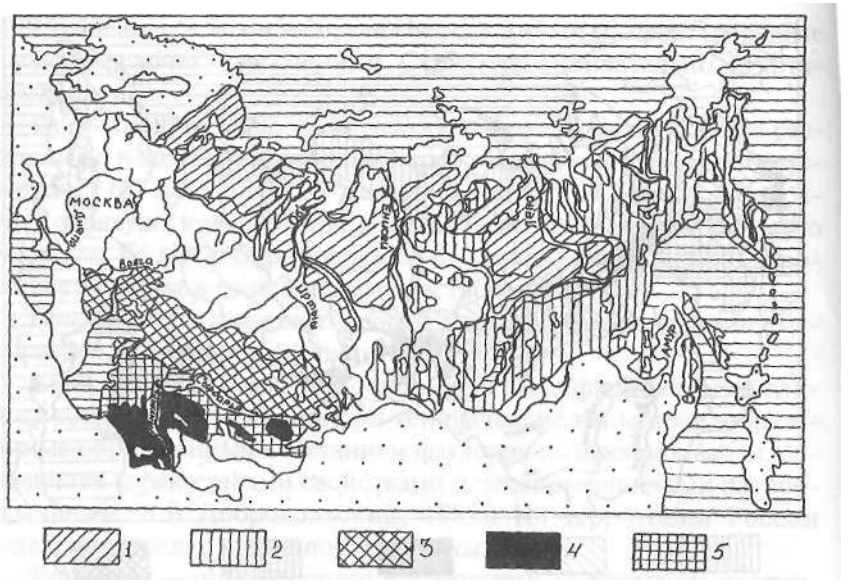


Рис. 2.7. Распространение типов почв в северо-восточной части евроазиатского материка:

1 — таежно-лесной зоны; 2— горные таежно-лесные; 3 — каштановые и бурые; 4 — пески; 5 — серо-бурые и сероземы пустынь

от 1 до 10%). В результате интенсивного вымывания рассматриваемые почвы в раде регионов обеднены легкоподвижными элементами: J, Си, Са (В.В.Ковальский, 1964). Это сказывается на развитии животных организмов, включая человека.

Почвы смешанных лесов протягиваются в виде прерывистой полосы от Балтийского моря до озера Байкал и далее к Приамурью (см. рис. 2.6.), распространены в Западной Европе. Они детально изучались многими учеными (М.А.Глазовская, К.А.Глинка, Г.В.Добровольский, В.О.Таргумян, Ж.Обер, П.И.Кундлер и др.). Почвы кислые. Во многих районах в них происходит периодическая смена восстановительных и окислительных условий. Фульвокислоты обычно преобладают над гуминовыми. Накопление ряда элементов (в том числе и металлов) часто происходит в горизонтах A_0 и в горизонте вмывания (см. разд. 2.3).

Почвы лиственных лесов занимают относительно небольшие площади в России, на Украине (см. рис. 2.6), в Западной Европе и Северной Америке. Часто их подразделяют на серые и бурые почвы. Величина pH водных вытяжек чаще всего колеблется от 5,4 до

6,7, изредка превышая 7,0. Содержание гумуса 3—8%. Отмечается вынос элементов из верхней части профиля в горизонт В.

Понвы луговых и лугово-травных степей (черноземы) занимают на территории Украины и России свыше 50% всей площади черноземов (см. рис. 2.6). Их характерной особенностью является высокое (3—20%) содержание гумуса (в его составе преобладают гуматы), который постепенно убывает с глубиной. Почвы горизонта А обычно слабокислые и нейтральные, а начиная с горизонта В — слабощелочные. Многие свойства черноземов определяются кальцием, связанным в основном с карбонатами, содержание которых довольно резко возрастает в горизонте В.

Районы черноземов являются в нашей стране основными по производству пшеницы, сахарной свеклы, подсолнечника, кукурузы. В этих же районах сосредоточены значительная часть населения и много крупных промышленных предприятий. Долгие годы черноземы были эталоном не только плодородия, но и оптимального содержания химических элементов для человека — они практически не нуждаются в удобрениях (В.В.Добровольский и др.). Однако для последних десятилетий существования СССР характерна несоразмерная (скорее даже варварская) эксплуатация черноземов с применением колоссального количества удобрений. В результате в почве резко возросло содержание тяжелых металлов (особо токсичны они при высоких концентрациях, см. гл. 4). Этому же способствовало и поступление в окружающую среду металлов от промышленных предприятий. Специальные исследования, проведенные самим автором и под его руководством на больших площадях развития черноземов, показали, что основная часть металлов концентрируется в верхних частях горизонта А, а также в горизонте В. Иногда это происходит одновременно с образованием двух пиков концентраций либо только в одном из горизонтов. Так, одновременно в обоих горизонтах концентрируются Zn, Ti, Mo, Ba, Mn. Последние четыре элемента в отдельных разрезах могут концентрироваться в одном горизонте, например Мп чаще в горизонте А.

В горизонте А или В (в различных разрезах по-разному) концентрируются V, Co, Ni, Cu, Pb, Ga. В горизонте В чаще концентрируются V, Co, Ni, а в горизонте А — Си. Только в горизонте В было отмечено резко повышенное содержание Сг.

На участках с резко повышенной концентрацией металлов в почвах (в пределах аномалий) рассмотренные выше особенности распределения металлов по вертикальному профилю несколько из-

менялись. Так, в одном и том же разрезе стало преимущественно по два пика концентраций V и Cr, причем (в отличие от обычного для них распределения) высокое содержание их чаще стало характерно не для горизонта В, а для верхних частей горизонта А. Все остальные металлы (Ga, Ti, Mn, Ni, Pb, Ba, Cu, Mo, Zn, Co) в конкретных почвенных профилях могут концентрироваться в двух горизонтах (А и В) одновременно (образуя два пика в одном разрезе) или в одном из них (чаще в горизонте А).

Почвы сухих и пустынных степей (каштановые и бурые) распространены в основном на юге европейской части России и на севере Казахстана (см. рис. 2.7). За пределами СНГ они имеются в Монголии и Китае. Содержание в них гумуса обычно колеблется от 2 до 5%. Почвы слабощелочные и щелочные и отличаются повышенным содержанием натрия. Почти четвертая часть их засолена (солонцы и солончаки) (Д.Г.Виленский, 1961). С медико-экологической точки зрения в рассматриваемых почвах установлен избыток легкорастворимых соединений и фтора.

Серо-бурые почвы пустынь наибольшее распространение получили на юге, в районе Аральского моря (см. рис. 2.7). Их характерными особенностями являются наличие поверхностной корки с округлыми порами, содержащей повышенное количество $Si0_2$, и наличие в верхней части горизонта В уплотненного прослоя вмывания с повышенным содержанием Na.

Содержание в рассматриваемых почвах гумуса обычно не превышает 1%, а фульвокислоты в его составе преобладают над гуминовыми. В верхних частях профиля повышена концентрация карбонатов и подвижного железа.

Среди серо-бурых почв пустынь выделяются районы с повышенным содержанием F, Sr, B. В их пределах возникают определенные эндемические заболевания.

Довольно большое распространение в районах пустынь получили *солончаки*. По данным Д.Г. Виленского (1961), на их долю приходятся до 10% площади распространения серо-бурых почв.

Почвы субтропического пояса включают почвы влажных лесов, сухих лесов и кустарников, сухих степей, пустынь, низкотравных саванн.

Почвы влажных лесов представлены красноземами и желтоземами. Они распространены в Китае, Японии, на юго-востоке США, в Грузии. Цвет красноземов обусловлен прочной связью Fe (III) с глинистыми частицами. Красноземы часто отличаются пониженным содержанием Ca, Mg, K, Na. Содержание гумуса в го-

in юнге А доходит до 8%, а в его составе фульвокислоты преоб-МДают над гуминовыми. Желтоземы образуются над глинистыми породами с плохой водопроницаемостью, из-за чего в нихразви-Иется оглеевание.

Коричневые почвы сухих субтропических лесов в России тпречаются в сухих районах Кавказа. Широко распространены они н Южной Европе, Северной Африке, Северной Америке, Азии и Ав-I чшии. Содержание гумуса в почвах уменьшается с глубиной, а в горизонте А обычно составляет 2—3%. В верхней части почвенного профиля почвы слабокислые, в нижней — слабощелочные.

Почвы сухих степей, пустынь и полусаванн субтропиков близкик ранее рассмотренным серо-бурым почвам пустынь и связаны с ними постепенными переходами (В.В.Добровольский, 1989). Количество гумуса с глубиной постепенно уменьшается: от 1,5—3 ДО 0,1%. Содержание в нем гуминовых и фульвокислот примерно одинаковое. Почвы слабощелочные, с повышенным содержанием Са и пониженным N.

Почвы тропического пояса занимают более 25% мировой поверхности суши. Среди них наибольшее распространение получили красноцветы с оксидом Fe, сорбированным тонкодисперсными частицами. Однако наряду с ними встречаются желтые, оранжевые и серые почвы. Геохимические особенности тропических почв во многом определяются степенью увлажнения.

Почвы влажных лесов обычно маломощные. Содержание в них гумуса составляет всего несколько процентов. Величина pH по всему профилю колеблется в узком интервале: 5—5,5. Часто в них повышено содержание Fe и Al.

При сезонном атмосферном увлажнении преобладают красноцветные почвы и реже встречаются почвы темно-серого цвета. Содержание в них гумуса 1—4%. В нижних частях профиля преобладают фульвокислоты. Почвы слабокислые, почти нейтральные, иногда встречаются слабощелочные.

В результате сезонного грунтового увлажнения образуются слитые тропические почвы (рис. 2.8). Содержание в их верхнем горизонте гумуса обычно меньше 4%, а нижних — около ^.Соотношение гуминовых и фульвокислот непостоянное. Реакция слабощелочная. Часто в почвах повышены концентрации Са и Mg, а понижены N и P.

Почвы океанических островов и побережья тропического пояса весьма различны и своеобразны. Так, в приливно-отливных зонах возможно образование сульфидов, за счет окисления которых вели-

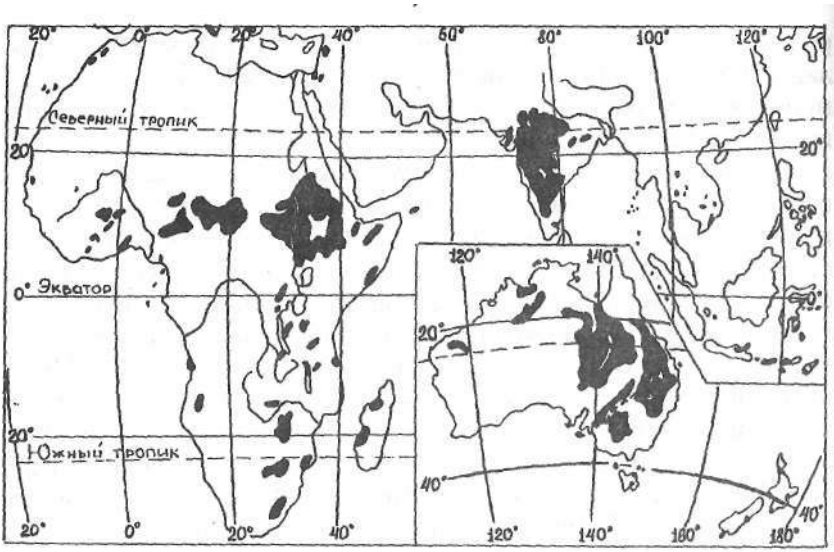


Рис. 2.8. Распространение слитых черных тропических почв (по В.В.Добровольскому)

чина pH почв равняется 2—3. На коралловых островах в гумускарбонатных песчаных почвах pH равно 7,5. При этом элементы минерального питания растений поступают в почву с атмосферными осадками (В.В.Добровольский, 1989). В случае поселения на островах больших колоний птиц содержание гумуса в почвах возрастает, а при небольшом количестве осадков образуются фосфаты.

Почвы горных областей (детально изучены М.А. Глазовской) занимают более 30% суши и отличаются вертикальной поясностью (зональностью). Это связано в основном с вертикальной зональностью климатических условий. Так, в районе Главного Кавказского хребта происходит постепенная смена бурых и каштановых почв черноземами, горно-луговыми и примитивными фрагментарными почвами. Последние весьма своеобразны и отличаются по степени развитости (рис. 2.9).

Из рассмотренных основных типов почв (особенно степных) на отдельных участках развиваются *гидроморфные почвы,* среди которых довольно широкое распространение получили *солонцы, солоди и солончаки*.

Солонцы часто имеют мощность свыше 1 м, при этом мощность гумусового горизонта А редко превышает 20 см. Содержание

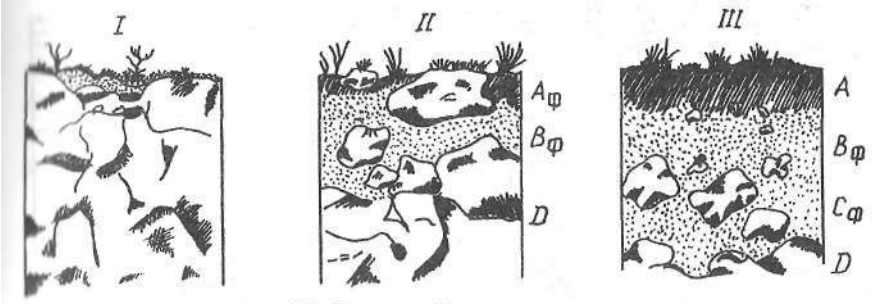


Рис. 2.9. Строение фрагментарных почв:
I — неразвитой; II — со слабо дифференцированным профилем; III — полно сформированной

В нем гумуса около 2% (по данным ряда авторов оно иногда повышается до 9%). Из горизонта А высокодисперсные частицы (и частично гумус) вымываются в горизонт В, называемый солонцовым. Он отличается большой плотностью (уменьшением пористости), высокой степенью набухаемости во влажном состоянии и, что особо важно, высокой концентрацией Na, составляющего свыше 20% суммы поглощенных катионов. Именно Na и определяет своеобразие солонцов. В нижней части солонцового горизонта располагаются скопления карбонатов и гипса. Количество гумуса от верхней части горизонта В к нижней уменьшается примерно в 1,5 раза.

Процесс осолонцевания особо энергично идет в том случае, когда в грунтовых водах не просто повышено содержание Na, а образуется раствор карбоната натрия (соды) — Na_2CO_s:

$$ПКCa^{2+} + Na_2CO_3 \rightarrow ПК2Na^{+} + CaCO_3\downarrow,$$

где ПК — поглощенный комплекс.

При наличии даже относительно больших количеств сульфатов или хлоридов натрия реакция обратима:

$$ПКCa^{2+} + 2NaCl \Leftrightarrow ПК2Na^{+} + CaCl_2,$$

а следовательно, осолонцевание происходит менее интенсивно. Для полупустынь обычно характерны хлоридно-сульфатные солонцы, а для лугово-разнотравных степей — содовые. Это, вероятнее всего, объясняется степенью минерализации вод.

Солончаки — почвы, содержащие в верхнем горизонте более 1% солей (иногда до 30%), легкорастворимых в воде. Содержание гумуса до 1%. Для северо-восточной части евроазиатского материка (бывший СССР) ВАКовдой были выделены отдельные провинции

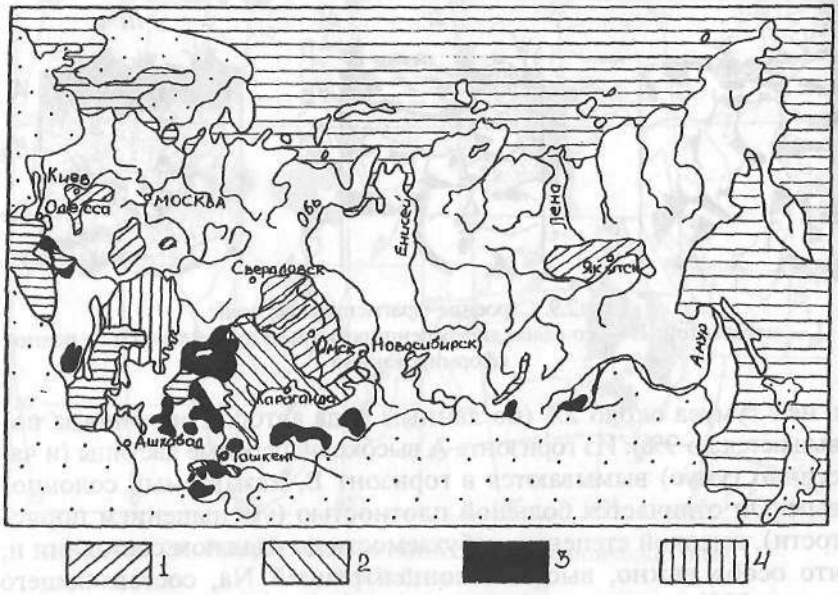


Рис. 2.10. Провинции соленакопления в почвах (по В.А.Ковде, 1946 г.):
1 — сульфатно-содового; 2— хлоридно-сульфатного; 3 — сульфатно-хлоридного; 4 — хлоридного

соленакопления (рис. 2.10). Чаще всего засоление почв происходит в результате поступления вод с повышенным количеством растворимых солей в верхние горизонты при последующем испарении. Предельная глубина нахождения грунтовых вод, позволяющая подняться им по капиллярам в верхние почвенные горизонты и вызвать засоление, называется *критической* (Б.Б.Полынов, 1956). Этот процесс можно рассматривать как концентрацию ряда химических элементов на испарительном геохимическом барьере (подробнее см. гл. 6). Среди солончаков выделяются *пухлые* (с мелкокомковатым верхним горизонтом и рыхлым сложением, что связано с преобладанием среди солей сульфата натрия — Na_2S0_4); *корковые* (на поверхности образована довольно прочная, пропитанная солями корка) и *мокрые* (на поверхности накапливаются $CaCl_2$ и $MgCl_2$, их высокая гигроскопичность обуславливает влажное состояние почв).

Довольно часто засоление почв связано с их неумеренным орошением, производящимся без учета ландшафтно-геохимических условий. С процессом засоления в большинстве случаев связано накопление в горизонте А целого ряда тяжелых металлов.

Солоди представляют собой почвы, сформировавшиеся в замкнутых понижениях рельефа. Нижняя часть их профиля часто огцеена (см. гл. 6). Горизонт А иногда слабо засолен и содержит жепе юмарганцевые конкреции. Содержание гумуса изредка доходит до 8%.

Илы — биокосная система. В.И. Вернадский отметил их аналогию с почвами. Однако вместо атмосферы над ними располагается гидросфера. Имеется еще ряд различий между этими биокосными системами, основными из которых являются следующие:

• рост толщи илов идет в основном снизу вверх (в связи с этим влияние на их геохимические особенности илоподстилающих пород ослаблено);

• резко повышена роль воды, располагающейся над илами и пропитывающей их;

• влияние высших растений на образование морских и океанических илов чрезвычайно ослаблено, хотя роль высших растений остается значительной в илообразовании в континентальных водоемах и реках.

Живое вещество или масса живых организмов (биомасса) — совокупность всех животных и растительных организмов планеты в целом или ее отдельных частях, выраженная в единицах массы. В видовом отношении состав живого вещества чрезвычайно разнообразен: общее число различных видов животных и растительных организмов составляет около 2 млн. Из них около 1,5 млн приходится на долю животных. По ориентировочным подсчетам ряда исследователей общая масса живого вещества составляет около $2{,}4 \cdot 10^{12}$ т (обезвоженного, сухого вещества). Его основная часть приходится на биомассу суши, а биомасса океанов составляет около $3{,}3 \cdot 10^{\circ}$ т.

Фитомасса — совокупность всех растительных организмов (в биосфере в целом или ее отдельных частях), выраженная в единицах массы. Она составляет основу (по количеству) всего живого вещества. На суше среди фитомассы резко преобладают (82%) леса.

Зоомасса — совокупность всех животных макроорганизмов (в биосфере в целом или ее отдельных частях), выраженная в единицах массы. Вместе с фито- и микробиомассой она равна в сумме массе живого вещества. В различных зонах суши количество зоомассы обычно составляет от 2 до 10% фитомассы.

Микробиомасса — совокупность всех микроорганизмов (в биосфере и целом или ее отдельных частях), выраженная в единицах массы, является одной из составных частей общей массы живого вещества.

Ежегодная продукция живого вещества представляет собой годовой прирост живого вещества, выраженный в единицах массы. Сюда входит годовой прирост микробиомассы, зоомассы и фитомассы. Определяется для биосферы в целом (общая) или для ее отдельных частей. Общая ежегодная продукция живого вещества планеты оценивается в $2{,}3 \cdot 10^{10}$ т. По другим подсчетам ежегодный прирост биомассы составляет 7,7 • 10" т. Ее составляющая на суше равна 1,7 • 10" т, а в океанах — $6 \cdot 10^{11}$ т. По расчетам А.И.Перельмана, общая продукция живого вещества за 500 млн лет превысила массу земной коры. Эти данные позволяют более зримо представить важнейшую роль живых организмов в миграции элементов на поверхности Земли.

Аэробы — организмы, существующие лишь в среде, содержащей кислород.

Анаэробы — организмы, способные жить при отсутствии свободного кислорода.

Олиготроф — растение, не требовательное к плодородию среды произрастания.

Галофиты — растения, приспособившиеся к условиям засоленных почв.

Галофобы — организмы, не выносящие осолонения среды обитания.

Авторофы (продуценты) — организмы, синтезирующие из неорганических соединений органические вещества с использованием энергии Солнца.

Хемотрофы (продуценты) — организмы, синтезирующие из неорганических соединений органические вещества с использованием энергии, освобождающейся при химических реакциях (окисление аммиака, сероводорода и др.).

Гетеротрофы (консументы) — организмы, питающиеся (полностью или преимущественно) органическими веществами, созданными другими организмами. Иногда гетеротрофность характерна для организма только на определенных этапах его жизни (зародыши прорастающих семян и др.).

Редуценты — организмы (преимущественно бактерии и грибы), перерабатывающие органические остатки в неорганические вещества. Понятие, близкое к микроорганизмам.

Растительная ассоциация — естественно сложившееся сообщество растений, довольно однородное по целому ряду показателей: видовому составу, функциональным связям, биологическому круговороту элементов, продуктивности, тенденциям развития и т.д.

i IK n равило, существует при определенных внешних условиях сре-
1ы Используется как один из важнейших показателей в классификации природных геохимических ландшафтов.

Популяция — совокупность особей одного вида, в течение большою числа поколений населяющих определенное пространство.

Доминант — вид, преобладающий количественно в определенном сообществе.

Биоценоз — это группировка взаимозависимых живых организмов (продуцентов, консументов и редуцентов), объединенных под по (действием ряда факторов внешней среды. Характеризуется определенным видовым составом.

Пространство, которое занимает биоценоз, называется *биотопом.* По современным воззрениям большинства исследователей выделение биоценозов должно отвечать следующим основным требованиям:

• Биоценоз должен включать в себя всю массу живых (животных и растительных) как макро-, так и микроорганизмов (это делает практически невозможным изучение всех его компонентов).

• Все виды живых организмов, составляющие биоценоз, взаимозависимы, изменения одного из них могут сказаться на всей группировке, а в отдельных случаях даже привести к распаду биоценоза.

• Биоценоз в целом находится в непосредственной зависимости от изменяющихся факторов среды его обитания (биотопа).

• Биоценоз представляет собой относительно устойчивое сообщество, находящееся в стабильном равновесии. Его изменения и даже исчезновение, как правило, связаны с изменениями внешних факторов. В последнее время среди них все большее значение стали приобретать антропогенные факторы.

• Особи биоценоза размножаются в пределах биотопа.

Биотоп — пространство, занимаемое биоценозом и имеющее относительно четкие границы. Его размеры изменяются в очень широких пределах: от одного трупа животного или ствола погибшего дерева до такой громадной системы, как океан. В зависимости от размеров биоценозов биотопы разделяются на микро- (например, упавший ствол дерева), мезо- (лес, озеро) и макро- (океан).

Природа биотопов может быть, по воззрениям экологов, органической и неорганической. Опираясь на учение В.И. Вернадского о биогенных системах, можно уверенно считать, что подав-

ляющее большинство биотопов (по крайней мере мезо- и макро-) относится именно к биокосной системе. Следовательно, независимое изучение в их пределах только косного вещества или только живых организмов характеризует такие исследования, как односторонние, а получаемые при этом выводы могут иметь низкую степень достоверности.

Экосистемы объединяют биоценозы с биотопами и, по существу, приближаются к такому понятию, как геохимический ландшафт (подробнее об их сравнении см. разд. 2.3). Так, Р.Дажо (R.Dajoz, 1972) считает, что «с точки зрения рельефа местности, климатической, ботанической (и зоологической), почвенной, гидрологической и геохимической, экосистема, в известной мере, однородна».

Большая часть биомассы в экосистемах обычно приходится на долю растительности. На ее же долю приходится и большая часть химических элементов (их соединений), участвующих в биологическом (биогеохимическом) цикле миграции. Следовательно, при изучении процессов миграции и концентрации элементов в экосистемах основное внимание из всего органического мира уделяется растительности.

Экосистемы довольно неоднородны, обычно отмечается их вертикальная зональность с выделением отдельных ярусов. Так, например, в лесах выделяются ярусы древесные, кустарниковые и травянистые, в ручьях — с организмами, живущими на поверхности воды, и с донными организмами. Экосистемы, не разделяющиеся на ярусы, в американской литературе получили название консоции. Консоциями являются ранее упоминавшиеся труп животного и мертвое дерево.

Важнейшие показатели, характеризующие экосистемы — биомасса и продуктивность.

Экотоны представляют собой переходные зоны от одной экосистемы к другой. Их мощность колеблется от нескольких метров до десятков километров и обычно пропорциональна размерам граничащих экосистем. Очень часто экотоны являются геохимическими барьерами (см. разд. 2.3), и в их пределах происходит концентрация определенных химических элементов (или их соединений). Техногенные процессы в большинстве случаев способствуют такому накоплению элементов в экотонах.

Биомы (некоторые авторы их называют «формациями» и даже «комплексами») — пространства, населяемые однородными сообществами животных. При их обособлении не учитывается состав

і мстительности, хотя иногда биомам соответствуют определенные и л. гительные ассоциации. Биомы являются частью экосистем.

Продуктивность биологическая представляет собой биомассу, прон шодимую популяцией, ассоциацией биоценозов в целом на единице площади.

Ресурсы биологические — это источники материальных и духовиых благ, заключенных в объектах живой природы.

Емкость среды — по Н.Ф. Реймерсу (1990), это «степень способности какого-то окружения поддерживать функции некоего биотического образования, рассматриваемого как центральное в выделяемой совокупности». Обычно определяют *емкость среды биологическую, емкость определенного угодья* (количество конкретных животных, способных жить и нормально размножаться на единице площади), *емкость ландшафта* (количественно выраженную способность удовлетворять конкретные, например рекреационные, нужды людей).

Опад — мертвые части растений, упавшие на поверхность Земли (почву, ил и т.д.) при листопаде, опаде цветов, веток и т.д.

Мутаген — любой фактор, вызывающий мутацию, т.е. резкое наследственное изменение организмов. При мутации могут изменяться морфологические и физиолого-поведенческие признаки.

Покрытие истинное — часть поверхности земли, непосредственно занятая основаниями растений.

Покрытие проективное — площадь проекции наземных частей растений на поверхности земли.

Аллелопатия — влияние совместно проживающих организмов разных видов друг на друга через выделение продуктов жизнедеятельности.

Фенологическая фаза развития — это заметно отличающийся период в сезонном развитии природы. Для отдельных видов растений выделяются фазы появления листьев, цветения, плодоношения и т.д. В каждую из них растение преимущественно накапливает различные элементы. Процесс этот идет неодинаково в отдельных частях растения. Учет фенологических фаз развития (фенофаз) чрезвычайно важен при проведении биогеохимического опробования и обработке результатов анализов проб.

Фенологические фазы развития выделяются и в жизни животных организмов. Так, у птиц выделяются фазы перелета, гнездования, отложения яиц и т.д.

Биологический круговорот химических элементов (БИК) — поступление в живые организмы элементов из почв, вод и атмосферы с по-

следующим опадом части органического вещества или его полным отмиранием и переводом снова в почвы, воды, атмосферу. При этом часть веществ всегда уходит за пределы рассматриваемой системы. Один из основных классификационных показателей в геохимии ландшафта.

Круговорот веществ — их многократное участие в процессах (в том числе антропогенных), протекающих в атмосфере, гидросфере и литосфере. Круговорот свободного азота показан на рис. 2.11.

Трофические уровни представляют собой совокупности организмов, получающих как бы по ступеням в пищу энергию Солнца и химических реакций. Первый уровень — продуценты (автотрофы и хемотрофы), второй — первичные консументы, т.е. растительноядные организмы, третий уровень представлен вторичными консументами-хищниками и паразитами первичных консументов, четвертый трофический уровень составляют так называемые вторичные хищники, поедающие хищников предыдущего уровня, и паразиты вторичных консументов. В таком же порядке, по такой же схеме уровни возрастают до шестого.

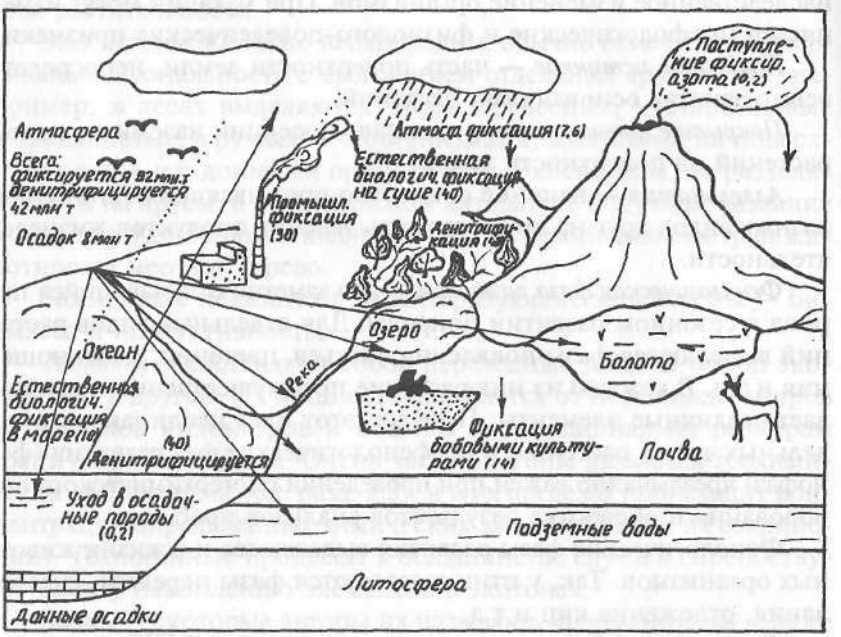


Рис. 2.11. Круговорот свободного азота и его образование в результате захоронения органических веществ (в тоннах) (по Реймерсу, 1990)

l'i дуценты могут находиться на любом трофическом уровне, Дойная со второго. Это связано с тем, что они могут разлагать in как продуцентов, так и консументов любого уровня.

Чрезвычайно большое значение имеет перераспределение lЖl> ии с переходом на каждый последующий уровень. Оно отсижено в законе пирамиды энергии Р. Линдемана:

с одного трофического уровня на другой передается в среднем не более 10% энергии.

')тот закон позволяет делать расчеты для рационального истин, ювания природных ресурсов.

Фотосинтез — это окислительно-восстановительный процесс образования живого вещества из неорганических соединений ок-1 (ужающей среды за счет световой энергии (более подробно см. в гл. 5).

Коэффициент биологического поглощения показывает, во сколько раз содержание элемента в золе определенных организмов (или вообще живых организмов) больше или меньше, чем в ли-Росфере (в конкретной горной породе или почве). Первые расче-1 i,i были сделаны акад. Б.Б. Полыновым. Данный коэффициент является важным показателем при рассмотрении биогенной миграции элементов, используется при построении рядов биологического поглощения.

Ряд биологического поглощения химических элементов составляется на основе коэффициентов биологического поглощения. Общие ряды составлены акад. А.И. Перельманом по коэффициентам, рассчитанным с учетом кларков литосферы и золы живых организмов. Можно составлять ряды поглощения для определенных видов организмов и ландшафтно-геохимических условий.

Размножение организмов как геохимический процесс довольно часто рассматривается в геохимии и биологии. Чрезвычайно важным показателем, характеризующим различные виды живого вещества, является скорость размножения организмов. При беспрепятственном размножении, по расчетам Вернадского, для заселения всей поверхности Земли только одним определенным организмом потребуется от 32 часов до 1000 лет. Почти за сутки вся поверхность нашей планеты могла бы быть покрытой, например, холерным эмбрионом. Даже наиболее медленно размножающиеся слоны (при отсутствии препятствий этому процессу) заполнили бы поверхность Земли примерно за 1000 лет.

Эти громадные потенциальные возможности к размножению держат все живые организмы (как животные, так и растительные)

в состоянии крайней напряженности и определенного динамического равновесия. Препятствуют же занятию большего пространства отдельными определенными организмами внешние условия, существующие на Земле, и борьба за существование между различными организмами.

Все более резкое возрастание роли человечества в создании определенных геохимических и термодинамических условий на нашей планете и прямое уничтожение людьми определенных животных и растительных организмов могут нарушить рассмотренное подвижное равновесие между организмами и привести к труднопрогнозируемым последствиям. Единственное, что можно уверенно предположить, так это то, что существенное изменение соотношения различных организмов создаст новые, необычные биогеохимические и собственно биологические условия для человечества как части живого вещества Земли. При этом относительно небольшая скорость размножения (особенно по сравнению с простейшими) может поставить под угрозу существование людей вообще.

Динамика популяций — процесс изменения численности и состава (полового, возрастного и др.) популяции под воздействием ряда факторов, к числу которых относятся и техногенные геохимические.

Биогеохимия — наука о влиянии организмов на геохимические процессы. Создана В.И. Вернадским. В одном из важнейших ее разделов анализируются процессы биогенной миграции химических элементов, и в частности их биологический круговорот. В биогеохимии рассматриваются также химический состав различных животных и растительных организмов и причины, вызывающие его изменения. В последнее время уделяется внимание изучению форм нахождения химических элементов в живых организмах (см. гл. 3), которые (формы нахождения) раньше объединялись в одну — биогенную.

Десущия — отсос корнями растений влаги из почвы.

Транспирация — испарение воды надземными органами растений и прежде всего — листьями.

Нитрификация — превращение азотсодержащих веществ в соединения, хорошо усваиваемые высшими растениями. Обычно это многоступенчатый процесс. Так, аэробные нитрозные бактерии, содержащиеся в почве, окисляют аммиак (NH_4) до азотистой кислоты (HNOj), затем нитратные бактерии переводят азотистую кислоту в азотную ($HN0_3$), соли которой (нитраты) хорошо растворяются и усваиваются растениями.

/^нитрификация — разрушение группами почвенных и водных и гсрий нитратов до нитритов (солей азотистой кислоты), моленирного азота и аммиака. Процесс приводит к обеднению почв.

Часоление почв — процесс увеличения содержания в них лег- і ..рпствоpимыхсолей. Засоленными считаются почвы при содержащий более 0,1% по массе токсичных солей или 0,25% солей в плотним остатке.

2.3. Понятия о геохимических ландшафтах и барьерах

Все основные виды антропогенных изменений в природе по-К8 не выходят за пределы биосферы. Однако практически невозможно связать такое глобальное понятие, как биосфера, с влиянием на изменение процессов миграции и концентрации различных веществ (в частности, токсичных) отдельных предприятий и даже крупных промышленных и аграрных комплексов. В связи с этим геохимическую (в том числе и биогеохимическую) роль антропогенных процессов удобнее рассматривать на более низком уровне организации материи.

Как показал опыт многочисленных исследований, наиболее удобным уровнем при изучении антропогенного воздействия на окружающую человека среду является ландшафтно-геохимический. Он включает два основных типа биокосных систем: элементарный и геохимический ландшафты.

Элементарный ландшафт, по мнению основателя учения о геохимии ландшафта Б.Б. Полынова, «...в своем типичном проявлении должен представлять один определенный тип рельефа, сложенный одной породой или наносом и покрытый в каждый момент своего существования определенным растительным сообществом. Все эти условия создают определенную разность почвы и свидетельствуют об одинаковом, на протяжении элементарного ландшафта, развитии взаимодействия между горными породами и организмами».

По сути, при выделении ландшафтов учитываются источники химических элементов, поступающих в ландшафт, и основные особенности внешних факторов миграции элементов, получивших в последнее время название ландшафтно-геохимических (В.А. Алексеенко, 1990, 1994).

Опыт работ показал, что к факторам, о которых писал Б.Б. Полынов, следует добавить особенности атмосферной миграции эле-

ментов, состав подземных вод, вероятное наличие многолетней мерзлоты, режим кислорода и серы. А важнейшим постоянным источником химических элементов в ландшафте являются почвообразующие (подстилающие) горные породы.

Одна из особенностей элементарных ландшафтов — обязательное отсутствие внутренних причин, ограничивающих площадь их распространения, была положена в основу разработанного А.И. Перельманом критерия выделения элементарного ландшафта: «при отнесении какого-либо участка земной поверхности к элементарному ландшафту необходимо учитывать возможность (хотя бы мысленную) распространения данного элементарного ландшафта на значительно большей территории». Исходя из этого критерия пятно солончака можно считать элементарным ландшафтом, а, например, болотную кочку или муравейник — нельзя.

Учитывая все эти положения, к одинаковым элементарным ландшафтам следует относить такие участки биосферы, у которых в аналогичных геоморфологических условиях на аналогичных почвообразующих (подстилающих) корах выветривания (горных породах) развиты одинаковые разности почв, покрытые одинаковыми растительными сообществами. Одинаковые элементарные ландшафты должны также характеризоваться: аналогичным химическим составом подземных вод; аналогичными особенностями миграции (концентрации) химических элементов, переносимых в атмосфере; одинаковыми условиями развития (отсутствия) многолетней мерзлоты и распространения по вертикальному профилю свободного кислорода. Кроме того, должны отсутствовать внутренние причины, способные ограничивать площадь распространения этих элементарных ландшафтов.

Участки с одинаковыми геоморфологическими особенностями и аналогичными растительными сообществами можно выделить в результате ландшафтно-геохимических полевых работ без дополнительных сложных анализов. Напротив, для выявления аналогичных разностей почв полевые исследования должны подкрепляться данными анализов и в первую очередь — водных вытяжек, на основании которых определяется класс водной миграции. Установление особенностей атмосферного переноса и развития многолетней мерзлоты требует привлечения материалов, полученных за несколько лет наблюдений. Для определения в ландшафтах суши режима кислорода-серы необходимо проходить обычно неглубокие горные выработки. Их нужно исполь-

i. и для характеристики почвообразующих пород (кор вы-
»- питания). Если почвенный профиль породы имеет малую
.....ость, то изучается почвоподстилающая порода (В.В. Доб-
щжольский).

Геохимические ландшафты, по определению Перельмана,— «это рагенетическая ассоциация сопряженных элементарных ландшафтов, связанных между собой миграцией элементов». Наи-Пилыиее значение для осуществления связей между элементарными ландшафтами, составляющими один геохимический ландшафт, имеют поверхностный и подземный стоки (см. гл. 8).

Сравнение геохимических ландшафтов с экосистемами позвощет сделать следующие общие выводы:

• Экосистемы и геохимические ландшафты являются не тольюю отдельными частями биосферы, они представляют собою как бы отдельные относительно самостоятельные «кирпичики», из которых и состоит сложная биокосная постройка, называемая биосферой.

• Обе выделяемые природные системы имеют очень много общего. Можно считать, что они, в первом приближении, подобны, хотя понятие экосистемы более обширно, так как гораздо полнее учитывает обилие живых организмов.

• Учение о геохимических ландшафтах является гораздо более разработанным для решения многоцелевых проблем охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов.

• Ландшафтно-геохимический подход позволяет гораздо полнее оценить особенности биологического круговорота химических элементов. Без более полного его рассмотрения невозможно объективно и правильно решать экологические проблемы (именно проблемы, а не отдельные частные вопросы).

• В учении о геохимии ландшафта на одном из первых мест стоит подход к ландшафту как к биокосной системе. Это положение сохраняется и при изучении ландшафтов на практике, делая его более комплексным и объективным.

• Геохимические ландшафты имеют, в отличие от экосистем, довольно четкие границы. Их основные эколого-геохимические характеристики выражаются в конкретных числах, поддающихся математической обработке. Имеется большой опыт (во многом он связан с проведением поисков месторождений геохимическими методами) оценки ландшафтов «мерой и весом». Такие работы могут иметь качественный, количественный и экономический характер (см. гл. 9).

• Ландшафтно-геохимический подход позволяет по одной методике оценивать территории, занятые природными и техногенными ландшафтами.

• В зависимости от поставленной цели геохимические ландшафты можно изучать (и картировать) в различных масштабах, не изменяя подхода к оценке основных показателей, в том числе и классификационных. Уже имеется большой опыт проведения таких работ.

• Однако при изучении геохимических ландшафтов крайне редко применяется довольно информативные «чисто экологические» методы, обычно используемые при изучении экосистем. Их сочетание с эколого-геохимическими исследованиями, проводимыми на ландшафтно-геохимической основе, должно стать одним из перспективнейших направлений в экологии и экологической геохимии.

Геохимическое сопряжение представляет собой закономерное для каждого геохимического ландшафта сочетание образующих его элементарных ландшафтов.

Местный ландшафт — совокупность элементарных ландшафтов, свойственных определенной геоморфологической структуре. Такой структурой могут быть водораздел, склон (его определенная часть), долина реки, терраса и т.д.

Площадь выявления ландшафта — наименьшая площадь, на которой представлены все части данного ландшафта.

Мощность ландшафта — расстояние от зоны распространения земной пыли в тропосфере до горизонта грунтовых вод. В практической работе при сравнении мощности нескольких ландшаф-

Типы концентрации элементов на

Физико-химические условия	Состав вод, поступающих				
Окислительно-восстановительные	кислородных				глее
Щелочно-кислотные	I. Сильнокислые	II. Кислые и слабокислые	III. Нейтральные и слабощелочные	IV. Сильнощелочные (содовые)	V. Сильнокислые
Границы pH в зоне гипергенеза	<3	3–6,5	6,5–8,5	>8,5	<3
Элементы, подвижные в водах любого состава	Na, K,				

i in 10 берется расстояние от и «и ita фунтовых вод до макни.ной высоты произрастали I» этом ландшафте расте-..! |й Кроме того, часто сравни- • i си отдельно мощности надимиых и подземных частей 1 шм.шафтов.

Вертикальные профили \,ччШафтов неоднородны и рас-|н 1ШЮТСЯ на отдельные составншпцие (рис. 2.12): надземная i ,п ть (в ней выделяется ярус пнпсмного живого вещества), ним на, почвоподстилающая кора шлнстривания С материнскими ГОРНЫМИ Породами, ВОДОНОСНЫЙ ГОРИЗОНТ. Выделенные Ярусы |.1кже неоднородны и имеют спою вертикальную зональность, НО уже на другом уровне.

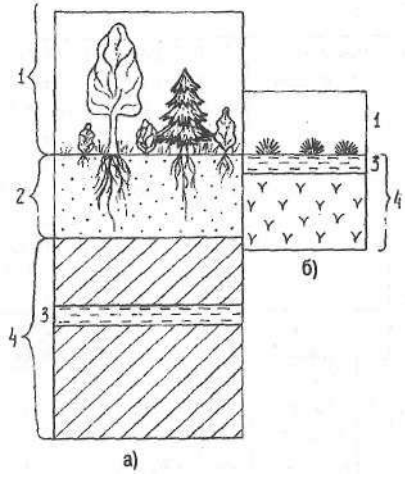


Рис. 2.12. Вертикальный профиль лесного (а) и болотного (б) ландшафтов: 1 — надземная часть ландшафта; 2 — почва; 3 - водоносный горизонт; 4 - кора выветривания, коренные породы

Геохимические барьеры — одно из основных понятий современной геохимии. По формулировке Перельмана, это «те участки земной коры, на которых на коротком расстоянии происходит резкое уменьшение интенсивности миграции химических элементов и, как следствие, их концентрация».

Таблица 2.8

физико-химических барьерах биосферы (по данным А.И. Перельмана)

к геохимическому барьеру						
вых			сероводородных			
VI. Кислые и слабокислые	VII. Нейтральные и слабощелочные	VIII. Сильнощелочные	IX. Сильнокислые	X. Кислые и слабокислые	XI. Нейтральные и слабощелочные	XII. Сильнощелочные
3–6,5	6,5–8,5	G>8,5	H<3	3–6,5	6,5–8,5	G>8,5
Rb, Cs, N, Cl, Br, I						

Парагенная ассоциация		Li, Tl, F, Mg, Ca, Ra, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Hg, Be, Al, Ga, In, Sc, Y, TR, Si, Ge, Sn, Ti, Zr, Th, Cr, Mo, W, U, P, As, V, Nb, Ta	Li, Tl, F, Mg, Ca, Sr, Ba, Ra, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, Ag, Au, Be, Al, Ga, In, Sc, Y, TR, Si, Ge, Sn, Ti, Zr, Th, Cr, Mo, W, U, P, As, V, Nd, Ta	Li, Tl, Mg, Ca, Sr, Zn, Se, Cr, Mo, W, U, Re	Li, F, B, Zn, Cu, Ag, Be, Al, Sc, Y, Si, Ge, Sn, Ti, Zr, Th, Cr, Mo, W, U, Re, V, Nb	Li, Tl, F, Mg, Ca, Sr, Ba, Ra, Mn, Fe, Co, Ni, Cu , Zn, Pb, Cd, Hg, Ag, Au, Be, Al, Ga, In, Sc, Y, Si, Ge, Sn, Ti, Zr, Th, Cr, Mo, W, U, P, V, Nb, Ta
Класс геохимического барьера	A – кислородный	A1 Fe	A2 Fe, Mn, Co	A3 Mn	A4 –	A5 Fe
	B – сульфидный (сероводородный и др.)	B1 Tl, Cu, Hg, Pb, Cd, Bi, Sn, As, Sb, Mo, W, U	B2 Tl, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, Sn, Cr, Mo, U	B3 Tl, Cr, Mo, U, Se, Re, V	B4 Cu, Ag, Zn, Cr, Mo, U, V, As	B5 Tl, Pb, Cd, Bi, Sn
	C – глеевый	C1 Cu, U, Mo	C2 Cu, U, Mo	C3 Cu, Cr, U, Mo, Re, Se, V	C4 Cu, Ag, Cr, Mo, U, Re, Se, V, As	C5 Cu, U, Mo
	D – щелочной	D1 Mg, Ca, Sr, Ba, Ra, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, Be, Al, Ga, Y, TR, Cr, P, As, U	D2 Mg, Ca, Sr, Ba, Ra, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, Be, (U)	D3 –	D4 –	D5 Mg, Ca, Sr, Ba, Ra, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, Be, Al, Ga, Y, TR, Cr, P, As, (U)
	E – кислый	E1 –	E2 –	E3 Si, Mo	E4 (Cu), (Zn), Ag, Be, Al, Ga, Sc, Y, TR, Si,(Ge), Zr, (Ti), Mo, Cr, V	E5 –
	F – испарительный	F1 Na, K, Rb, Tl, Cl, Mg, Ca, Sr, S, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Al, Mo, U	F2 –	F3 Li, Na, K, Rb, Tl, N, B, F, Cl, Br, I, Mg, Ca, Sr, S, Zn, Mo, U, V, Se	F4 Li, Na, K, Rb, Tl, N, B, F, Cl, Br, I, Cu, Zn, Mo, U, Se	F5 Na, K, Rb, Tl, Cl, Mg, Ca, Sr, S, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Al, Mo, U
	G – сорбционный	G1 Al, Sc, Ga, Si, Ge, P, V, As	G2 Si, Ba, Zn, Cd, Ni, Co, Pb, Cu, U, Cl, Br, I, F, S, P, V, Mo, As	G3 Li, Na ,K, Rb, Cs, Tl , Zn, (Cl, Br, I, B, F, S, P, V, Mo, As)	G4 Li, Na, K, Rb, Cs, Tl, (Cl, Br, I, B, F, S, P, V, Mo, As)	G5 Al, Sc, Ga, Si, Ge, P, V, As
	H – термодинамический	H1 –	H2 Mg, Ca, Sr, Ba, Mn, Zn, Pb, Co, Ni	H3 (Li), Mg, Ca, Sr, Ba, Zn, Pb	H4 Zn, (Cu), (U)	H5 –

Окончание табл. 2.8

Li, Tl, F, Mg, Ca, Sr, Ba, Ra, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, Ag, Au, Be, Al, Ga, In, Sc, Y, Si, Ge, Sn, Ti, Zr, Th, Cr, Mo, W, U, P, V, Nb, Ta	Li, Tl, Mg, Ca, Sr, Ba, Mn, Fe, Co, Ni, Hg, Mo, W, U	Li, Tl, F, B, Mn, Cu, Zn, Cd, Hg, Be, Al, Sc, Ga, Y, Si, Ti, Ge, Zr, Sn, Mo, W, U	Li, Tl, F, Mg, Ca, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Cd, Hg, Be, Al, Ga, Sc, Y, TR, Ge, Sn, Zr, Th, Cr, P, As	Li, F, Tl, Mg, Ca, Sr, Ba	S, Se	Li, F, Be, B, Al, Sc, Y, TR, Zr
A6 Fe, Mn, Co	A7 (Fe), Mn, Co	A8 (Mn)	A9 S, Se, (Fe)	A10 S, Se	A11 S, Se	A12 S, Se
B6 Tl, Fe, Co, Ni, Pb, Cu, Zn, Cd, Hg, U	B7 Tl, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Hg, (Mo), (U)	B8 Tl, Cu, Zn, Cd, Hg, Mn, (Fe, Co, Ni, U)	B9 –	B10 –	B11 –	B12 –
C6 Cu, U, Mo	C7 Mo, U	C8 Mo, U	C9 –	C10 –	C11 –	C12 –
D6 Mg,Ca,Sr,Ba, Ra,Mn,Fe,Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, Be, Al, Ga, Y, TR, Cr, P, As, (U)	D7 Mg, Ca, Sr, Ba, Zn, Cd, Mn, Co, Ni	D8 –	D9 Mg, Ca, Sr, Ba, Ra, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Pb, Cd, Be, Al, Ga, Y, TR, Cr, P, As	D10 Mg, Ca, Sr, Ba	D11 –	D12 –
E6 –	E7 Si, Mo	E8 (Cu), (Zn), Be, Al, Ga, Sc, Y, TR, Si, Zr, (Ti), Mo	E9 –	E10 –	E11 Si, Ge	E12 Be, Al, Ga, Sc, Y, TR, Si, Ge, Zr, (Ti)
F6 –	F7 Li, Na, K, Rb, Tl, N, B, Cl, Br, I, Mg, Ca, Sr, S, Zn	F8 Li, Na, K, Rb, Tl, N, B, F, Cl, Br, I, Zn	F9 Li, Na, K, Rb, F, Cl, Br, I, Mg, Ca, Sr, S	F10 –	F11 Li, Na, K, Rb, F, Cl, Br, I, Mg, Ca, Sr, S	F12 Li, Na, K, Rb, N, B, F, Cl, Br, I
G6 Si, Ba, Zn, Cd, Ni, Co, Pb, Cu, U, Cl, Br, I, F, S, P, Fe, Mn	G7 Li, Na, K, Rb, Cs, Tl, Zn, (Cl, Br, I, F, B, S, P)	G8 Li, Na, K, Rb, Cs, Tl, (Cl, Br, I, B, F, S, P)	G9 Al, Sc, Ga, Si, Ge, P, V, As	G10 Sr, Ba, (Cl, Br, I, F, B, S, P)	G11 Li, Na, K, Rb, Cs, (Cl, Br, I, F, B, S, P)	G12 Li, Na, K, Rb, Cs, (Cl, Br, I, F, B, P)
H6 Mg, Ca, Sr, Ba, Mn, Zn, Pb, Co, Ni, Fe	H7 (Li), Mg, Ca, Sr, Ba, Zn, Pb, Mn	H8 Zn, (Cu), U	H9 –	H10 Mg, Ca, Sr, Ba	H11 Mg, Ca, Sr, Ba	H12 –

Можно выделить два основных типа геохимических барьеров — природные и техногенные. Они подразделяются на четыре класса: *физико-химический, биогеохимический, механический и социальный*. К настоящему времени детально разработана классификация физико-химических барьеров. Среди них выделяются следующие (табл. 2.8): кислородный, сероводородный, глеевый, щелочной, кислый, испарительный, сорбционный, термодинамический. Как видно из таблицы, в зависимости от того, в каких условиях (окислительно-восстановительных и щелочно-кислотных) химические элементы подходят к барьеру, определенная часть их осаждается на барьере.

Таким образом, зная класс барьера, направление мигрирующего потока и условия миграции перед барьером (а в подавляющем большинстве случаев эти данные имеются), можно уверенно прогнозировать осаждение на конкретном барьере определенных элементов. Возможно решение и обратной задачи: по комплексу сконцентрировавшихся элементов определить класс барьера и условия миграции элементов. В этом случае очень важно установление их зонального распределения на барьере. (Подробно геохимические барьеры рассматриваются в гл. 6.)

А.И. Перельманом выведена формула для расчета концентрации элементов на геохимических барьерах:

$$h = k\frac{m_1 - m_2}{a_1 - a_2},$$

где h — содержание рассматриваемого элемента, концентрирующегося на барьере; к— коэффициент, зависящий от инертной массы на барьере; т, — содержание рассматриваемого элемента в миграционном потоке; $ш_2$ — то же, после барьера; а, — содержание всех веществ в потоке до барьера; a_2 — их же содержание после барьера.

Из формулы видно, что для большой концентрации определенного элемента на барьере не обязательно его высокое содержание в миграционном потоке. Если данный участок был барьером только для одного (или нескольких) элемента, а у большинства остальных элементов (соединений) на этом участке интенсивность миграции не изменялась, то даже при низкой концентрации рассматриваемого элемента в мигрирующем потоке его концентрация на барьере может со временем быть очень высокой.

2.4. Понятие о ноосфере и техногенезе

По ориентировочным подсчетам общая масса человечества составляет около 0,2 млрд т, что существенно меньше общей биомассы Земли. Однако с деятельностью человечества связаны многочисленные геохимические процессы, во многом принципиально отличающиеся от таковых, связанных с развитием других живых организмов. Участвуя, как и они, в процессах обмена веществ, человечество, кроме того, осуществляет грандиознейшее (и все возрастающее) перемещение атомов химических элементов в биосфере, связанное с социальной, общественной деятельностью. Так, общее количество ежегодно механически перемещаемого людьми материала литосферы составляет около 100 млрд т, что соизмеримо с денудационной работой всех рек Земли. О процессах рассеяния можно судить хотя бы по данным Х. Брауна: в США на душу населения ежегодно производится 600 кг стали, 210 кг из которых безвозвратно теряется. Эти потери связаны с коррозией и другими процессами, способствующими рассеянию железа до концентраций, более низких, чем его содержание в рудах.

Для характеристики таких процессов, оценки их последствий и прогноза дальнейших изменений биосферы от деятельности людей были предложены определенные термины и понятия. К числу важнейших из них относятся ноосфера и техногенез.

Ноосфера «...есть новое геологическое явление на нашей планете. В ней впервые человек становится крупнейшей геологической силой. Он может и должен перестраивать своим трудом и мыслью область своей жизни, перестраивать коренным образом по сравнению с тем, что было раньше» (В.И.Вернадский).

В то же время Вернадский отмечал, что человек неотделим от биосферы, а «его существование есть ее функция». Таким образом, перестройка области жизни мыслится как сохранение биосферы, пригодной для жизни человечества, которое хотя и становится крупнейшей силой, но остается только незначительной частью живых организмов биосферы, без сообщества с которыми невозможно его существование вообще.

Техногенез — термин, предложенный Ферсманом для обозначения процессов перемещения (перераспределения) и концентрации химических элементов (их соединений), происходящих в результате технической (технологической) деятельности людей.

Удобнее всего рашатривать последствия такой деятельности а также проводитых прогнозирование на ландшафтно-геохими ческой основе.

Потенциал самщищения — способность определенного геохи мического ландшгуга без самоуничтожения разлагать отбрось и отходы, устраня-, их вредное воздействие на жизнь. В основном определяется собенностями самого ландшафта, в частности развитием в еголределах различных живых организмов. Так. потенциал ландша>тов арктических зон меньше, чем центральных или тропичесцх. В аквальных ландшафтах с текущими водами он больше, чм в случае застойных вод. Низким самоочищением отличаются ландшафты водоемов с олиготрофными организмами.

Нагрузка рекрвационная — степень влияния людей (их транспортных средств и строиглства) на природные (биогенные) ландшафты или рекреационые объекты. Выражается числом людей (человеко-дней) на едиицу площади (можно на конкретный рекреационный объект) \ определенный промежуток времени.

Рекреационная агрузка может быть *оптимальной, максимально допустимой* и превсходящей допустимую — *диструкционной*. (При диструкционной нарузке происходит уничтожение данного геохимического ландшфта.) Так, для 1 га лесов средней полосы России диструкционно нагрузкой являются в сосняках — 7, в ельниках-черничниках - 15, в березняках и осинниках — от 25 до 30 человек ежедневно в Учение 5-7 лет (Н.Ф.Реймерс, 1990).

Эрозия антропогецая (техногенная) — это ускоренное разрушение почвы и подстидющих ее горных пород водами и ветром в результате хозяйствещщ деятельности, проводимой без учета конкретной ландшафта -геохимической обстановки.

Мелиорация — зтштельное изменение природной среды с намерением ее улучшесия для ведения хозяйственной деятельности и (или?) жизни ладей. К сожалению, изменения в самой зоне мелиорации и сосцних ландшафтах часто не соответствуют намерениям. Частными лучаями мелиорации являются *орошение, осушение, физическая* и *имическая* мелиорации.

Террасирование склнов — это создание искусственным путем определенных уступов а склонах. Проводится для обеспечения устойчивости склонов,: также более благоприятных условий для выращивания сельскохояйственных, лесных, луговых и т.п. культур.

Террикон — конусюбразный отвал из горных пород, извлекаемых при проходке аахт, или отходов обогащения угля (руд).

in высота может превышать 100 м, объем — десятки миллионов | В м, а занимаемая им площадь — десятки гектар. По химиче-.inMv и минералого-петрографическому составу обычно резко юмичается от почв ландшафта, на месте которого он создается. 1 HI терриконов угольных шахт характерны самовозгорание и rot ргиис, продолжающиеся иногда до десяти лет.

Организм-индикатор обладает очень узкими пределами эколо-1Ичсской приспосабливаемости. На определенные изменения it i реде своего обитания он быстро реагирует своим поведением, и шснением физиологических реакций или исчезновением.

Мониторинг — слежение за какими-то объектами или явлениями. В последние годы в связи с резким возрастанием антропоидной деятельности и загрязнением окружающей среды роль мониторинга резко возрастает.

Линия питательных веществ представляет собой ломаную, соединяющую в таблице Д.И. Менделеева калий, углерод и железо. Химические элементы, пересекаемые в таблице этой линией или находящиеся вблизи ее, накапливаются растениями в повышенных концентрациях. Считается, что чем ниже и дальше от этой линии расположен в таблице элемент, тем он более токсичен при повышенных концентрациях для живых организмов.

Тяжелые металлы имеют плотность свыше 8000 кг/м^3. К ним относятся около 20 металлов. Их антропогенное поступление В биосферу в подавляющем большинстве случаев приводит к отравлению живых организмов, включая человека. Н. Ф. Реймерс (1990) приводит данные о природных концентрациях ряда таких металлов, вызывающих заболевание человека (табл. 2.9).

Ясно, что увеличение концентрации этих металлов даже в несколько раз (а тем более в десятки и сотни, как это наблюдается во многих промышленных районах) приводит к изменениям живых организмов.

Технофильность — отношение годовой добычи элемента к его кларку в земной коре. Показатель введен академиком А.И. Перельманом. Фактически он показывает, сколько данного элемента в единицах его кларка добыто человечеством за год. Иногда технофильность элемента определяют для отдельных стран. Однако объективную информацию (особенно для экологических целей) в этом случае можно получить только для стран, имеющих большую площадь и не специализирующихся на добыче определенного сырья. В других случаях лучше применять показатель относительного использования, предлагаемый автором.

Таблица 2.9

Естественное содержание некоторых металлов, вызывающих заболевание человека (в частях на миллион)

Металл	Горные породы	Уголь	Морская вода	Растения (сухой вес)	Животные (сухой вес)
Cd	0,2	0,25	0,0001	0,1–6,4	0,1–3
Cr	100	60	0,00005	0,3–4	0,02–1,3
Co	25	15	0,00027	0,2–5	0,3–4
Pb	12,5	5	0,00003	1,8–50	0,3–35
Hg	0,08	–	0,00003	0,02–0,03	0,05–1
Ni	75	35	0,0045	1,5–36	0,4–26
Ag	0,07	0,1	0,0003	0,97–0,25	0,006–5
Ga	0,45	0,05	0,00001	1,0–80	0,2–160
V	135	40	0,002	0,13–5	0,14–2,3
Au	0,004	0,125	0,00001	0–0,012	0,007–0,03

Показатель относительного использования химических элементов представляет собой отношение количества элемента (в тоннах), завозимого в любой форме нахождения в определенный регион (страну, область и даже город) в течение года, к его местному кларку (фоновому содержанию). Эта величина должна использоваться для прогнозирования относительного загрязнения регионов. При ее подсчете необходимо учитывать поступление элементов из других районов в виде сырья, различных машин, механизмов и продуктов питания.

Показатель относительного техногенного накопления химических элементов представляет собой отношение количества элемента (в тоннах), накопившегося в ландшафте или его определенной части в результате техногенеза, к кларку (местному фоновому содержанию) этого элемента в аналогичном природном ландшафте, не испытывающем (или относительно не испытывающем) техногенного воздействия. Данный показатель предложен автором для сравнительной характеристики преимущественно техногенного накопления различных элементов.

Его использование рассмотрим на примере Новороссийска. Общая площадь города 35 кв. км. Для эколого-геохимической характеристики его почв было отобрано и проанализировано около 3000 проб. Кроме того, за пределами городского района на всем

u.,1., режье изучались природные геохимические ландшафты, от- (ИЧйющиеся от городских отсутствием техногенной нагрузки.

Используя данные о содержании семи металлов в почвах них ландшафтов (табл. 2.10) и принимая удельный вес почв равным 1,7 г/см^3, получаем, что в верхнем 20-сантиметровом слое и (учаемых металлов накопилось за 150 лет со дня основания го- l">n1 от 1 до 2200 т. По абсолютному накоплению металлов можно составить следующий ряд: Sr, Zn, Pb, Cu, Sn, Mo, Ag. При этом на первом месте стоит Sr, и создается впечатление, что его техногенные источники должны считаться основными загрязнителями. Однако если учтем фон природных ландшафтов и оп- |x*делим показатель относительного техногенного накопления, то ряд металлов, составленный в сторону уменьшения, будет иметь следующий вид: Pb, Zn, Sn, Ag, Cu, Sr, Mo. В этом случае наибольшее внимание следует уделять Pb и Zn; стронций же перемещается на предпоследнее место. Предварительный анализ заболеваемости показывает, что признаков уровской болезни, вы- пиваемой высокими концентрациями Sr, нет, но довольно много заболеваний, провоцируемых повышенным содержанием Pb и Zn.

Ядохимикаты — химические соединения, используемые для борьбы с сорняками, а также вредителями и болезнями культурных растений. Существуют не только положительные, но и отрицательные последствия применения ядохимикатов. Уничтожая опреде-

Таблица 2.10

Техногенное накопления металлов в почвах Новороссийска

Металл	Фоновое содержание элементов в почвах ландшафтов, аналогичных существовавшим на месте города, $n \cdot 10^{-3}$%	Среднее содержание элементов в почвах городских ландшафтов, $n \cdot 10^{-3}$%	Количество металла, накопившегося в городских ландшафтах, т	Показатель относительного техногенного накопления
Sr	30	48	2,200	73,3
Zn	6,2	16	1190	191,9
Pb	2,0	10,4	1000	500
Cu	3,5	5,7	262	74,8
Sn	0,31	0,65	43	138,7
Mo	0,13	0,19	7	53,8
Ag	0,012	0,02	1	83,3

ленные организмы, они разрушают сложные биологические системы, косвенно приводя к гибели многие организмы. Постепенно накапливаясь по трофическим цепям и поступая в итоге в человеческий организм, ядохимикаты вызывают многие опасные заболевания. Некоторые ядохимикаты воздействуют на генетический аппарат сильнее, чем радиация. Мигрируя в природных водах и атмосфере, многие ядохимикаты переносятся на тысячи километров, не разлагаясь продолжительное время.



ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ В БИОСФЕРЕ

ГЛАВА 3
ОСНОВНЫЕ ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЗЕМНОЙ КОРЕ

3.1. Основные понятия

Для решения проблем, стоящих перед экологической геохимией, необходимо изучать поведение химических элементов в различных горных породах и составляющих их минералах, в почвах, подземных и поверхностных водах, растениях и т.д. С точки зрения современного естествознания, все перечисленные образования представляют собой конкретные, виды материи, состоящие из определенных химических элементов. Однако их атомы находятся не в изолированном друг от друга состоянии, а в разнообразных сочетаниях между собою. Часть из них (этих сочетаний) является относительно устойчивой и рассматривается в геохимии как форма нахождения химических элементов.

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

Относительно устойчивыми они считаются потому, что практически все элементы, составляющие земную кору, вовлекаются в большой и малый циклы миграции[1]. При этом ранее существовавшие сочетания элементов разрушаются и возникают новые. Но многие элементы могут находиться в относительном химическом равновесии в пределах довольно длительного (даже с геологической точки зрения) времени.

Отдельные формы нахождения являются более или менее независимыми друг от друга. Сочетание элементов в каждой из них подчиняется различным физико-химическим закономерностям и является возможным только при определенных внешних условиях (внешних факторах миграции).

Вообще в природе существует довольно много различных форм нахождения химических элементов. В земной коре их несколь-

[1] Существует также миграция элементов, связанная с процессами формирования и разрушения планет и звезд. Но эти процессы рассматриваются в другой, хотя и родственной, науке — в космохимии.

ко меньше. При изучении экологической геохимии нам достаточно рассмотреть только важнейшие из них. В свое время рядом ученых были предложены свои классификации форм нахождения химических элементов в земной коре. Так, первоначально формы нахождения химических элементов в земной коре были объединены Вернадским в четыре главнейших:

- горные породы и минералы (к ним были отнесены природные воды и газы);
- живое вещество, или биогенная форма нахождения;
- магматические (существенно силикатные) расплавы;
- состояние рассеяния.

Б.А. Гаврусевич (1968) предложил дополнительно выделять как отдельные формы нахождения изоморфные примеси, водные растворы и газовые смеси. По мере развития геохимии, а особенно под влиянием проблем, разрешаемых в той ее части, которая считается прикладной, потребовалось рассматривать самостоятельно еще больше форм нахождения элементов в земной коре. Кроме форм, предложенных Гаврусевичем, автор выделил коллоидную форму с жидкой дисперсионной средой и форму нахождения в виде техногенных соединений, не имеющих природных аналогов. Обособление последней обусловлено все увеличивающимся воздействием на верхние оболочки Земли антропогенной деятельности и возрастанием в результате этого влияния на миграцию и концентрацию химических элементов в биосфере новых техногенных соединений.

Увеличивающейся ролью техногенеза в перемещении элементов на поверхности Земли и обилием поступающих при этом в атмосферу и гидросферу мельчайших частиц объясняется и необходимость выделять, как особую форму нахождения элементов, коллоиды и сорбированные ими вещества.

3.2. Самостоятельные минеральные виды

3.2.1. Общие сведения

В верхней твердой оболочке Земли — литосфере самостоятельные минеральные виды являются наиболее распространенной косной (неживой) природной формой нахождения химических элементов. В настоящее время насчитывается около 2000 видов минералов различных комбинаций и нахождений в самородном со-

. иШпии. 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, [1] и, I'b и др.) входят в состав более чем 100 минералов (каждый). И ю же время более десяти элементов (Rh, Os, Ru и др.) образу-»'| исего несколько собственных минералов. Следует сразу же • 11 мстить, что только распространенностью элементов нельзя объ-НI нить их способность образовывать самостоятельные минералы. i.iк, среднее содержание в земной коре свинца составляет i (> • 10^{-3}%, а число собственных минералов — 199; для галлия эти шачения соответственно равны $1{,}9 * 10^{-3}$% и 2.

Часть техногенных соединений иногда также называют минералами, но искусственными. Они могут иметь природные анало-i и или быть отличными от природных соединений. (В рассматриваемом разделе разбираются особенности только первых).

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.

Следует отметить, что минералы являются основным источником химических элементов для создания различных техногенных соединений. Большие скопления определенных минералов (обычно это месторождения) создают аномальную экологическую обстановку. Такая обстановка при отработке месторождений становится все более отличной от природной и площади ее распространения, как правило, увеличиваются.

Существует довольно много классификаций минералов. Среди них наибольшее распространение получили кристалл охимические, учитывающие свойства минералов, их химический состав и внутреннюю структуру.

3.2.2. Минералы и антропогенные процессы

Использование человеком минералов началось в глубокой древности. Сначала, вероятнее всего, употреблялись определенные ми-

нералы из-за своих специфических физических свойств. Позже из минералов стали выделять конкретные химические элементы и их соединения. В настоящее время нет ни одной отрасли промышленности, в которой не применялись бы минералы либо непосредственно в природном виде, либо после соответствующей переработки. Развитие современного сельского хозяйства теснейшим образом связано с использованием минеральных удобрений. Без минерального сырья невозможно развитие топливно-энергетической базы страны. Ряд минералов является не только составной, но и необходимой частью пищи людей, например поваренная соль. Некоторые минералы используются в медицине (соли йода, мирабилит и др.). Нельзя не вспомнить об эстетическом значении минералов, используемых для украшений, изготовления поделок, облицовки при строительстве. Многие полезные свойства минералов еще не открыты, а многие забыты, хотя могли бы дать им вторую жизнь.

Все перечисленное позволяет считать, что в обозримом будущем разработка месторождений, извлечение из недр Земли минералов и их самое разнообразное использование будет не уменьшаться, а увеличиваться. При этом происходит и будет возрастать (как по дальности перемещения, так и по общему объему) миграция и самих минералов, и составляющих их химических элементов. Такая техногенная миграция очень часто приводит к резкому возрастанию концентраций определенных элементов в отдельных районах и к появлению не характерных для природных условий ассоциаций химических элементов, образующих повышенные концентрации на некоторых участках биосферы.

Все возрастающая потребность в минеральном сырье приводит к тому, что начинают разрабатываться месторождения хотя и с более низким содержанием определенных минералов, но с большими их суммарными запасами. Это в свою очередь вызывает необходимость перемещать все большие массы так называемой пустой породы, также состоящей из минералов. В конечном же счете на все больших площадях меняются минералого-геохимические условия, к которым за многие годы «привыкли» все живые организмы этих районов. Поскольку сами изменения происходят катастрофически быстро, то многие животные и растительные организмы погибают, не успевая приспособиться к новым условиям.

Рассматривая минералы с точки зрения экологической геохимии, следует отметить еще их две особенности. Во-первых, сочетания некоторых (в первую очередь породообразующих) минералов создают в каждом регионе соответствующий минералого-ге-

пчимический фон (подробнее см. гл. 4), который не только опре- [I чист многие условия существования организмов, но часто кон- ‖»олирует и их видовое разнообразие. Во-вторых, доступность мня живых организмов химических элементов, составляющих минералы, зависит от свойств этих минералов, от их устойчивости 1 условиях биосферы. Эти особенности специалистам-экологам сле- /I ует постоянно помнить в своей повседневной работе.

Оценивая в целом результаты антропогенного воздействия на минералы, необходимо отметить, что оно способствует переходу химических элементов из минеральной формы в коллоидную, в полные растворы и биогенную форму нахождения.

3.2.3. Основные принципы кристаллохимии

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

Таким образом, для кристаллов характерен и ближний, и дальний порядок, а для аморфных минералов — только ближний порядок в расположении слагающих их атомов, ионов или их групп. Важнейшие свойства минералов как веществ с закономерно расположенными структурными единицами определяются двумя основными кристаллохимическими принципами.

Первый принцип кристаллохимии. Этот принцип был окончательно сформулирован В.М. Гольдшмидтом[1] в 1932 г.:

[1] Близок к этой формулировке был еще в XIX в. А.М.Бутлеров, писавший, что химическая природа тела обуславливается природой и количеством его элементарных частей и его химической структурой. В связи с этим кажется целесообразным первый принцип кристаллохимии называть принципом Бутлерова-Гольдшмидта, увековечив тем самым большие заслуги двух выдающихся ученых.

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

Представить это в виде формулы, позволяющей перейти к количественной оценке образующихся структур кристаллических решеток, пока еще не удалось. Однако возможно его качественное выражение следующей зависимостью:

$$S = f(n, R_k, R,, i),$$

где S — пространственное расположение структурных единиц; f — функциональная зависимость; п — общее число структурных единиц; R_k, Ra — величины ионных радиусов соответственно катиона и аниона; i — поляризационные свойства.

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 их групп).

Этим правилом объясняется как бы только геометрическая стабильность решетки. В соответствии с ним при одном и том же составе структурных единиц, имеющих определенные размеры, возможно существование нескольких решеток (полиморфных модификаций). При этом в природе распространены наиболее устойчивые в конкретных условиях. Так, например, у самородной серы возможны шесть полиморфных модификаций. Из них в природе встречаются только три, а в пределах биосферы (при температуре меньше 96,5° С) — лишь одна, ромбическая.

Однако для полной устойчивости кристаллическим решеткам необходима и энергетическая стабильность. Обеспечивающие ее требования выражаются в виде правила, которое можно назвать правилом Полинга, изучавшего эту проблему, и сформулировать следующим образом:

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 тлько 8,23% на электростатические поля атомов и ионов всех цругих элементов;

• подавляющее большинство ионов этих элементов имеет меньший радиус, чем ион кислорода O^{2-}. Следовательно, всю н-ммую 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 • пободного кислорода, а в каждом литре вод морей и океанов его 1 одсржится 3 $см^3$, можно более полно представить громаднейшую роль этого элемента в биосфере, его прямое и косвенное влияния НВ живые организмы.

Второй принцип кристаллохимии. Он был сформулирован в 1()33 г. А.Ф. Капустинским:

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

Общее математическое выражение второго принципа имеет вид:

$$U = f(n, R_k, R_a, W_k, W_a)\ [i],$$

где U — энергия кристаллической решетки; W_k — валентность катиона; W_a — валентность аниона; остальные обозначения такие же, как в предыдущей формуле.

Методы расчета энергии кристаллических решеток. К одному из первых уравнений для расчета энергии решетки[1] следует отнести уравнение Борна-Ланде, в котором размеры радиусов выражаются в ангстремах:

$$U = \frac{e^2 N A W_k W_a}{R_k R_a}\left(1 - \frac{1}{K}\right),$$

где U — энергия решетки; e^2 — квадрат заряда электрона; N — число Авогадро; A — константа Маделунга, характерная для каждого типа кристаллической решетки; W_k, W_a — валентности катиона и аниона; R_k, R_a — радиусы катиона и аниона; K — коэффи-

[1] Энергия решетки ионного кристалла представляет собой энергию, которая поглощается одним молем кристалла при его испарении и разложении до бесконечно удаленных друг от друга ионов.

циент, учитывающий межъядерное отталкивание и изменяющийся от 4 до 12, но обычно близкий к 10 (как правило, он определяется экспериментально).

Основная сложность расчетов по этой формуле связана с константой Маделунга, которая установлена для наиболее простых решеток (типа NaCl); для сложных химических соединений определить ее практически невозможно. А.Ф. Капустинский, преобразуя уравнение Борна-Ланде, предложил (1949) следующую формулу (для радиусов, измеряемых в ангстремах):

$$U = 287{,}2\frac{W_k W_a \sum n}{R_k R_a}\left(1 - \frac{0{,}345}{R_k + R_a}\right),$$

где п — число структурных единиц (атомов в химической молекуле); остальные обозначения те же, что и в предыдущих формулах.

А.Е. Ферсман подошел к вычислению энергии кристаллических решеток с позиций энергетических коэффициентов. Суммируя ЭК (а они определены для ионов практически всех элементов), согласно химической формуле рассматриваемого соединения получаем значение энергии кристаллической решетки в условных единицах (ЭК):

$$U_{NaCl} = K\left(ЭК_{Na} + ЭК_{Cl}\right),$$

где К — независимая константа.

При переходе от условных единиц к килокалориям К=256,1; к электрон-вольтам — К=11,3, а к килоджоулям — К=1071,74.

Энергия кристаллических решеток, рассчитанная различными способами, в сравнении с полученной экспериментальным путем приведена в табл. 3.1.

Необходимо отметить, что наиболее применимой и универсальной" для энергетических расчетов в геохимии является методика, предложенная А.Е. Ферсманом. Она, в отличие от остальных, позволяет вычислять энергию (правда, с определенной ошибкой) даже для сложных соединений (решетки силикатов, комплексные и т.д.) и получать сравнимые величины. Наиболее точные результаты получаются для решеток с ионной связью, а по мере увеличения степени ковалентности связи точность вычисления уменьшается.

Долю ионной и ковалентной связи атомов в соединениях типа $АпВ_п$ можно установить по разнице величин электроотрицатель-

Таблица 3.1

Сравнение величин энергии кристаллических решеток, установленных различными способами, для ряда соединений

Соединение	Тип структуры решетки	Энергия решеток, вычисленная			
		экспериментально	по методике		
			Борна	Капустинского	Ферсмана
NaCl	Хлористого натрия	183,3	183,3	183,6	179,3
KBr	То же	157,8	155,6	155,6	148,5
FeO	—»—	964	952,7	952,7	940
Al_2O_3	Корунда	3618	3872	4065	3726
β-кварц	β-кварца	3097	3042	3594	2996
SnO_2	Рутила	2813	2731	2983	2817
CaF_2	Флюорита	617,2	617,8	643	638
ZnS	Сфалерита	852	748	797,3	858

ностей соединяющихся элементов. Чем больше эта разница, тем выше степень ионных связей и ниже атомных (см. табл. 2.5).

Главный недостаток расчетов с помощью ЭК — отсутствие учета типа кристаллической решетки; в результате для всех полиморфных разновидностей вычисленная энергия получается одинаковой.

3.2.4. Связь основных свойств минералов с кристаллохимическими показателями

Энергия кристаллических решеток. Этот показатель характеризует (вместе с другими факторами) ряд свойств минералов и особенностей их образования. Наиболее детально изучением этого явления занимался А.Е. Ферсман. Им был установлен ряд положений, которые он сам иногда называл «эмпирическими правилами», имеющими исключения. К их числу относятся следующие:

1. *В диссоциированных расплавах, растворах и флюидах последовательность кристаллизации минералов следует за понижением энергии их кристаллических решеток.* Такая тенденция прослеживается как в целом — от высокотемпературных эндогенных процессов к низкотемпературным экзогенным, так и при последовательности кристаллизации минералов в определенном процессе (магматическом, пневматолито-гидротермальном и т.д.). Это можно подтвердить следующим примером последовательности кристал-

лизации минералов в пневматолито-гидротермальном процессе в зависимости от уменьшения энергии кристаллических решеток:

$MoS_2(2766)$-$FeS_2(1132)$-$ZnS(858)$-$PbS(717)$-HgS (632).

В целом же положения Ферсмана позволили сделать автору следующий очень важный 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* (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Связь между твердостью карбонатов и ВЭК

Минерал	Формула	Твердость по Моосу	ВЭК	
			катиона	аниона
Кальцит	$CaCO_3$	3–3,5	0,87	0,39
Доломит	$CaMg[CO_3]_2$	3,5–4,0	0,87–1,02	0,39
Сидерит	$FeCO_3$	3,5–4,5	1,06	0,39
Смитсонит	$ZnCO_3$	5,5	1,1	0,39

В первом приближении твердость можно рассчитать по формуле

$$Тв = K(ВЭК_а + ВЭК_к),$$

где коэффициент K для соединений сильно поляризованных (с металлическим блеском) равен 2, а для слабо (с неметаллическим блеском) — 3.

Механическая твердость определяет устойчивость минералов к истиранию. Следовательно, при прочих равных условиях соединения с большей энергией кристаллических решеток 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*. Следовательно, с увеличени-

і >К анионов и катионов растворимость образуемых ими соеди-
Ц(НИИ будет уменьшаться. Наиболее наглядно действие рассмат-
і.іі Hiic Moro правила выявлено автором при рассмотрении опреде-
п и in.ix групп минералов и даже образующих их элементов (табл.
і I) При этом следует отметить, что основное значение имеют ЭК
анионов, что по всей вероятности связано с гораздо большими раз-
и рами их радиусов. Так, среди 56 галоидов (см. табл. 3.3) толь-
I и и двух случаях (КРи $РЫ_2$) при рассмотрении ЭК анионов на-
|> подаются отклонения от этого правила. Если же добавить к га-
Юидам сульфиды и окислы (характерные для цветных металлов
и іМоментов группы железа), то к числу исключений добавятся еще
ma — PbS и ZnS. Растворимость указанных сульфидов меньше,
Чем оксидов этих же металлов.

Таким образом, в биосфере, характеризующейся обилием во-
H.I, наблюдается тенденция к относительному накоплению в рас-
ширенном состоянии (наиболее доступном для живых 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-и'леных к белым и бесцветным* (табл. 3.4). 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.

Химическая связь в кристаллических решетках. Как уже указывалось, использование ЭК для определения энергии решеток и контролируемых ею свойств минералов дает наилучшие результаты при ионном типе связи в кристаллах. От типа химической связи зависят и некоторые свойства минералов. Именно в этом аспекте и рассмотрим ее особенности.

• *Для минералов с ионной связью характерны небольшой удельный вес, хорошая растворимость в воде, сравнительно высокие температуры плавления, малая летучесть.* Растворы ионных соединений обладают высокой 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 фто-

Таблица 3.3

Растворимость ряда металлов и их соединений в холодной воде (г/100 г)

Анионы и их ЭКи		Катионы и их ЭКи													
		первой группы			второй группы				цветных металлов				группы железа		
		K	Na	Li	Ba	Sr	Ca	Mg	Pb	Cd	Cu^{2+}	Zn	Fe^{2+}	Co	Ni
		0,36	0,45	0,55	1,35	1,53	1,75	2,15	1,65	2,0	2,1	2,2	2,12	2,13	2,18
Галоиды															
I	0,18	128	179	162	167	178	209	120,8	0,07	78,7		432	р.	197	124^{20}
Br	0,22	53	94,6	155	98	87,9	142	101	0,84	75	107,5	426	108	119	131^{20}
Cl	0,25	34	35,7	83,2	31,2	52,7	74,5	54,6	0,67	90	77,4	367	62,6	52,3	59,5
F	0,37	96	4,28	0,27	0,16	0,01	0,002	0,007	0,06	4,35	ср	1,6	вср	р	2,5
Сульфиды															
S	1,15	р.	18,6	р	рг	вср	рг	рг	$8 \cdot 10^{-14}$	$8 \cdot 10^{-14}$	$1 \cdot 10^{-21}$	$3{,}4 \cdot 10^{-11}$	$5{,}3 \cdot 10^{-9}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-10}$
Оксиды															
O	1,55	рг	рг	6,67	1,5	рг	0,13	$6 \cdot 10^{-4}$	0,002	нр	нр	1610	нр	нр	нр
Металлы															
		рг	рг	рг	рг	рг	нр	нр	нр	нр	нр	нр	нр	нр	нр

Примечание. 131^{20} – растворимость при 20° С; р – растворим; вср – весьма слабо растворим; нр – не растворим; рг – реагирует; первая и вторая группы катионов в периодической системе Д.И. Менделеева

Таблица 3.4

Эволюция окрасок минералов в геохимических процессах (по А.Е.Ферсману и Б.А.Гаврусевичу)

Показатели	Рудные скопления (силикатные и сульфидные магмы)		Ультраосновные и основные породы (базальты, габбро и др.)		Граниты и их пегматиты	Процессы гипергенеза и осадочного накопления		Воды
Температура, °С	1500	1200	1500–1000		1000–400	50	10	0
Минералы	Самородные	Сульфиды	Силикаты		Полевые шпаты и кварц	Известняки и гипсы	Соли	Снег, лед
Примеры	Самородные, железо, минералы группы Pt	Пирротин	Оливин	Пироксены	Ортоклаз, кварц	Кальцит, гипс	Галит	Лед
Состав	Fe, элементы Pt-группы	Fe_nS_{n-1}	$(Fe,Mg)^2SiO_4$	$(Fe,Mg)SiO_3$	$K[AlSi_3O_8]$, SiO_2	$CaCO_3$, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	NaCl	H_2O
Цвет	Металлический, серый, черный	Металлический, желтый	Темно-зеленый	Черный, темно-зеленый, зеленый	Белый, серый, розоватый, желтоватый	Белый, бесцветный	Белый, бесцветный	Белый, бесцветный

риды, а также (в несколько меньшей мере) хлориды, бромиды и иодиды щелочных металлов. Они образуются при различных геохимических процессах и достаточно широко распространены в пределах биосферы.

• *Кристаллы с атомной (ковалентной) связью отличаются прочностью решеток, относительной твердостью, высокой температурой плавления и малой летучестью.* Для них довольно характерна поляризация, способствующая увеличению электропроводности и проявлению металлических свойств. При этом необходимо отметить, что последние увеличиваются по мере возрастания порядкового номера элементов, образующих кристаллическую решетку (от Mn к Ni, от S к Te, от As к Bi). Основная часть сульфидов и им по-

добных соединений образовалась гидротермальным путем при недостатке кислорода. В условиях доступа к ним свободного кислорода и воды (т.е. в условиях биосферы) они легко окисляются и разлагаются с образованием сульфатов и других кислородных соединений.

• *У большинства минералов с металлической связью в решетках высокая электро- и теплопроводность и относительно большая твердос*

К ним относятся довольно редкие в условиях биосферы природные самородные металлы (золото, серебро, медь, железо, минералы группы платины). По мере развития техники концентрация таких минералов (но только техногенного происхождения) в биосфере (точнее в ее отдельных частях) резко возрастает. Обычно это происходит вблизи промышленных центров.

• Особые свойства характерны для преобладающего количества (как по общей массе, так и по числу видов) минералов с промежуточным типом связи. В кристаллических решетках таких минералов одновременно наблюдается несколько типов связи. Их различные сочетания позволяют выделить несколько разновидностей решеток.

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 (H_20). К этой же группе минералов можно 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.

У редких в биосфере минералов с комбинацией металлической и вандер-ваальсовской связей обычно хорошая электропроводимость сочетается с совершенной спайностью, слоистостью и низкой твердостью. Это объясняется слабой вандер-ваальсовской связью между слоями. Представителем этой группы можно считать графит.

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.

Ионные радиусы. Часто этот кристаллохимический показатель Пишется, при прочих равных условиях, определяющим для ряда і войств минералов.

• С увеличением радиусов ионов повышается растворимость чи нений, составленных этими ионами, и при этом понижают- і ч их твердость, прочность, температуры плавления и кипения.

• При наличии в составе минералов крупных комплексных анноной наиболее устойчивыми являются соединения с катионами, имеющими большой ионный радиус. Среди крупных анионов .'Ьычно в биосфере преобладают $Si0_4^4$, $S0_4^2$, $P0_4^3$.

• 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. Оба эти процесса характерны для биосферы, а примером соединений может быть $[Ni(H_20)_e]S0_4$.

Явление поляризации в крсталлических решетках. Поляризация ионов, образующих минералы, часто осложняет расчет свойств соединений, которые (свойства) определяются в основном размерами ионных радиусов. Изучая суммарный эффект активной (а) поляризации и пассивной (о) поляризуемости, Ферсман вывел ряд шкономерностей. Рассмотрим важнейшие из них.

• *При поляризации уменьшаются межузловые расстояния в решетке.* Это приводит к явлениям, разобранным при уменьшении величины ионных радиусов.

• *Энергия решеток увеличивается* со всеми вытекающими из этого последствиями. К ним относится и такое важное, как уменьшение растворимости соединений.

• *Увеличивается электрическая проводимость минералов.*

• *В ряде соединений (например, соли Age Br и J) усиливается фотохимическая чувствительность.*

• *Поляризация также способствует переходу от ионных соединений к промежуточным, атомным, молекулярным и металлическим.*

• *Уменьшается прозрачность и увеличивается цветность минералов, усиливается металлический блеск.* Это может рассматриваться и как один из признаков проявления поляризации соединений.

Следует отметить, что явление поляризации сильнее сказывается на анионах и свободных молекулах.

3.2.5. Минералы в биосфере

Основная часть минералов, образовавшихся в глубинных ело-) ях Земли, попав в условия биосферы, начинает разрушаться, так как сочетания составляющих их элементов должны соответствовать изменившимся условиям. К ним следует в первую очередь отнести возросшую роль свободного кислорода и низкотемпературных водных растворов, а также появление совершенно нового и чрезвычайно сильного по своему воздействию геохимического фактора — деятельности живых организмов.

С точки зрения приспосабливания 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:

$$FeS_2 \rightarrow FeSO_4 \rightarrow Fe_2(SO_4)_3 \rightarrow Fe(OH)_3.$$

• *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:

$$2KAlSi_3O_8 + 3H_2O \rightarrow 2KOH + H_2Al_2Si_2O_8 \cdot H_2O + 4SiO_2.$$

• *Гидратация* — процесс присоединения воды к минералам. В биосфере может происходить самостоятельно:

$$2Fe_2O_3 + 3H_2O \rightarrow 2Fe_2O_3 \cdot H_2O,$$

а может сопровождать ранее рассмотренные реакции. Довольно часто гидратации способствуют процессы жизнедеятельности бактерий.

• *Карбонатизация* — процесс взаимодействия ионов $[C0_3]^2$~ и [НС0$_3$Г с минералами. Его конечным результатом является растворение вступающих в реакцию минералов с образованием из составляющих их минералов карбонатов. Карбонатизацию обычно наиболее труднорастворимых силикатов можно рассмотреть на примере анортита, когда в результате образуются каолинит и кальцит:

$$Ca_2Al_2Si_2O_8 + 2H_2O + CO_2 \rightarrow H_2Al_2Si_2O_8 \cdot H_2O + CaCO_3.$$

• *Восстановление* — процесс восстановления в условиях био-
•Оры относительно редок, так как идет при условии отсутствия
il юдного кислорода. Такие условия иногда возникают в донных
in иожениях (этому может способствовать техногенная деятельность)
и помненных горизонтах. Восстановление контролируется главным
ьр.пом наличием органического вещества и бактериальной де-
И1сл1»ностью:

$$2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O + C \rightarrow 4FeO + CO_2 + 3H_2O,$$
$$FeO + CO_2 \rightarrow FeCO_3.$$

• *Диализ* — это процесс разделения раствора на коллоидный и истинный. В лабораториях для этого используются специальные мгмбраны, непроницаемые для коллоидных частиц. В природных v новиях своеобразными мембранами являются поверхности самих глинистых частиц. При этом ионы металлов из коллоидов глинистых минералов могут отделяться в виде истинных растворов. Пиление 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 в газовые смеси.

3.3. Изоморфная форма нахождения химических элементов

3.3.1. Общие сведения

Изоморфные смеси в минералах представляют собой закономерные замещения аналогичных элементов (даже их «блоков») друг другом в кристаллических решетках. Явление установлено немецким химиком Э. Митчерлихом в 1819 г. Сейчас процесс изоморфного замещения подразделяют на *изовалентный* и *гетеровалентный*. При изовалентном в кристаллических решетках замещаются ионы равной валентности, при гетеровалентном — разной. В американской литературе явление замещения ионов одной валентности определяется также термином «диадохия». Возможность изоморфного замещения зависит от ряда причин или факторов. Для удобства рассмотрения их разделяют на *внешние* и *внутренние*.

3.3.2. Явление изоморфизма и антропогенные процессы

Широкое развитие изоморфных смесей в верхних оболочках земной коры не могло не сказаться на учете этой формы нахождения химических элементов в хозяйственной деятельности. Рассмотрим наиболее важные в настоящее время направления использования явления изоморфизма в различных отраслях хозяйства.

• 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 виде изоморфной смеси к Zr. Отметим, что мировые цены на Hf почти в 2000 раз выше, чем на Zr (ДАМинеев, 1987). В изоморфной примеси к цирконию могут находиться иттрий, тяжелые лантаноиды. Из титано-тантало-ниобатов переменного состава — $A_m[B_pX_q] \cdot nH_20$ (где А — крупные катионы Ca^{2+}, Na^{+}, TR^{3+}, U^{4+}, Th^{4+} и др.; В — более мелкие катионы Ti^{4+}, Nb^{5+}, Ta^{5+}, Fe^{3+} и др.; X - $O^{2'}$, F, OH^{-}) также добывается целый ряд редких элементов и в первую очередь тантал и ниобий. Список с подобными примерами может быть существенно расширен.

• Однако и в низкотемпературных минералах возможны изоморфные примеси многих извлекаемых элементов и даже таких широкораспространенных, как цинк. Примером может служить олигонит с промышленными концентрациями и запасами изоморфно входящего цинка, выявленный в последнее время в Центральном Казахстане.

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, обогатительным фабрикам, металлургическим комбинатам.

• При существующих в настоящее время методиках извлечения «попутных элементов» значительная (часто большая) часть этих элементов уходит в отвалы, вылетает с дымом из труб, удаляется с промышленными стоками. Будучи освобожденными из кристаллических решеток, изоморфные примеси начинают самостоятельную миграцию в биосфере, точнее в ноосфере. В связи с

і им в районах рудников, обогатительных фабрик, металлургических комбинатов почвы, воды, растения имеют повышенные концентрации многих элементов, не извлекаемых из руд. Известны I пучаи отравления этими элементами людей.

Следует отметить, что содержание элементов, изоморфно входящих в одни и те же минералы из разных месторождений (даже и > разных частей одного месторождения), может изменяться в очень широких пределах (в сотни раз). На это следует обращать особое нпимание при изменении поставщиков руд (концентратов) на комбинаты.

• 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. М.М. Эльгабали (1954) было установлено, что цинк, вносимый в почвы как микроудобрение, в условиях биосферы изоморфно входит, замещая магний, в глины. После этого он становится недоступным для растений, хотя его общее содержание в почвах довольно высокое. Таким образом, использование цинкосодержащих микроудобрений в местах распространения магниевых глин становится бессмысленным. Вероятно, аналогичные процессы развиты в биосфере довольно широко, но пока еще мало изучены.

• Явление изоморфизма следует учитывать при использовании удобрений, в связи с проблемами охраны окружающей среды. Основная часть минеральных удобрений изготовляется 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.

3.3.3. Факторы изоморфизма

Внутренние факторы. Они определяются свойствами самих элементов (ионов). Рассмотрим последовательно влияние этих факторов, отметив, что ни один из них не является достаточным, хотя практически все они обычно необходимы.

• Электростатический баланс соединения не должен меняться в результате изоморфных замещений. Выполнение этого положения при изовалентном изоморфизме обуславливается замеще-

нием ионов равной валентности, например Zn^{+2} — $CcГ^{2}$ (в сфалерите). При гетеровалентном изоморфизме сохранение баланса возможно следующими путями:

а) во-первых, идет замещение не одного, а нескольких элементов; во-вторых, число замещаемых ионов равно числу замещающих ионов, как равны и суммы валентностей замещаемых и замещающих ионов. Примером такого случая может быть изоморфное замещение в плагиоклазах: (Ca^{+2} и Al^{+3}) — (Si^{+4} и Na^{+});

б) число замещаемых ионов не равно числу замещающих ионов, хотя и сохраняется электростатический баланс решетки. Это возможно в двух случаях: когда в решетке имеется вакантное место или когда в ней в процессе изоморфного замещения образуется вакантное место. Однако число вакантных мест (они представляют собой «пустые места» в кристаллических решетках) не может быть большим, так как иначе произойдет поломка решеток. Именно это вносит количественные ограничения в изоморфизм, идущий рассматриваемым путем. Примером может служить изоморфное замещение кремния алюминием и натрием, занимающим вакантное место:

$$Si^{+4}-Al^{+3}+Na^{+}.$$

• Замещающий и замещаемый ионы должны иметь примерно равные радиусы. Для установления роли этого фактора разницу величин ионных радиусов обычно выражают в процентах к величине большего:

$$\Delta R = \frac{R_1 - R_2}{R_1} 100\% .$$

Первые данные, полученные В.М. Гольдшмидтом, показали, что такая разница обычно не превышает 15%. Позже было установлено, что изоморфизм, происходящий при высоких температурах, возможен в отдельных случаях и при разнице 40%. Однако большинство таких смесей при падении температур распадается с образованием в минерале-хозяине микровключений. Этот фактор, как и другие, не является достаточным; известны многие пары элементов, имеющие аналогичные ионные радиусы, но не образующие изоморфных смесей (Na, Cu-*Ri=0,098 нм; Sc, Zn-^Ri=0,083 нм и др.).

• Замещающий и замещаемый ионы обычно характеризуются близкими величинами ЭК и при этом очень часто у замещающего иона ЭК несколько больше. Такое явление, дающее «энер-

1 етическую выгодность» кристаллической решетке, А.Е. Ферсман назвал *полярным изоморфизмом*.

• Взаимозамещающиеся ионы должны обладать и подобными поляризационными свойствами. Как раз действием этого фактора объясняется невозможность изоморфизма ранее рассмотренных пар элементов (Na—Cu; Sc—Zn). Так как сама поляризация определяется суммарным влиянием целого ряда причин, рассмотрим влияние основных из них на процесс изоморфизма.

• Изоморфное замещение возможно между ионами с близкими величинами потенциалов ионизации. Поскольку такая близость определяется, по Л. Аренсу, индексом анионного сродства, то можно считать, что изоморфизм обычен для пар ионов с индексом меньше 1,2. Отметим, что для рассматриваемой пары Na—Си он равен 1,5.

• Обычно изоморфное замещение возможно между ионами с близкими величинами электроотрицательности, а преимуществом в построении кристаллической решетки обладает ион с меньшей величиной электроотрицательности.

• При изоморфном замещении не должен нарушаться тип химической связи между элементами в кристаллической решетке.

Внешние факторы. К настоящему времени изучено (хотя и относительно ограниченно) влияние на изоморфизм таких факторов, как температура, давление, концентрация веществ в среде протекания процесса.

Наиболее детально изучено влияние на изоморфизм температуры: с ее увеличением возрастает степень смесимости веществ. Многие ионы, не замещающие друг друга в решетках минералов при низких температурах, при высоких образуют изоморфные смеси. Так, в сильвине вулканического происхождения в виде изоморфной примеси встречается натрий, хотя в условиях гипергенеза изоморфное замещение Na^+ на K^+ не встречается. Такое положение позволило сказать А.И. Перельману: «Магматизм — основная область проявления изоморфизма в земной коре». К этому следует добавить, что большей изоморфной емкостью обладают породообразующие минералы основных пород, за ними — кислых. Большим числом редких элементов, изоморфно входящих в минералы при их повышенной концентрации, по данным ДА. Минеева, отличаются щелочные породы.

Влияние давления на процесс изоморфного замещения изучено гораздо меньше, чем влияние температуры. По В.С. Собо-

леву (1965), повышение давления способствует изоморфизму, происходящему с увеличением координационного числа.

3. Повышение концентрации в среде минералообразования элемента, изоморфно входящего в кристаллическую решетку, способствует изоморфизму. Процесс протекает более интенсивно, если в рассматриваемой среде будет понижена концентрация «главного», т.е. замещаемого, элемента. Хотя влияние геохимических особенностей среды на изоморфизм изучено пока не столь хорошо, как температуры, можно сделать вывод: *изоморфные примеси в минералах (особенно переменного состава) отражают особенности химизма среды минералообразования,* т.е. расплавов и растворов, из которых и в которых они образуются.

Исследования.автора и Н.Г. Пузанковой (1976) указали на возможность изоморфного замещения и в ранее образовавшихся минералах при изменении химизма среды, вмещающей эти минералы, т.е. на возможность *эпигенетического изоморфизма*. Таким образом, в ряде случаев изоморфная примесь указывает и на особенности среды, в которой находились минералы после их образования, в том числе и в пределах биосферы.

3.3.4. Изоморфные смеси в биосфере

Образование и особенности существования. Процесс изоморфизма, протекающий в биосфере, и изоморфные примеси, находящиеся в ее пределах, характеризуются особенностями, которые определяются внешними условиями среды. Рассмотрим эту связь несколько подробнее.

1. Температуры в пределах биосферы колеблются в относительно узком интервале и обычно не превышают 100° С. В этих условиях возможно образование изоморфных смесей как одновременно с формированием минерала-хозяина, так и в уже существующем минерале. В последнем случае процесс идет гораздо слабее и подвержен влиянию многих меняющихся в биосфере факторов. Лабораторные эксперименты В.А. Алексеенко и Н.Г. Пузанковой (1976) показали, что при прочих равных условиях только за счет повышения температуры от 20 до 70 и 100° С в ранее образовавшемся доломите, омываемом цинксодержащим раствором, концентрация цинка, изоморфно заместившего в минерале магний, возросла соответственно с 0,035 до 0,04 и 0,09% (рис. 3.1). Изучение доломитов в районах полиметаллических месторождений показало, что процессы, подобные экспериментальному, по-

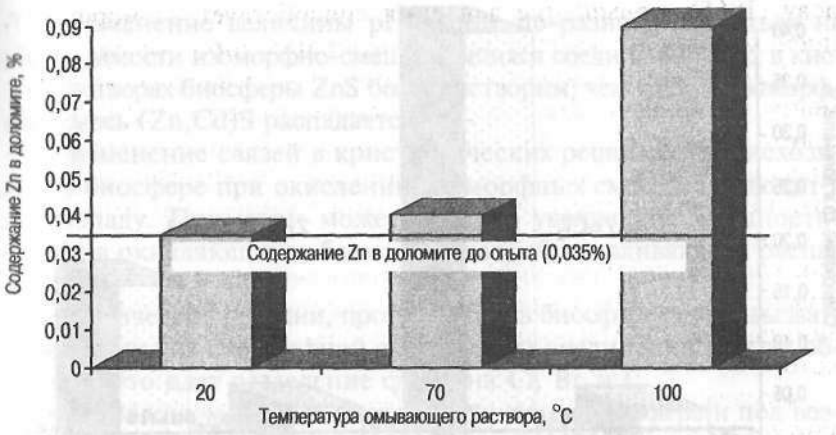


Рис. 3.1. Влияние температуры на изоморфное замещение магния цинком в доломите

лучили широкое развитие в биосфере, а даже незначительное увеличение температур ведет к их усилению.

2. Увеличение концентрации элемента в окружающей среде, происходящее на локальных участках в биосфере, также ведет к усилению изоморфизма. Так, повышение в описанном эксперименте концентрации цинка в омывающем доломит растворе с 0,01 до 1,0 г-ион/л увеличило концентрацию изоморфно вошедшего в минерал цинка более чем на порядок: с 0,035 до 0,4%. С изменением в омывающем растворе анионов с CI^- на $[CH_3COO]^-$ процесс не прекратился (рис. 3.2).

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 более глубинных слоях земной коры. Это особенно хорошо видно при рассмотрении рядов изоморфизма, составленных Вернадским (рис. 3.3).

4. Изоморфные смеси, образовавшиеся в условиях высоких температур и давлений, попав в условия биосферы, начинают распадаться. А.Е. Ферсман назвал это явление «автолизией». Однако причин распада изоморфных смесей в биосфере гораздо больше, чем перечисленные изменения температур и давлений. К числу основных из них относятся следующие:

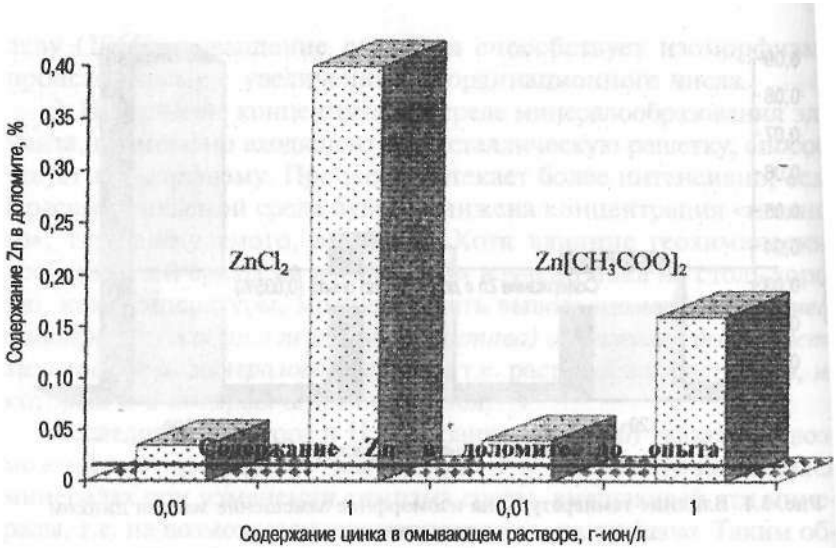


Рис. 3.2. Влияние концентрации цинка в окружающей среде на его изоморфное замещение магния в доломите

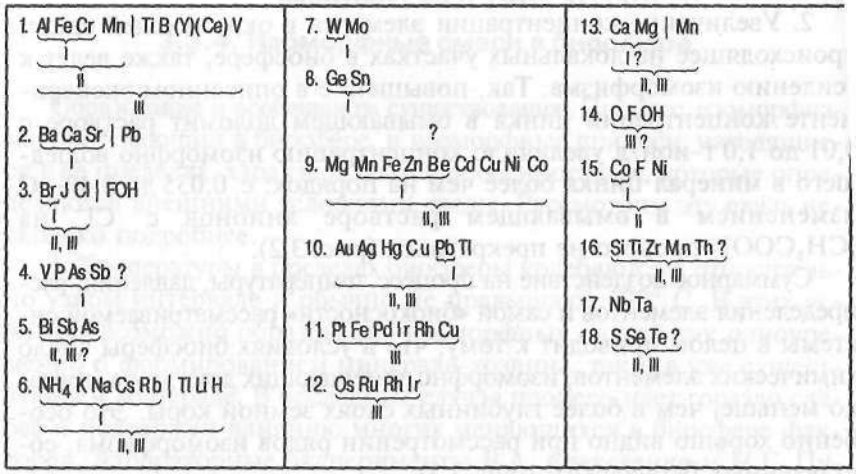


Рис. 3.3. Ряды изоморфизма элементов В.И.Вернадского:
I — кора выветривания; II — область метаморфизма (высокие температуры и средние давления); III — область магматическая (высокие температуры и давления)

• изменение валентности у части элементов, входящих в смесь, при окислении. Так, в оливине $(Mg, Fe)_2[Si0_4]$ 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 ZnS 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. Примером может служить увеличение «ионности» связей в окисляющихся блеклых рудах, обуславливающее распад смеси;

• 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.

3.4. Водные растворы

3.4.1. Общие сведения

Распространенность. Водные растворы составляют отдельную оболочку Земли — *гидросферу.* Ее большая часть Приходится на долю мирового океана, меньшая — на поверхностные и подземные воды континентов. В сумме на долю морей и океанов приходится около 71% земной поверхности. По данным Гольдшмидта, на 1 $см^2$ 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, не имеющих аналогов в природе. 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.

Структура. Все основные свойства воды обусловлены ее структурой, которая окончательно не выяснена, несмотря на существование десятков гипотез. По наиболее принятым из них молеку-

лу 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 изменяется. 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.

Тяжелая вода. Часть молекул воды состоит не из легкого изотопа водорода (протия), а из тяжелого (дейтерия). Такая вода получила название *тяжелой*. Считается, что тяжелая вода является ядом для организмов. Она отличается и по целому ряду свойств: кипит при 101,42° С, замерзает при 3,8° С, хуже обычной воды испаряется, скорость химических реакций и растворимость солей в ней меньше. Больше всего тяжелой воды в соленых озерах (это объясняется процессами испарения), меньше — в атмосферных осадках полярных стран. В водах океана отношение дейтерия к протию - 0,000158.

3.4.2. Вода и антропогенные процессы

Без воды невозможной была бы жизнь организмов, существующих сейчас на Земле. При этом для большинства из них, в том числе и людей, нужна не любая вода, а пресная, т.е. такая, в одном литре которой содержание сухого остатка меньше 1 г. Такой воды содержится на Земле всего около 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 часто доходит до 200 г/л.

Пресную воду люди используют не только для питья, но и в самых разнообразных техногенных процессах. Считается, что ее общее годовое потребление составляет около 3500 км^3 и таким об-

ом на одного человека приходится порядка 800 м^3 воды. Рас-
. NX прим, на что она расходуется.

Около 70% воды, используемой человеком, приходится на долю сельского хозяйства. По данным С.А. Брылова с соавторами (1985), при выращивании растительной массы в 1 кг лишь на транспи рацию уходит, в зависимости от вида растений и внешних усцовий, от 150 до 1000 м^3 воды. У нас в стране основные объемы йоды в сельском хозяйстве расходуются на орошение по следующим нормам, м^3/га: зерновые — от 1500 до 3500; многолетние травы - от 2000 до 8000; хлопок - от 5000 до 8000; рис - от 8000 до 15 000. К сожалению, в подавляющем большинстве случаев орошение проводится без учета ландшафтно-геохимических особенностей орошаемых участков, что часто приводит к засолению земель и накоплению в них тяжелых металлов (см. гл. 8). Значительное количество воды требуется также для разведения рыб и водоплавающих птиц, а также для водоснабжения.

Более 20% воды используется промышленностью. По данным разных исследователей расход воды на 1 т готовой продукции составляет, м^3: 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 для охлаждения атомных реакторов. Для одной атомной электростанции мощностью в 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. В бальнеологической практике и рекреационных целях используются минерализованные воды.

Обеспеченность пресными водами различных регионов крайне неравномерна, и по данным Всемирной организации здравоохранения еще в 80-е годы нашего 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.

Несмотря на ограниченность запасов пресных вод, человечество практически еще не начало эксплуатировать их основную часть — полярные Льды и снега, айсберги. Используются в основном воды рек, озер и водохранилищ, а они составляют всего около 3%

объема пресных вод. Даже подземные воды у нас в стране практически не используются. За счет их ресурсов орошается всего около 2% всех поливных земель, в то время как в США — 20%, а в Индии — 66%.

Интенсивнейшее 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.

В целом рост использования пресной воды на планете за год составляет 0,5—2% и ожидается, что к 2000 году общий водозабор составит от 12 до 24 тыс. км^3. Техногенное воздействие на природные воды не ограничивается водозабором. Чрезвычайно большим стало их загрязнение определенными химическими элементами и их различными соединениями. Оно происходит в основном за счет поступления в различные водные бассейны загрязненных вод, которые разделяются на производственные, бытовые и атмосферные.

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; Zn - от 0,1 до 15; Ni - от 0,01 до 3,6; Cu - от 0,15до 32; Pb — от 0,01 до 5. В число особо токсичных веществ производственных вод входят цианиды (0,05—10 мг/л), фенолы (до 45 мг/л), Cr^{6+} (0,15—3,5 мг/л). Среди нерастворимых соединений наиболее распространены SiO_2, Fe_2O_3, Al_2O_3. В последние десятилетия 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 (природных) 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 (см. гл. 6,7).

Своеобразное химическое загрязнение вод вызывается экстрагируемыми из древесины веществами при сплаве леса. При суммарной концентрации этих веществ 9 г/л в течение суток происходит отравление рыб (Л.П.Астанин, К.Н.Благосклонов, 1984).

3.4.3. Разложение и образование воды в биосфере

Для одних и тех же атомов водорода и кислорода вода не является постоянной формой нахождения. Растения в процессе фотосинтеза разлагают воду, выделяя кислород в биосферу. 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:

$$2Ca[Al_2Si_2O_8] + 6H_2O = Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8 + 2Ca^{2+} + 4OH^-.$$

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:

$$Me_2SiO_4 + 4H_2O \rightarrow H_4SiO_4 + 2Me[OH]_2;$$
$$(Me)CO_3 + 2H_2O \rightarrow (Me)[OH]_2 + H_2O + CO_2;$$
$$2MeS_2 + 7O_2 + 2H_2O \rightarrow 2(Me)SO_4 + 2H_2SO_4;$$
$$4MeSO_4 + O_2 + 10H_2O \rightarrow 4(Me)(OH)_3 + 4H_2SO_4;$$
$$2MeSO_4 + O_2 + 2H_2O \rightarrow 2(Me)(OH)_2 + 2H_2SO_4.$$

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

$$(Me)S + CO_2 + H_2O + 2O_2 \rightarrow 2(Me)CO_3 + H_2SO_4;$$
$$(Me)_2SiO_4 + 4CO_2 + 4H_2O \rightarrow 2\,(Me)^{2+} + 4HCO_3^- + H_4SiO_4;$$
$$(Me)CO_3 + H_2O + CO_2 \rightarrow Me^{2+} + 2HCO_3^-;$$
$$4(Me)^{2+} + 8HCO_3^- + O_2 + 4H_2O \rightarrow 2\,(Me)_2O_3 + 8H_2CO_3.$$

Этот процесс идет в биосфере и при образовании (за счет выветривающихся минералов магматических пород) карбонатов, гидрослюд, глин. По данным А.И. Перельмана (1989), 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 $3 \cdot 10^{15}$ т) захоронена в литосфере неокислившись, а это существенно нарушает теоретический баланс вод. Для наглядности такую массу органики Э. Дегенс предлагает представить в виде сплошного слоя мощностью 20 м на поверхности Земли.

Некоторое количество воды выделяется и при определенных восстановительных реакциях, но в условиях биосферы для многих из них опять же необходимо органическое вещество:

$$2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O + C \rightarrow 4FeO + CO_2 + 3H_2O.$$

Таким образом, получается, что в пределах биосферы, существование которой невозможно без воды, преобладают процессы ее разложения. Может возникнуть вопрос: не приведет ли это к уменьшению количества воды в биосфере, а затем и к гибели живых организмов? Вода постоянно поступает из глубинных частей Земли. Содержание H_20 в магме — около 4%, а в изверженных породах, составляющих земную кору,— около 1%. Таким образом, только при кристаллизации магмы 3% ее массы выделяются в виде воды, поступающей в конечном счете в биосферу. Если исходить из мощности земной коры 40 км, то рассматриваемый процесс вполне объясняет образование современного количества воды в биосфере. Поступление же магматической воды с парами горячих источников, вулканов и фумарол продолжается. Значительное количество воды поступает в биосферу и из зоны метаморфизма за счет H_20 и $OH"$, связанных минералами.

3.4.4. Состояние воды в биосфере и состав природных растворов

По особенностям фазового состояния воды в биосфере, а точнее — в одной из ее частей — гидросфере, можно выделить зоны водяного пара, твердых (лед) и жидких структурированных вод. К числу важнейших особенностей всех этих зон следует отнести довольно тесную взаимосвязь между ними и круговорот вод, приводящий к столь необходимому для всех живых организмов обновлению природных растворов.

Таблица 3.5

Объем отдельных звеньев гидросферы и время их возобновления (по данным М.И. Львовича, Ф.А Макаренко, А.П. Виноградова)

Отдельные звенья, оболочки	Объем воды, $см^3$	Полное возобновление, годы	Отдельные звенья, оболочки	Объем воды, $см^3$	Полное возобновление, годы
Атмосферная вода	$1,4 \cdot 10^{19}$	0,028	Почвенная влага	$7,5 \cdot 10^{19}$	0,9
Вода рек	$1,2 \cdot 10^{18}$	0,033	Свободные и связанные подземные воды	$4,8 \cdot 10^{23}$	$10–10^7$
Вода озер	$7,5 \cdot 10^{20}$	0,1–10	Мировой океан	$1,37 \cdot 10^{24}$	2600
Ледники	$2,4 \cdot 10^{22}$	$10^4–10^5$	Вся гидросфера в целом	$1,85 \cdot 10^{24}$	–

Как видно из табл. 3.5, такое обновление происходит довольно быстро, особенно в сравнении с большинством геологических процессов.

Зона жидких структурированных вод. Эта зона 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 (табл. 3.5). Наиболее распространенными в водных растворах являются ионы. Это обусловлено тем, что распад на ионы происходит при растворении минералов не только с ионной, но и другими видами связи в кристаллических решетках. Так как живые организмы (особенно растения) наибольшее количество элементов получают в форме водных растворов, то, по мнению автора, 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. Согласно теории А. Вернера, центральный

атом такого соединения (обычно катион, называемый *комплекса' образователем)* окружен ионами противоположного заряда или нейтральными молекулами (лиганды или адденды), образующими внутреннюю координационную сферу. Часть лигандов, не попавшая во внутреннюю сферу, образует внешнюю сферу. Сумма аддендов называется *координационным числом*. Для комплексных соединений в водных растворах обычно характерна первичная диссоциация, при которой лиганды внешней сферы отделяются от комплекса:

$$Ag(NH_3)_2Cl \rightarrow [Ag(NH_3)_2]^+ + Cl^-.$$

С изменением внешних условий (особенно на различных геохимических барьерах) может произойти вторичная диссоциация, при которой от комплексообразователя начинают отделяться адденды внутренней сферы:

$$[Ag(NH_3)_2]^+ \rightarrow Ag + 2NH_3.$$

Однако в действительности процесс идет значительно сложнее и является ступенчатым. Так, в водном растворе KJPtClJ в результате диссоциации отмечается присутствие кроме хлорной платины еще целого ряда комплексов:

$$[PtCl_4]^{-2} + H_2O \rightarrow [PtCl_3H_2O]^- + Cl^-;$$
$$[PtCl_3H_2O]^- + H_2O \rightarrow [PtCl_2(H_2O)_2] + Cl^-;$$
$$[PtCl_2(H_2O)_2] + H_2O \rightarrow [Pt(H_2O)_3Cl]^+ + Cl^-;$$
$$[Pt(H_2O)_3Cl]^+ + H_2O \rightarrow [Pt(H_2O)_4]^{2+} + Cl^-.$$

Правда, при этом диссоциация на каждой последующей ступени все более затрудняется. Таким образом, наличие в природных водах комплексных соединений увеличивает в этих растворах общее число ионов, в первую очередь за счет аддендов внешней сферы.

К наиболее распространенным аддендам в водах биосферы относятся so/-, нею,-, $co_3{}^{2}$~, сг, H_2PO_2-, $HPO_4{}^{2}$-, HSO_4-, HS-, s^2-, OH^-, $Cr0_4{}^{2-}$, $Mo0_4{}^{r+}$, $W0_4{}^{2-}$. Необходимо отметить, что большинство перечисленных анионов образует комплексные соединения не со всеми металлами и только при определенных термодинамических условиях. К числу устойчивых в холодных природных водах относятся хлоридные комплексы Au^+, Au^{3+}, Pd^{2+}, Hg^{2+}.

Особое значение в природных водах биосферы имеют *комплексы металлов с органическими аддендами*. При этом следует отметить особую способность к комплексообразованию почвенных гумино-

мын кислот и фульвокислот, а также аминокислот, образующих-11 при распаде белков. В природных водах (от слабокислых до слабощелочных) довольно долго сохраняются, не диссоциируя, ме- • лшюорганические комплексы, образуемые почвенными кислотами с солями Fe, Al, Ti, U, V, Си, Mo.

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 фотосин-Геза водных растений. Расходуется кислород при дыхании живых организмов, а также при окислении различных веществ, главным образом органического детрита. По данным Ветенберга (Wattenbeig, 1938), в верхнем слое океанической воды содержание растворенного кислорода колеблется от 7,6 до 4,3 $см^3$/л, а в нижнем — от 6,6 до 4,9 $см^3$/л. Относительное насыщение вод кислородом — от 10 до 90%. Во всех океанах есть еще и промежуточный слой с минимальным содержанием этого газа 5,2 — 0,7 $см^3$/л, что в настоящее время объясняется, главным образом, биохимическими процессами. Мощность и глубина слоя меняются в зависимости от географического положения. Содержание в воде азота, Ar, He, Ne всегда близко к насыщению и не зависит от глубины. Средняя общая концентрация $С0_2$ в морской воде — 2,3 ммоля/л.

Распределение молекул газов в воде озер и водохранилищ зависит от ее вертикальной устойчивости. Обычно периодами циркуляции являются весна и осень. Летом часто возникает поверхность разрыва, выше которой вода перемешивается и обогащается 0_2, а ниже — расслоена и не перемешивается. В результате в придонных слоях воды молекулы 0_2 могут практически отсутствовать, но возможно появление H_2S, H_2, CH_4. Такая обстановка способствует появлению в донных отложениях сульфатов, сульфидов и свободной серы. При отсутствии техногенного загрязнения, даже в крупных равнинных реках на большой 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.

Кроме газов в водных растворах в виде молекул встречается ряд солей. Довольно часто они находятся в гидратированном состоянии. По ряду особенностей среди природных вод особо выделя-

ются почвенные, активно участвующие в процессе почвообразования и представляющие собой совокупность истинных и коллоидных растворов. Основные анионы в них — [НСО3]~, [NOJ~ и [$N0_3$]~. Поступление этих анионов в почвенные растворы является преимущественно результатом биологических процессов. Поступление другой части ионов ([Clp, [SOJ^{-2}, [$P0_4$]"^{3}) связано, как правило, с растворением минералов. Среди катионов преобладают Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+, NH/, H^+. Реже в повышенных концентрациях встречаются Fe^{3+}, Fe^{2+}, Al^{3+}, а при засолении почв увеличивается содержание Na^+, Mg^{2+}, *Sf*$^+$ и B^{3+} (В.В.Добровольский, 1989). Состав почв во многом определяется кислотностью растворов: в кислых (pH< 6,5) редки хлориды, сульфаты, карбонаты; для нейтральных (pH = 6,5—7,0) характерны карбонаты; для щелочных (pH > 7,0) — карбонаты, сульфаты и хлориды.

Следует помнить еще одно положение: хотя элементы минерального питания поступают в растения в основном из почвенных растворов, *в последних находится менее 0,2% питательных веществ почвы*. Около 98% биоэлементов (элементов, наиболее необходимых организмам в высоких концентрациях) содержат органические остатки, гумус, различные минералы. Их можно рассматривать как своеобразный, постепенно (скорее даже медленно) используемый резерв. Иногда из-за специфических ландшафтно-геохимических условий он продолжительное время может быть почти неиспользованным организмами.

В горных породах и почвах биосферы вода находится в свободном (в полостях, начиная с нескольких микрон) и связанном виде. К связанной воде относятся гигроскопическая, пленочная, поровая воды. Поровые воды отличаются повышенной кислотностью, уменьшением диэлектрической постоянной, резким увеличением температуры замерзания (от —70 до —200° С). Концентрация растворенных в них солей может колебаться в широких пределах. Роль поровых вод в общем балансе подземных вод довольно велика. По данным Перельмана (1989), количество поровых вод только в глинах можно представить в виде «слоя» на суше мощностью в 6 м. Однако они относительно малоподвижны, хотя при природных процессах, связанных с существенным повышением давления и температуры, «могут отжиматься» от пород.

Среди водных растворов горных пород несколько обособленно располагаются растворы включений в минералах. Часть из них представляет собой законсервированные микропорции рас-

тиоров, из которых формировались сами минералы, а другая часть — растворов, которые проникали в уже сформировавшиеся минералы. Наиболее распространенными ионами этих растворов являются HCCV, СГ, SO_4^{2-}, F^-, Na^+, K^+, Li^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}. И этих же растворах находятся молекулы газов, среди которых преобладают $CO_г$, CO, N_2, H_2, H_2S, а также встречаются углеводородные и инертные газы.

Зона твердых вод (лед). Существование зоны развития многолетней мерзлоты (а она занимает больше половины территории нашей страны) в основном обусловлено величиной инсоляции и геологической историей региона. В ее пределах могут существовать (даже при отрицательных температурах) минерализованные растворы жидких структурированных вод, аналогичные рассмотренным выше, и водяные пары. На значительной части суши зона льда мощностью до первых метров развита только зимой. Скорость химических реакций во льду (за исключением некоторых биохимических) резко замедлена по сравнению с жидкими водами. В связи с этим поступление химических элементов (в том числе тяжелых металлов) из горных пород через толщу льда в почвы, где эти элементы становятся наиболее доступными живым организмам, идет в значительной мере через поровые воды капилляров. Результатом такой миграции является накопление большинства элементов в горизонте В,. Гумусовый горизонт (А) и основание сезонно-талого слоя (горизонта $В_г$) обычно обеднены легкоподвижными соединениями.

Зона водяного пара. Рассматриваемая зона охватывает атмосферу и почвы; содержатся пары воды и в 70—80% горных пород, составляющих литосферу. Среди атмосферной воды (а там ее содержится 0,02—0,4%) несколько условно можно выделить воду облаков, туманов, а также дождевую и росу. О составе воды облаков можно судить по составу дождевой воды (правда, в ней находятся еще и вещества, вымытые из атмосферных газов во время полета капелек). По данным Я. Мияки, даже при небольшом влиянии промышленных предприятий на сравнительно небольшом участке ионный состав дождевых вод может колебаться в очень широких пределах: Na^+ — от 0,26 до 3,84 мг/л; K^+ — от 0,05 до 4,89; Mg^{2+} - от 0,02 до 0,93; Ca^{2+} - от 0,05 до 1,84; СГ - от 0,43 до 9,92; SO_4^{2-} - от 0,24 до 20,46 мг/л.

Кроме ионов в воде облаков содержатся молекулы газов, а также кристаллики ряда солей, в числе которых относительно слабо растворимые негигроскопические сульфат и карбонат кальция. Ча-

стицы гигроскопических солей вызывают абсорбцию водяных паров, которые, превращаясь в капельки дождя, падают на землю. При этом идет дополнительное вымывание частиц гигроскопических солей. Рассматриваемый процесс приводит к накоплению в атмосфере Са и SO_4^{z}~.

Следует отметить, что большинство солей (ионов и обломков кристаллов) в дождевой воде являются вымытыми из атмосферы, а не мигрирующими из облаков. Об этом можно судить по уменьшению концентрации солей к концу дождя.

Влага туманов (конечно, исключая антропогенные, городские) по составу мало отличается от воды облаков, но концентрация солей в воде туманов выше даже, чем в дождевой (Я. Мияки, 1969). Сами же частицы тумана представляют отдельные капельки воды диаметром от 10 до 30 мк. При соприкосновении с твердой поверхностью они легко переходят в росу и иней.

Техногенные процессы приводят к загрязнению паров воды в атмосфере. В первую очередь следует отметить увеличение концентрации кислот, аммиака, нитрита. Обычно, при прочих равных условиях, содержание аммиака и азотной кислоты возрастает летом с повышением температуры и влажности. Рядом исследователей в дождевой воде обнаружены перекись водорода, HBO_2, фтор , формальдегид, радон.

Дождевая вода (особенно грозовых дождей) отличается повышенной радиоактивностью, которая еще выше у снега. Судя по данным, полученным еще в начале этого века, т.е. до начала ядерных взрывов (Wilson, 1903; Janfmann, 1905; Contanzo, Negro, 1906), это связано не с техногенным загрязнением, а с особым механизмом захвата радиоактивных частиц дождевыми каплями и облаками. Радиоактивность дождевой воды обычно отвечает периоду полураспада около 30 мин. Для живых организмов такая радиоактивность считается безвредной.

3.5. Газовые смеси

3.5.1. Общие сведения

Распространенность. Газовые смеси целиком составляют верхнюю оболочку Земли — *атмосферу;* значительное количество газов заполняет пустоты и полости в почвах, в осадочных и магматических породах. Кроме того, газы находятся в литосфере в сор-

Оированном состоянии и в многочисленных включениях в минерилах. Для живых организмов наиболее важны атмосферные и почвенные газы. Общая их масса составляет свыше 5 • 10^{15} т, а порядка 80—90% сосредоточено в тропосфере — нижнем слое атмосферы (до высот 5—17 км).

Некоторые свойства природных газов атмосферы. При низких давлениях, в условиях разрежения и повышенных температур поколение газов подчиняется законам «идеальных газов». Молекулы этих газов настолько разъединены, что их можно рассматриать в качестве самостоятельных точек, которые ведут себя как упругие тела в соответствии с законами механики и находятся в постоянном хаотическом движении. С изменением условий (повышение давления, понижение температуры) становится необходимым учитывать объем молекул и силы взаимодействия между ними. Молекулярный вес сухого атмосферного воздуха — 28,966; плотность — 1,2255 кг/м^3, коэффициент теплового расширения (при постоянном давлении 760 мм рт. ст.) ~- 3671,6-10~^{6}. Данные изменения давления, температуры и плотности природных газовых смесей в зависимости от высоты (расстояния от земной поверхности) приведены в табл. 3.6.

Таблица 3.6

Давление, плотность и температура газов атмосферы (по данным Я. Мияки)

Высота, км	Давление, мм рт. ст	Плотность, кг/м^3	Температура, °С	Высота, км	Давление, мм рт. ст.	Плотность, кг/м^3	Температура, °С
0	760	1,2255	+15	5	405,1	0,7363	−17,5
1	674,1	1,112	+8,5	10	198,2	0,4127	−50
3	525,8	0,9094	-4,5	15	90,6	0,1931	−55

Образование газов в биосфере. А.И. Перельман (1989) объединил современные процессы образования газов (а как уже указывалось, более 80% их входит в состав биосферы) в три основные группы: физико-химические, биогенные и техногенные. В процессе образования газовой оболочки Земли несомненно главенствующая роль принадлежит физико-химическим процессам. Они не только господствуют в глубоких частях земной коры, но и широко распространены в биосфере. К ним относятся и радиоактивный распад (образование Ar, He, Rh), и радиолиз воды (H, O), и ядерные реакции в атмосфере (^{14}C, ^{3}H), и разрушение минералов при выветривании (газы включений), и различные окислительно-восстановительные реакции ($C0_2$, H_2S), и т.д.

Однако современный состав атмосферы невозможно представить без биогенных процессов. С ними связано поступление в атмосферу почти всего кислорода, а также значительных количеств $C0_2$, N_2, H_2S, CH_4 и многих других газов. В последнее столетие все возрастающее влияние на химический состав атмосферы оказывают и самые различные техногенные процессы. В результате этих процессов в атмосферу поступает значительное количество $C0_2$, NO, CO, $S0_2$, углеводородов, ацетальдегидов и т.д.

3.5.2. Газы и антропогенные процессы

В последние десятилетия влияние антропогенных процессов на изменение состава газов атмосферы стало не только сопоставимым с природными процессами, но по ряду параметров уже превосходит их. Можно выделить два направления в воздействии антропогенных факторов на атмосферу: первое — извлечение определенных газов и второе — поступление в атмосферу различных веществ.

Атмосферный воздух является основным источником получения в свободном состоянии 0_2, N_2, Ne, Ar, Kr, Xe. Благодаря довольно быстрому перемешиванию воздуха и обычно комплексному его использованию, этот процесс при изучении загрязнения атмосферы часто не отмечается вообще. Однако в условиях полупустынных ландшафтов и при преимущественном извлечении кислорода (это чаще всего бывает на металлургических комбинатах) рассматриваемая техногенная деятельность оказывает существенное влияние на уменьшение содержания этого газа в составе атмосферы.

Основные техногенные источники загрязнения атмосферы могут быть объединены в три группы.

К *первой группе* загрязнителей относятся те, которые образуют загрязняющие вещества в результате сжигания топлива,— авиация, автомобильный, морской (речной) и частично железнодорожный транспорт. Считается, что в настоящее время при сжигании топлива наибольшее загрязнение атмосферы связано с автомобильным транспортом. По данным С.В. Белова и др. (1983), в странах СНГ относительная доля автотранспорта в техногенном загрязнении атмосферы составляет 13,3%, а в США — 50%. Токсичные компоненты в составе выхлопных газов бензиновых двигателей составляют около 18% их объема, а в дизельных — около 1%. К числу основных загрязняющих веществ, находящихся в выхлопных га-

их, относятся CO, NO_x, C_nH_m, Pb, альдегиды (вещества, содержанию группу ССц , обычно обладают резким запахом), бенз(а)пирсн (канцерогенный углеводород с бензольными ядрами), сажа, I часто и SO, Br, P, Cl.

Основными загрязняющими веществами, поступающими в шмосферу при сжигании топлива, в целом можно считать следующие: углекислый газ ($C0_2$); оксид углерода (CO); несгоревшие углеводороды или окисленные вещества (альдегиды и кислоты); i ернистый ($S0_2$) и серный ($S0_3$) ангидрид, переходящий в присутствии воды или ее паров в кислоту (H_2S0_4); оксиды азота (N0 и $N0_2$); сажи, представляющие собой несгоревшие частицы топлива; дымы (аэродисперсные системы); пыль.

К *второй группе* загрязнителей относятся промышленные предприятия. Все промышленные выбросы в атмосферу можно разделить на следующие виды: разнообразную пыль (химические элементы в минеральной форме); дымы (дисперсная форма); запачи; газообразные соединения и отдельные химические элементы; компоненты с фотохимическим эффектом.

В составе пыли чаще всего преобладают $Si0_2$, Al_2O_3, CaO, C, K_20, Na_20, PbO, ZnO, $Se0_2$, As_20_3, MgO, Fe_20_3. Дымы, а точнее аэросуспензии, чаще всего представлены отрицательно заряженными частицами CaO, ZnO, MgO, Fe_2O_s и положительно заряженными $Si0_2$, P_20_5, C.

Газообразная составляющая выбросов в большинстве случаев содержит $C0_2$, CO, $S0_2$, $S0_3$, NO, $N0_2$, NH_3, реже встречаются повышенные концентрации CI, HF. Неприятные запахи, характерные для предприятий нефтяной промышленности, часто обусловлены присутствием в газах меркаптанов (тиоспиртов): **CH_3-S-H** (метилмеркаптан), C_2H_5-S-H (этилмеркаптан). Могут быть запахи, связанные с фенолом (C_6H_5OH), акролеином CH_2-=C-Ct2 и рядом других органических соединений.

Третья группа источников загрязнения связана с процессами утилизации бытовых и промышленных отходов. В эту группу входят зоны захоронения отходов и различные мусоросжигающие установки. От последних в атмосферу поступает наибольшее в этой группе количество загрязняющих веществ. Вещества, поступающие в атмосферу при использовании установок, представлены в основном альдегидами, углеводородами, органическими кислотами, CO, NO, $N0_2$, $S0_2$, $S0_3$, NH_3, пылью.

Как правило, в загрязнении воздуха участвуют различные сочетания источников из этих групп. Их загрязняющее воздействие, при прочих равных условиях, во многом зависит от ландшафтно-геохимических особенностей регионов.

3.5.3. Газы в биосфере и состав природных газовых смесей

Газы атмосферы. На их долю приходится подавляющая масса газовых смесей биосферы. Об их составе, устойчивости и основных реакциях, определяющих неустойчивость, можно судить по данным табл. 3.7.

Таблица 3.7

Постоянные компоненты атмосферного воздуха (по данным Г.В. Войткевича)

Элемент, компонент	Содержание, %	Устойчивость	Химические реакции, определяющие неустойчивость
N_2	78,084	Устойчив	–
O_2	20,946	Неустойчив	Медленно реагирует с FeO и соединениями углерода
Ar	0,934	Устойчив	–
CO_2	0,033	Неустойчив	Медленно реагирует с силикатами
Ne	$18,18 \cdot 10^{-6}$	Устойчив	–
He	$5,24 \cdot 10^{-6}$	«	–
CH_4	$2 \cdot 10^{-6}$	Неустойчив	$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$
Kr	$1,14 \cdot 10^{-6}$	Устойчив	–
H_2	$0,5 \cdot 10^{-6}$	Неустойчив	$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$
N_2O	$0,5 \cdot 10^{-6}$	«	$2N_2O \rightarrow 2N_2 + O_2$
Xe	$0,087 \cdot 10^{-6}$	Устойчив	–
He	$6,55 \cdot 10^{-12}$	«	–

Кроме перечисленных компонентов в состав тропосферы входят: 0,021—4% находящихся также в виде молекул уже рассмотренных паров воды, до $n \cdot 10^{-4}\%$ — SO_2, $n \cdot 10^{-6}$ — NO_2, а также обнаруженые молекулы I_2, NH_3, CO.

Особо следует отметить присутствие в атмосфере озона (O_3). Занимаемый им объем составляет всего $(2—5) \cdot 10^{-5}\%$. Распределен он неравномерно: у поверхности Земли его содержание обычно не превышает $10^{-6}\%$, а наибольшая концентрация наблюдается на расстоянии 20—25 км. Мощность озонового слоя при обыч-

....к условиях составляет 1,7—4 мм. Несмотря на столь незначительное содержание, роль атмосферного озона в развитии живых организмов чрезвычайно велика. Для него характерна сильная абсорбция света с длиной волн 2000—3000 А, т.е. губительных для организмов (разрушающих их клетки) ультрафиолетовых лучей. Задерживая коротковолновую радиацию солнца, озоновый слой делает возможным существование биосферы.

В результате рассматриваемого процесса увеличивается теплопая энергия газовых молекул и повышается температура в верхней части атмосферы.

Большинство исследователей считает, что образование озона связано с фотохимическими реакциями, его масса в течение различных времен года примерно одинакова, а относительная неравномерность распределения объясняется перемещениями как в пределах полушарий, так и в меридианальном направлении.

Газы почв. Важной составной частью почв являются газы. Их состав существенно отличается от состава газов атмосферы, а занимаемый ими объем определяется степенью увлажнения Почв. Общий объем пор и пустот в почвах колеблется от 25 до 60%, заполняются они газом и почвенными растворами. Основными компонентами почвенных газов являются азот (78—80%), кислород (0,1-20%) и углекислый газ (0,1-15%).

По сравнению с атмосферным воздухом в почвенном резко (в среднем в 10 раз) повышено содержание $C0_2$. Он выделяется корневыми системами высших растений и аэробными организациями, которые энергично поглощают почвенный кислород. Таким образом, увеличение содержания $C0_2$ контролируется интенсивностью биологических процессов, протекающих в почве. Это в свою очередь определяет неравномерность и непостоянство содержания диоксида углерода и кислорода: максимум $C0_2$ отмечается в теплое время года и в более глубоких горизонтах, у которых затруднен обмен с атмосферой. На содержание $C0_2$ (а соответственно и на процентное содержание $O_г$ и N_2) оказывают влияние ландшафтно-геохимические особенности. Его высокое содержание характерно для лесостепных ландшафтов.

Если затруднен газообмен почв и атмосферы (эта бывает при избыточной увлажненности, когда водой заняты микро- и макропоры, или при очень плотном сложении почв), в составе газов **почв** резко уменьшается содержание 0_2 и появляются CH_4, H_2S, NH_3, что связано с развитием анаэробных микробиологических процессов (В.В.Добровольский, 1989).

Над некоторыми месторождениями полезных ископаемых и над разрывными нарушениями в почвы из более глубоких горизонтов Земли поступают газы — углеводороды, среди которых чаще преобладают CH_4, He, N_2, H_2S, CO, H_2, Ar, Hg, Rn, Xe, Kr. На этом явлении основаны геохимические методы поисков (В.АА лексеенко, 1989).

Газы недр. Рассматривая содержание газов в горных породах, следует в первую очередь отметить газы нефтяных и газовых месторождений. Основными из них являются углеводородные газы (CH_4 и др.), CO_r, N_2, H_2S, He, Ar. Среди каменноугольных газов преобладают CH_4, $C0_2$, H_2, N_2. Газы, поступающие с больших глубин, состоят главным образом из $C0_2$, **H_2,** $S0_2$, H_2S, HC1, Hf.

Газы включений в минералах. Имеющиеся к настоящему времени данные позволяют считать, что из этих газов преобладают, кроме паров воды, $C0_2$, CO, N_2, H_2, H_2S, а также большая группа углеводородных и инертных газов.

3.6. Коллоидная и сорбированная формы нахождения элементов

3.6.1. Общие сведения

Некоторые особенности. Одной из основных особенностей коллоидного состояния веществ является гетерогенность — коллоидная система должна состоять не менее чем из двух фаз. При этом одна из них содержит частицы размером 0,1—1 мкм (дисперсная фаза), распределенные в другой — дисперсионной среде. Вещества, составляющие разные фазы, отличаются по ряду свойств и имеют реальную физическую поверхность раздела. Диффузия в коллоидных системах относительно слаба. Дисперсная фаза (в случае жидкой среды) проходит через бумажный фильтр и задерживается на мембране. Кроме того, для коллоидных систем характерна свободная поверхностная энергия, а для отдельных частиц — наличие определенного заряда. Именно с последними особенностями связан процесс сорбции — концентрирование определенных веществ из дисперсионной среды на поверхности раздела фаз. Связь этих веществ с сорбировавшими их частицами может быть сильной и сохранятся довольно продолжительное время.

Классификация коллоидных систем в зависимости от агрегатного состояния. При газообразной дисперсионной среде выделяются аэрозоли с твердыми и жидкими частицами. В жидкой среде циеперсная фаза может быть твердой, жидкой, газообразной. Кроме того, выделяются дисперсные системы с твердой средой (в случае природных форм это минералы), в которой частицы также находятся в твердой, жидкой, газообразной фазах. Их самостоятельная миграция возможна только после разрушения минерала-хозяина, и в этом они напоминают изоморфные примеси.

Перемещение же веществ в коллоидной форме и газах идет весьма своеобразно и отличается от перемещения элементов в истинных растворах и газах.

Распространенность. Рассматриваемая форма нахождения химических элементов получила относительно широкое распространение в биосфере. Коллоиды встречаются в атмосфере, в океанических и континентальных водах. Широко распространены они и на суше. Так, «наиболее важные составные части ландшафта, определяющие его своеобразие, или находятся в коллоидном состоянии (а сам «ландшафт — это подлинное царство коллоидов»), или it процессе своего образования прошли через коллоидное состояние» (А.И. Перельман, 1975). Если учесть, что геохимические ландшафты — это «кирпичики», из которых состоит биосфера, то можно говорить и о царстве коллоидов в биосфере в целом. И еще следует подчеркнуть, что

накопление в биосфере коллоидов пропорционально интенсивности и длительности протекания в геохимических ландшафтах биологического круговорота элементов.

Это правило было сформулировано А.И. Перельманом и имеет очень большое значение при изучении развития химических ландшафтов и миграции химических элементов. В ландшафтах зрелых стадий влажных тропиков почти 100% почв и кор выветривания состоит из коллоидов и метаколлоидных минералов. К последним относятся вещества, которые прошли в своем развитии через коллоидную стадию и размеры частиц которых несколько больше, чем у коллоидов.

Чрезвычайно широкое развитие дисперсные частицы получили в тропосфере. В.В. Добровольский (1983) считает, что «они играют не менее важную роль, чем дисперсные взвеси твердого вещества в Мировом океане». По его данным, в 1 $м^3$ воздуха содержание аэрозольных частиц над континентами составляет п • 10^{-5} г,

а над океанами на один—два порядка меньше. В их составе большую роль играют многие токсичные тяжелые металлы. Будучи тонкодисперсными, они, попадая в легкие человека, могут в значительных количествах переходить в кровь, что особо вредно.

В районах, относительно свободных от воздействия промышленных предприятий, в столбе воздуха высотой всего 1 км над площадью суши содержание отдельных металлов доходит до десятков грамм. По В.В. Добровольскому, эти металлы можно разделить на две группы, в каждой из которых их концентрация уменьшается примерно на порядок:

1) Zn>Cu>Mn>Cr>Pb>V>Ni>As;

2) Cd>Se>Co>Hg>Sb>Sc.

Получается, что над континентами в дисперсной форме находятся тысячи тонн металлов первой группы и As, сотни тонн Se, Hg, Sb, Cd. Особо подчеркнем, что приведенные цифры характеризуют только природную составляющую этих элементов в тропосфере. Техногенная же составляющая, накладывающаяся на природную, существенно ее превосходит.

Со взвесями переносится основная часть металлов в речных водах. Совместно со взвесями большинство их (металлов) переходит из океанических вод в осадки.

3.6.2. Коллоиды и антропогенные процессы

Можно считать, что антропогенные процессы в целом приводят к увеличению коллоидной формы нахождения элементов. Рассмотрим это на некоторых характерных примерах. 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 РЬ.

С полей коллоиды почв сносятся также в реки и водохранилища. В данном случае (кроме источника заиливания) они становятся переносчиками различных сорбированных ими веществ

(часто токсичных). Число таких веществ в континентальных вони х иозрастает.

Источником аэрозолей, образовавшихся за счет техногенеза, иниются не только сельскохозяйственные угодья. Огромное количество дисперсных частиц и капель выбрасывается в атмосферу различными предприятиями, расположенными в городах. Так, it I $м^3$ 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 трозольных частиц в 1 $м^3$ воздуха атмосферы. Количество пыли (без сажи) превосходило этот показатель на порядок. В крупных юродах с населением 1 млн жителей и больше концентрация дисперсной фазы обычно на порядок выше средней величины.

В последнее время коллоидные системы (природные и искусственные) стали использоваться для селективного извлечения из растворов токсичных веществ. Важность этого направления применения коллоидов стала особо ясной после Чернобыльской катастрофы.

С коллоидными системами постоянно приходится встречаться в производстве пищевых продуктов, при переработке нефти, получении искусственного волокна и пластмасс, мыловарении, в текстильной промышленности и т.д.

3.6.3. Адсорбция молекул и ионов

Самопроизвольное уменьшение свободной поверхности энергии может происходить за счет концентрирования веществ на поверхности раздела фаз. Этот процесс получил название *адсорбция*. Различают *молекулярную* и *ионную* адсорбции. Адсорбция молекул более характерна для слабодиссоциирующих веществ. Одновременно с адсорбцией может протекать другой процесс концентрирования веществ — *абсорбция,* т.е. поглощение газа или пара всем объемом твердого тела. Довольно часто их объединяют одним термином — *сорбция*.

Значимость этого процесса в биосфере чрезвычайно важна. Достаточно сказать, что в почвах (основной части геохимических ландшафтов суши) концентрация многих химических элементов (в первую очередь тяжелых металлов) в несколько раз выше в высокодисперсных частицах, чем в остальных ее компонентах.

Процессы сорбции относятся к числу основных, очищающих воды Океана от многих токсичных элементов. Преимущественно

с их помощью в водах океанов контролируется концентрация Pb, Cr, Cu, Co, Ni, V, Zn, Ga, Ge, B, Mo, Li. В речных водах, по данным А.П. Лисицина, со взвесями связана основная масса рассеянных элементов (около 98% — Ti, Se, Nb, Ge, V, Cr; до 98% — Co, Ni, Rb, Y, Zr, Ba; до 70% - Cu, Zn, Mo, Ag, Sr).

Селективность — одна из важнейших особенностей процесса сорбции. Рассмотрим кратко основные факторы, определяющие состав и количество веществ, сорбируемых определенными коллоидными частицами.

• *Состав сорбируемых ионов и молекул зависит от состава дис*
персной фазы. К важнейшим природным сорбентам относятся коллоиды оксида Мп (IV), сорбирующие (иногда до экономически выгодного промышленного извлечения) Ni, Co, K, Ba, Cu, Zn, Hg, Аи, W; гидроксид Fe (III), сорбирующий As, V, P, Sb, Se; кремнезем, сорбирующий ряд радиоактивных элементов; доломит, сорбирующий Pb, Zn, и т.д.

Концентрация в почвах сорбированных элементов (до содержаний, влияющих на развитие живых организмов) связана в основном с глинистыми частицами и гумусом. При этом из растворов металлы извлекаются в такой последовательности: монтмориллонитом — Pb>Cu>Co>Ba>Mg>Hg; каолинитом — Hg>Cu>Pb. О значимости рассматриваемого процесса можно судить хотя бы по тому, что в каолините (за счет сорбции из разбавленного раствора сульфата меди) концентрация металла достигает 0,8%.

• *Чем больше сорбируемые вещества понижают поверхностну*
гию раздела фаз, тем больше их сорбируется. Для природных условий действие этого фактора осталось практически неизученным, но теоретические и лабораторные данные указывают на его большую роль.

• *Чем лучше растворитель (дисперсионная среда) смачивает т*
дую поверхность частиц, тем меньше сорбируется растворенного вещества из этой среды. Так, угодь и сажа гораздо лучше сорбируют растворенные вещества из водных растворов, чем из углеводородных и, наоборот, глинистые минералы лучше сорбируют молекулы из углеводородных растворителей. Отсюда следует правило Ребиндера:

чем ближе по своей природе адсорбент к растворителю, тем меньше сорбируется на нем веществ, растворенных в этом растворителе.

К* *Избирательное поглощение определенных веществ из растворов определяется не только составом дисперсной фазы, но и щелочностью среды.* Глинистые коллоиды лучше сорбируют металлы в щеночной среде. В кислой сорбированные металлы вытесняются in у юродом. В целом для почв прочность связи металлов в этом промессе следующая:

$$Co^{2+} > Cu^{2+} > Zn^{2+} > Mn^{2+}.$$

В.В. Добровольский считает (1983), что этот процесс особо важен для растений, так как вытесняемые микроэлементы становятся доступными для них. Следует также отметить, что количество биоэлементов, сорбированных почвенными коллоидами, составляет около 2% их общей массы в почвах (W. Larcher, 1976), а это на порядок больше, чем содержание биоэлементов в почвенных растворах.

• *Из растворов преимущественно сорбируются ионы, имеющие общую с сорбентом атомную группировку (правило Пескова—Фаянса).*

• *Лучшую способность к сорбированию из растворов проявляют поливалентные ионы, а среди ионов одинаковой валентности — имеющие большой радиус.* Последнее правило позволяет для ионов одинаковой валентности составлять сорбционные ряды, в которых каждый последующий член сорбируется хуже предыдущего, например:

$$Sc^{+} > Rb^{+} > K^{+} > Na^{+} > Li^{+};\ I^{-} > Br^{-} > Cl^{-}$$ и т.д.

• *Состав сорбируемых веществ во многом определяется зарядом коллоидных частиц.* К положительно заряженным относятся частицы гидроксидов Al, Fe (III)*, Cr **(III),** Th (IV), Zr (IV), оксида Mn (II) и др., к отрицательно заряженным — частицы кремнезема, большинства сульфидов, гидроксидов V (V), Мп (IV), Fe (II), а также гуминовые коллоиды и большинство глинистых минералов.

Определенный заряд часто имеют дисперсные частицы в тропосфере. Так, Fe_20_3, CaO, ZnO, MgO обычно отрицательно заряжены, а угольные частицы (дым), $Si0_2$, P_20_5 — положительно.

Сорбция газов. Их концентрирование в тропосфере на твердой поверхности частиц происходит с очень большой скоростью (при отсутствии пор) и иногда приводит к сжижению адсорбционного слоя. Процесс этот обратимый и лучше протекает при

• $Fe(OH)_3$ может иметь отрицательный заряд, если на поверхности коллоидной частицы будут преобладать сорбированные ионы OH^{-} и $Si0_3^{a-}$.

понижении температуры. В случае проникновении газов в поры скорость процесса резко уменьшается, но возможно более интенсивное поглощение газов всем объемом частиц. Сорбция газов может переходить и в *хемосорбцию*. Примеры: концентрация на Al кислорода, на CaO — углекислого газа и т.д. Однако и хемосорбция, и поглощение паров и газов всем объемом коллоидных частиц начинается с концентрации молекул на границе раздела фаз.

Громадное количество аэрозолей с твердыми частицами, поступая в тропосферу, становится ядрами конденсации. При этом они подвергаются воздействию конденсирующейся воды и растворенных в ней хлор- и сульфат-ионов. В результате в выпадающей «атмосферной воде» 50% всей массы микроэлементов находится в растворенном состоянии. Таким образом, в атмосфере процесс сорбции газов коллоидными частицами очень часто завершается процессами растворения, и на поверхность Земли многие элементы из тропосферы поступают в форме водных растворов.

Довольно энергично сорбируются газы и пары (особенно водяной пар) твердыми почвенными частицами. В целом же сорбируемые газы можно расположить в следующий ряд:

$$H_2O > CO_2 > O_2 > N_2.$$

3.6.4. 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. Изучением этого процесса занимался наш соотечественник К. К. Гедройц.

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 кристалли-

кой решетке. Для частиц ряда минералов (в их числе широко Распространенные плагиоклазы) увеличение давления ограничивйст течение этого процесса.

Как пример ионного обмена можно рассмотреть процесс умяг-Чеиия воды, происходящий в присутствии алюмосиликатов, об-1 > i лующих дисперсную фазу. Частицы минералов поглощают Ca^{2+} И Mg^{2+} из сульфатно-кальциевых (магниевых) подземных вод, •обменивая» их на катионы Na^{+}. В виде обобщенных формул это можно представить так:

$$(\text{глина} + 2Na^{+}) + CaSO_4 \rightarrow Na_2SO_4 + (\text{глина} + Ca^{2+});$$
$$(\text{глина} + 2Na^{+}) + Mg\,SO_4 \rightarrow Na_2SO_4 + (\text{глина} + Mg^{2+}).$$

Широкое распространение ионный обмен получил в процессах почвообразования, а также формирования химического состава многих минеральных вод и лечебных грязей. Считается, что ионный обмен имеет чрезвычайно важное значение для создания баланса щелочных металлов в континентальной земной коре и водах океанов.

В большинстве случаев ионный обмен является обратимой реакцией. Лишь иногда ионы, попавшие на поверхность коллоидных частиц, образуют с ними прочное химическое соединение (хемосорбция). При кристаллизации коллоида в таких случаях образуются новые минералы. Так, из коллоидов бурых железняков, сорбировавших в водных растворах оксиды ванадия, молибдена, фосфора, образуются минералы ферванит, фосфаты железа, ферримолибденит.

3.6.5. Миграция и старение коллоидов

В отличие от ранее рассмотренных форм нахождения элементов, коллоидная менее устойчива в природных условиях. Однако это не мешает перемещаться дисперсным частицам (и сорбированным на их поверхности веществам) на большие расстояния. Аэрозоли переносятся в тропосфере на десятки тысяч километров; это и природные коллоиды (пыльца растений, споры бактерий и плесени), и техногенные. Так, частицы РЬ техногенного происхождения выявлены во льдах Антарктиды, а дымы из Центральной Европы доходят до Ледовитого океана. Велика дальность миграции коллоидов, переносимых в водах рек. Однако все это примеры миграции второго типа (перемещение элементов без изменения форм нахождения). Гораздо чаще с коллоидными системами свя-

зана 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 за 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. Его скорость зависит от вязкости дисперсионной среды, разности плотности частиц и среды, размеров частиц.

2. В случае растворимости частиц возможна перекристаллизация системы, растворение мелких и рост более крупных частиц. У последних существенно возрастает скорость седиментации.

3. За счет слипания частиц (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.

Особо неустойчивыми являются аэрозоли. Каждое соприкосновение дисперсных частиц может привести к их слипанию. Следует также отметить, что твердые частицы часто становятся центрами конденсации влаги в атмосфере. Это, в конечном счете, ведет к их удалению из тропосферы. Этим же процессом объясняется большее количество туманных и дождливых дней в районах крупных промышленных центров.

3.7. Магматические расплавы

3.7.1. Общие сведения

Непосредственно природные магматические расплавы не изучены. О их составе и свойствах судят по изливающейся на поверхность лаве, выделяющимся магматическим газам, составу магматических пород, данным комплексных исследований и искусственно создаваемым расплавам.

В течение геологической истории в недрах Земли за, счет высокой температуры идет плавление пород с образованием жидкого расплава — магмы. Считается, что при плавлении горных пород их объем увеличивается примерно на 1/10. Следовательно, та-

i <>i расплав легче пород, а значит, по трещинам он начинает выжиматься вверх. При этом из него выделяются различные газы и пиры. Особенно много их удаляется из быстро остывающего расплава, излившегося на поверхность; в этом случае его и называют *лавой*. Возможно и постоянное затвердевание расплава при его остывании в земной коре.

Роль магматических расплавов в распределении и перераспределении элементов в земной коре велика, поэтому рассмотрение гипотез о состоянии в них химических элементов представляет определенный интерес.

3.7.2. Магматические расплавы и антропогенная деятельность

Как уже указывалось, непосредственно с магматическими расплавами встречаться людям пока еще не приходилось. Однако вулканические процессы всегда поражали воображение количеством тепла, заключенного в недрах Земли. Использование геотермальной энергии при современном уровне развития науки и техники ограничивается районами современного или позднетретичного вулканизма или интрузивного магматизма. Впервые использованные в Италии геотермальные источники энергии приобрели в наши дни довольно большое значение в Исландии, Новой Зеландии и США. Можно предположить, что в отдельных районах этот источник энергии станет со временем основным.

Начато использование и продуктов дегазации (опять же пока лишь в районах вулканической деятельности) для извлечения из паров и газов фумарол и сольфатар целого ряда химических элементов и их соединений. Своеобразными месторождениями являются и фумарольные возгоны — твердые вещества, отложившиеся в зоне устья фумарол из паров и газов.

Особо следует отметить, что использование таких источников энергии и ряда химических элементов обычно является экологически «наиболее чистым».

3.7.3. Состав расплавов

Первоначально считалось, что магма — расплав, состоящий только из оксидов. Но уже в 1935 г. Ю. Левинсон-Лессинг писал, что в магме находятся «комплексы, соответствующие будущим минералам». В работах Н.В. Белова и Л.Н. Овчинникова данное поло-

жение было разработано и дополнено. Сейчас считается, что в магме существуют два основных вида комплексов: октаэдрические группы (среди них преобладают [MgO_6] и [$Ca0_6$]) и тетраэдрические (преобладают [SiOJ и [$A10_4$]). Кроме того, предполагается, что в магме содержатся свободные подвижные катионы, атомы растворенных металлов, соединения типов FeS и Fe_30_4, являющиеся в какой-то мере электронными жидкостями, а также отдельные молекулы, прежде всего газы. Таким образом, можно считать, что магматические расплавы — это сложные изменчивые (в связи с изменением термодинамических условий), насыщенные газами системы.

3.8. Биогенная форма

3.8.1. Общие сведения

Биогенная форма нахождения химических элементов — это элементы, содержащиеся в животных и растительных организмах. Впервые она была рассмотрена В.И. Вернадским при изучении биосферы. Несмотря на сравнительно небольшое содержание живых организмов в земной коре, без учета их деятельности невозможно правильно представить геохимические процессы, протекающие на поверхности Земли. Особо отмечая это, В.И. Вернадский писал, что живое вещество в биосфере играет основную активную роль и ни с чем, ни с какой геологической силой не может даже быть сравнимо по своей интенсивности и направленности во времени. К живому веществу биосферы, по определению В.И. Вернадского, относится совокупность всех ее живых организмов.

Области развития живого вещества на Земле, по А.В. Лапо (1987), могут ограничиваться пятью параметрами: количеством углекислого газа и кислорода; наличием воды в жидкой фазе; термическим режимом; наличием «прожиточного минимума» — элементов минерального питания; сверхсоленостью вод.

На поверхности Земли практически нет участков, где бы перечисленные факторы препятствовали развитию живых организмов, хотя некоторые исследователи выделяют единичные участки, в пределах которых отдельные факторы должны были бы способствовать их безжизненности. Это склоны горы Мак-Кинли на Аляске (круглый год вода в твердой фазе), заповедник Уайт-Сандс в США (в гипсовых песках нет элементов минераль-

ного питания) и др. Во всех этих случаях речь идет о тончайшей пленочке — поверхности. А где же верхняя и нижняя границы биосферы?

Детальные исследования показали, что весь Мировой океан за-1 (лен организмами. Они есть и в Марианской впадине, и под льдами Ледовитого океана и Антарктиды. В атмосфере жизнь выявлер не только в пределах тропосферы, но и в стратосфере: жизнеспособные организмы были обнаружены на высоте около 80 км. ()днако активная жизнь большинства организмов проходит в атмосфере до высот около 13 км, где существуют насекомые и птицы. Выше встречаются бактерии, дрожжевые грибки, споры гриВов, мхов и лишайников, вирусы, водоросли и т.д. Большинство из них на таких высотах находятся в состоянии анабиоза.

В пределах континентов нижняя граница биосферы проходит по меняющимся глубинам, которые контролируются в основном особенностями подземных вод. По опубликованным данным, в Ангаро-Ленском бассейне безжизненные зоны были встречены уже па расстоянии 500 м от поверхности. В то же время в других районах активные и разнообразные формы микрофлоры обнаружены на глубинах свыше 3 км, причем живые бактерии имелись в водах с температурой 100° С.

3.8.2. Организмы и антропогенная деятельность

Люди сами относятся к живым организмам и их жизнь, как и жизнь всех организмов, ограничивается многими внешними условиями, характерными для биосферы. К их числу относятся и наиболее детально рассматриваемые в экологической геохимии концентрация химических элементов и их формы нахождения в среде обитания. Взаимодействие людей с образуемой химическими элементами неживой (косной) частью биосферы уже частично рассматривалось в этой главе и более полно разбирается в гл. 7, 8 и др. Однако существование людей невозможно без взаимосвязи и между собою, и с другими организмами. Чисто биологические особенности такой связи обычны для всех организмов и в этом смысле не отличаются от взаимосвязей, изучаемых в экологии животных.

Но в отличие от других животных жизнедеятельность людей включает в себя и так называемые техногенные процессы. По отношению к организмам несколько условно их можно свести к некоторым основным. В их число следует включить:

• непосредственное уничтожение определенных видов;

• создание необычных внешних условий существования организмов (в том числе необычных по концентрациям и формам нахождения химических элементов), также приводящим к мутациям и уничтожению отдельных видов;

• искусственное выведение и переселение новых видов живых организмов.

Непосредственное уничтожение организмов. Практически все развитие человечества связано с уничтожением определенных животных организмов. С разной степенью доказательности ему ставится в вину исчезновение мамонтов, пещерных медведей, бизонов и целого ряда других животных. Однако, как свидетельствует палеонтология, исчезновение определенных видов животных происходило и без вмешательства человека. Причем данный процесс иногда происходил чрезвычайно быстро. К сожалению, пока незвестно, какие изменения вызвало исчезновение тех или иных животных в существовавшей тогда биосфере и какие при этом организмы погибали «попутно». Практически нет данных и о связи таких, особенно катастрофических исчезновений, с изменениями палеогеохимических обстановок. Сейчас ясно одно: с техногенным вмешательством людей исчезновение определенных видов животных происходит катастрофически быстро, а это не может не нарушить существующего хрупкого равновесия в природе. Несомненно, что в итоге наступит какое-то новое природное равновесие. Но будет ли оно лучшим (или вообще возможным) для существования людей?

Процесс непосредственного техногенного уничтожения различных растительных организмов еще более нагляден. В последние десятилетия он стал вполне сравним с крупнейшими природными катастрофами. Как пример рассмотрим только основные геохимические последствия и только одну часть этого процесса — уничтожение лесов.

Надземная биомасса дубравы (условно ее можно взять за среднюю для лесов) составляет 264 т/га (7 т — листья, 27 т — ветви и побеги, 230 т — древесина); корневая масса — около 50 т/га; сгнивающие корни — 1 т/га; годичная подстилка 3,9 т; органические соединения, сносимые в подстилку водой, стекающей по листьям и стволам,— 53,5 кг/га за год, а общая биомасса подстилки — 11,4 т/га (M. Rapp, 1969). Только в надземной части дубравы содержится около 6 т/га неорганических веществ (табл. 3.8).

Таблица 3.8

Содержание ряда химических элементов в надземной части дубравы, кг/га (по данным M. Rapp, 1969)

Химический элемент	Надземные части растений			
	листва	ветви и побеги	древесина	общее количество
Na	1	8	23	32
K	43	90	493	626
Ca	70	493	3290	3853
Mg	9	25	117	151
P	10	40	174	224
N	93	153	517	763
Fe	1,2	2,6	14,1	18
Mn	2,4	2,3	14,1	19
Zn	0,4	1,3	4,7	6
Cu	0,1	0,5	4,7	5
Суммарное количество минеральных веществ	230,1	815,7	4651,6	5698

Вся эта биомасса при сплошной рубке не только выводится с места ее произрастания, но и частично переходит в другие формы нахождения химических элементов. А теперь учтем, что лишь в нашей стране площадь сплошных рубок превышает 2 млн га в год. (Состояние природной среды в СССР. М.: Лесная промышленность, 1990.) К ней следует добавить выборочную рубку и лесные пожары, возникающие по вине людей. Статистические данные указывают, что, например, в 1988 г. пожарами в России было уничтожено 0,704 млн га лесов, а 83% их явилось результатом антропогенной деятельности. По самым скромным подсчетам у нас в результате антропогенных процессов уничтожается в год около 1 млрд т биомассы лесов, в составе которой порядка 20 млн т минеральных веществ. Содержащиеся в этой биомассе одни цветные металлы превосходят их годовую добычу на отдельных рудниках.

Рубка леса, особенно сплошная, приводит к резкому изменению многих природных условий. Так, даже на крутых склонах гор Северного Кавказа после нее образуются болота с бескислородной обстановкой, новыми геохимическими барьерами, практически полной заменой растительных и животных организмов. Еще

большие изменения происходят после лесных пожаров, при которых практически полностью уничтожаются целые биокосные системы (почвы и др.), а жизнь восстанавливается только через несколько лет. Но, наверное, самым тяжелым для людей последствием уничтожения лесов является нарушение БИК и процесса фотосинтеза с выделением в атмосферу кислорода. А процесс глобального уничтожения лесов охватил не только Россию, но и многие страны Африки, Южной Америки, Азии.

Примеров антропогенного уничтожения организмов, подобных перечисленным, можно привести еще много. Чтобы не делать этого, отметим основное: непосредственное антропогенное уничтожение определенных организмов, во-первых, катастрофически быстро нарушает то хрупкое природное равновесие между ними, а также между ними и людьми, в условиях которого существует человечество, а во-вторых, значительно изменяет геохимическую (биогеохимическую) обстановку и даже **БИК.**

Создание необычной для отдельных участков и даже крупных регионов геохимической (ландшафтно-геохимической) обстановки. Этот процесс также характерен для всей истории развития человечества. Однако лишь в последние десятилетия началось глобальное техногенное изменение условий существования организмов. Оно происходит и при уничтожении определенных видов, что уже разбиралось выше. Но в еще большей мере изменяются условия существования живых существ за счет техногенного изменения ландшафтно-геохимической и собственно геохимической обстановки. Число различных техногенных процессов, приводящих к таким изменениям, чрезвычайно велико. Основные из них рассматриваются в гл. 7, 8.

Для живых организмов к числу важнейших последствий рассматриваемого изменения относится невозможность существования определенных видов в изменившихся условиях. При этом данные виды или погибают, или начинается процесс их существенного изменения — мутация. Наиболее высокоорганизованные виды погибают скорее, а менее организованные, включая вирусы и бактерии, часто изменяясь, приспосабливаются к новым условиям.

Гибель определенных организмов из-за изменившихся условий имеет те же последствия, что и уже рассматривавшееся их непосредственное антропогенное уничтожение. Все последствия мутации пока невозможно даже предположить, но изменения вирусов и бактерий могут также привести к болезням и гибели более высокоорганизованных растений и животных, включая человека.

Искусственное выведение и переселение новых видов. Можно счи-i.i п., что и этот процесс непрерывно сопровождал все развитие че-•юнечества. Однако лишь с подключением к нему генной инже-ц‖>ии начинают возникать проблемы, связанные с выживанием человечества.

3.8.3. Специфика живого вещества

Изучением живого вещества планеты занимаются не только мно-ючисленные исследователи, оно является и основой многих наук. И все же неясного в жизни и развитии организмов гораздо больше, чем изученного и объясненного. Проводя своеобразное подиедение итогов в изучении живого вещества, А.В. Лапо с учетом научных разработок В.И. Вернадского выделил в 1987 г. ряд его специфических особенностей.

• Живое вещество биосферы характеризуется огромнейшей свободной энергией. В неорганическом мире сопоставимыми с ним могут быть только незастывшие лавовые потоки, но последние, очень быстро остывая, теряют ее.

• В живом веществе скорость протекания химических реакций в тысячи (а иногда в миллионы) раз выше, чем в неживом. При этом незначительные начальные порции масс и энергии могут вызвать переработку гораздо больших масс и энергий. Так, определенные виды гусениц перерабатывают в сутки в 200 раз больше пищи, чем их собственная масса.

• Основные химические соединения, определяющие состав живого вещества (белки, ферменты и др.), устойчивы в природных условиях только в живых организмах.

• Для живых организмов характерны две формы движения: пассивная, определяемая их ростом и размножением, и активная, осуществляемая за счет направленного перемещения. Выделены эти формы были В.И. Вернадским. Первая из них характерна для всех организмов, вторая — в основном для животных.

Особенностью пассивного движения организмов является стремление заполнить большинство пространства. В.И. Вернадский назвал этот процесс *давлением жизни.* Его сила (т.е. скорость размножения) в целом обратно пропорциональна размерам организмов. Очень большим давлением обладают бактерии, вирусы, грибы. У отдельных видов бактерий новое пополнение образуется через 22—23 мин. При отсутствии преград к размножению они больше чем за сутки заняли бы всю поверхность Земли. В этих же **ус-**

ловиях гриб дождевик (каждый экземпляр дает около 7,5 млрд спор уже во втором поколении имел бы объем, в 800 раз превышающий размеры нашей планеты. Слонам же для заселения поверхности Зем» ли потребуется более 1000 лет. Рассмотренной особенностью пас* сивного движения организмов объясняется быстрое распространие ние эпидемий, вызываемых бактериями и вирусами.

Движение второй формы происходит за счет собственного перемещения организмов. У раздельнополых оно осуществляет» ся самками, приносящими потомство в новых районах.

• Для организмов характерно гораздо большее морфологическое и химическое разнообразие, чем для неживой природы. Говоря о разнообразии размеров и морфологии, достаточно привести пример сравнения вируса со слоном или китом. Их размеры отличаются в миллиарды раз. Рассматривая химический состав живого вещества, необходимо отметить, что его определяют более 2 млн различных органических соединений. Вспомним, что количество природных минералов составляет всего около 2 тысяч, т.е. в тысячу раз меньше.

Тела живых организмов могут состоять из веществ, находящихся одновременно в трех фазовых состояниях, и, несмотря на это, представлять единое целое.

• При огромном разнообразии химического состава организмов они построены в основном из белков, содержащих одни и те же аминокислоты. Передача наследственной информации вдет у них по одному пути (ДНК-РНК-белок) с использованием одного генетического кода.

• Нормальное развитие организмов в природе возможно только в их сообществе с другими организмами (биоценоз).

• Живое вещество существует лишь в форме непрерывного чередования поколений. Поэтому оно генетически связано с организмами прошлых геологических эпох.

• Со сменой поколений идет и эволюция живого вещества. Как правило, этот процесс наиболее характерен для высших организмов, а чем примитивнее организм, тем он более консервативен.

3.8.4. Бесклеточное живое вещество (вирусы)

Живое вещество биосферы может существовать в клеточной и бесклеточной формах. Бесклеточная форма жизни была открыта сверстником и товарищем В.И. Вернадского по университету

До Ивановским. В 1929 г. он впервые в науке отметил возможность заражения растений соком больных растений, профильтрованным через бактериальный фильтр Шамберлена. Эта работа стали неновой науки вирусологии.

Парусами называется группа бесклеточных микроорганизмов, размеры которых измеряются десятыми долями микронов. Три четверти и всех инфекционных заболеваний человека (трахома, корь, ящура, полиомиелит и др.) вызываются вирусами. Они являются паразитами растений, животных и даже бактерий. Последние получили название *фагов*.

Все вирусы состоят из белка и нуклеиновой кислоты (ДНК или РНК); в ряде вирусов установлены липиды и углеводы (ПАГен-Кель, 1974). Обычно вирусы растений содержат РНК, а животных — ДНК, однако вирус гриппа содержит РНК. Они не размножаются на искусственных питательных средах, так как развиваются только в организме хозяина.

По морфологическим особенностям вирусы разделяются на отдельные группы: сферические (вирусы гриппа, кори, ряда растений); кубоидальные (вирусы оспы, аденовирусы); бацилловидные (вирусы ячменя и др.); палочковидные (вирусы табака, картофеля и др.); нитевидные (картофеля, сахарной свеклы); сперматозоидные (вирусы бактерий).

Как было установлено, инфекционными свойствами обладает нуклеиновая кислота, а оболочка вируса в зараженную клетку не проникает. Следует отметить, что ряд вирусов сорбируется эритроцитами. Вирусы довольно устойчивы к изменениям условий, но весьма существенное, хотя и различное для разных вирусов влияние на них оказывает изменение величины pH в окружающей среде. Многие из них устойчивы при температуре от —70° до +108° С. При быстром высушивании они могут сохраняться на протяжении нескольких лет, однако довольно быстро инактивируются под действием ультрафиолетового света и ионизирующей радиации.

Вирусы, вызывая тяжелые болезни, способствуют отмиранию наиболее слабых особей, и тем самым с их помощью (в значительной мере) происходит в биосфере естественный отбор.

3.8.5. Бактерии

Среди них в первую очередь выделяются имеющие и не имеющие ядро. Доядерные получили название *прокариоты,* а с ядром —

эукариоты. Значительная часть бактерии является прокариотами. К ним относятся и цианобактерии, более известные под названием *сине-зеленых водорослей*. Цианобактерии являются одними из самых неприхотливых организмов. По данным А.В. Лапо, они поселяются на вулканических туфах уже через три года после извержения, первыми появляются после ядерных взрывов, могут существовать при температуре до +140° С и при отрицательных температурах — на снегу Антарктиды. Их бурное развитие происходило уже в докембрии.

Среди бактерий, обитающих в подземных и поверхностных водах в районах месторождений полезных ископаемых, выделяются специфические, приспособившиеся к высоким концентрациям ряда химических элементов в водах и окружающих их горных породах и рудах. Такие микроорганизмы даже используются как косвенные поисковые признаки месторождений. Бактерии вида Thiobacillus thiooxidans концентрируются на участках с резко повышенным содержанием Mo, Be, W, Th. Ferooxidans — на участках с рудами Pb, Zn, Cu и около редкометалльных рудных тел (Ta, Nb, Li, Rb, Cs, Be и др.). На редкометалльных месторождениях отмечается повышенная активность и бактерий Th. Denitrificans.

Таблица 3.9

Биологическое окисление сульфидных руд (в раствор перешло металлов, мг/л)

Продолжительность опыта, дни	Галенит	Сфалерит	Халькопирит
	Pb	Zn	Cu
Контрольные определения (без добавления бактериальной эмульсии)			
1	0,2	0,05	0,3
14	0,1	0,1	0,4
40	0,2	1,1	7
Опытные определения (с добавлением бактериальной эмульсии)			
41	6,9	20	11
42	13,7	30,2	19,2
75	926	1213	3414

В природных условиях бактерии способствуют переходу ряда тяжелых металлов из минеральной формы (очень часто из сульфидов) в водные растворы. Для установления количественной роли этого процесса В.А. Шамолиным проводились специальные лабораторные исследования, результаты которых сведены в табл. 3.9.

Контрольные определения продолжались 40 дней, а опытные — 35. Как видно из таблицы, при бактериальном воздействии в раствор перешло металлов в несколько тысяч раз больше, чем при окислении без бактерий.

По типам питания бактерии (в том числе и цианобактерии) разделяются на гетеротрофные и автотрофные. Среди гетеротрофных

есть сапрофиты, питающиеся мертвым органическим веществом, И паразиты, развивающиеся только на живых организмах.

Автотрофные бактерии. Относимые к ним микроорганизмы 1 .1ми создают органическое вещество за счет следующих процессов.

1. *Хемосинтез.* Органическое вещество при этом образуется из $C0_2$ и H_20 за счет энергии окисления, во-первых, NH_3 до $HN0_2$ и $HN0_3$ (нитрофикаторы); во-вторых, FeO до $Fe(OH)_3$ (железобактерии); в-третьих, H до H_20 (водородоокисляющие). Реакции окисления с выделением энергии можно представить так:

$$2NH_3 + 3O_2 = 2HNO_2 + 2H_2O + 660{,}7 \text{ кДж (аммиак} \uparrow)$$

(окисляют Nitrosomonas);

$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O + 575 \text{ кДж}$$

(в минеральной среде окисляют Bact. hudrogenes).

Образование органических веществ идет в этом случае, как и при фотосинтезе, за счет $C0_2$ и H_20, но благодаря выделяющейся, а не световой энергии:

$$CO_2 + H_2O + \text{энергия} \rightarrow [CH_2O] + O_2.$$

2. Фоторедукция. При строении своих тел бактерии используют не воду, а H_2S. В этом процессе участвуют многие окисляющие серу бактерии (серобактерии), так как в качестве источника водорода они используют сероводород, но не выделяют кислород:

$$CO_2 + H_2S + \text{световая энергия} \rightarrow [CH_2O] + SO.$$

Рассматриваемый процесс идет за счет поглощенной зелеными пигментами световой энергии.

3. *Фотосинтез.* Синтез живого вещества из неорганической окружающей среды с выделением кислорода способны вести простейшие — эвглена, цианобактерии. Более подробно этот процесс рассматривается ниже.

Для нормального роста микроорганизмам необходимо получение и так называемых минеральных веществ, составляющих от 2 до 14% их сухой массы. В составе минеральных веществ преобладает P, затем идут K, Na, Mg, S, Ca, CI, Li, Fe. В меньших количествах в бактериях содержатся Mn, Zn, Mo, B, Cr, Co и другие элементы. Автотрофные бактерии основную часть этих химических элементов получают из водных растворов и минералов.

Гетеротрофные бактерии. Большую часть их составляют сапрофиты, питающиеся разлагающимся (мертвым) органическим

веществом. В разложении (минерализации) органических соединений принимают участие различные живые организмы (и растения и животные), но главная роль принадлежит микроорганизмам. При этом они выполняют целый ряд специфических биогеохимических функций. Кратко рассмотрим их.

• *Углекислотная* — бактерии в процессе жизнедеятельности выделяют в окружающую среду углекислый газ. Особенно велико в этом значение почвенных бактерий, за счет которых в почвенных газах содержание $C0_2$ намного больше, чем в атмосферных. Некоторые исследователи с этим связывают даже образование оползней. Растворяясь в воде, $C0_2$ влияет также на ее pH и образование ряда комплексных соединений.

• *Углеводородная* — бактериальное разложение органических остатков может приводить к образованию углеводородных соединений. Образующиеся углеводородные газы постепенно перемещаются к земной поверхности, изменяя на пути многие геохимические (биогеохимические) процессы, в том числе и перераспределение металлов в почвах.

• *Сероводородная* — ряд сульфатредуцирующих бактерий, отнимая при окислении органики кислород у сульфатов, выделяет сероводород:

$$C_6H_{12}O_6 + 3Na_2SO_4 \rightarrow 3Na_2CO_3 + 3H_2O + 3CO_2 + 3H_2S + Q\ кДж.$$

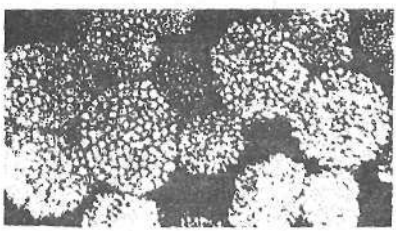


Рис. 3.4. Колония «оруднелых бактерий». Пиритные глобулиты. Черный цемент - углистый сланец. Полированный шлиф (протравлено, увеличено в 1000 раз). Месторождение Жайрем

Этот процесс часто приводит к образованию сульфидов (рис. 3.4) в количествах, позволяющих производить их промышленную добычу.

• *Водородная* — разложение некоторыми бактериями органического вещества сопровождается образованием атомарного водорода. Последний является чрезвычайно активным агентом, приводящим, в частности, к восстановлению сульфатов при жизнедеятельности сульфатредуцирующих бактерий.

• Азотная — при микробиологическом разложении азотсодержащего белкового вещества идет образование аммиака, накапливающегося в атмосфере и гидросфере. Процесс происходит в результате жизнедеятельности гнилостных бактерий или аммонифи-

шпоров. При этом образуемая ими масса живого вещества ничтожно мала по сравнению с разложившимся органическим веществом. Разложение белков идет поэтапно. Сначала они расщепляются на отдельные части - пептон, полипептиды и аминокислоты На следующем этапе аминокислоты или непосредственно идут на построение тел бактерий, или используются бактериями как источник углерода (что считается более распространенным). I! этом случае образуется аммиак. Аминокислоты могут распадаться полностью:

$$RCH(NH_2)COOH \rightarrow nCO_2 + mH_2O + NH_4OH,$$

могут образовываться новые кислоты и аммиак:

$$\underset{\text{(аланин)}}{CH_3CH(NH_2)COOH} + O_2 \rightarrow \underset{\text{(пировиноградная кислота)}}{CH_3\text{-}CO\text{-}COOH} + NH_3,$$

$$CH_3CH(NH_2)COOH + H_2O \rightarrow \underset{\text{(молочная кислота)}}{CH_3CH(OH)COOH} + NH_3.$$

В природных условиях выделяющийся аммиак либо улетучивается в атмосферу, либо растворяется в воде. Взаимодействуя с кислотами, он образует обычно хорошо растворимые соли аммония:

$$NH_3 + HCl = NH_4Cl;\ NH_3 + HNO_3 = NH_4NO_3;$$
$$2\ NH_3 + H_2SO_4 = (NH_4)_2SO_4.$$

В большинстве из них довольно высок процент хорошо усвояемого растениями азота, и они являются удобрениями.

Разрушение гнилостными бактериями аминокислот (в первую очередь лизина и орнитина) с отщеплением от них молекулы приводит к образованию птомаинов (от греч. «птома» — падаль), называемых трупными ядами:

$$\underset{\text{(лизин)}}{H_2N\text{-}(CH_2)_4\text{-}CH(NH_2)\text{-}COOH} \xrightarrow[\text{деятельность}]{\text{бактериальная}} \underset{\text{(птомаин)}}{H_2N\text{-}(CH_2)_5\text{-}NH_2} + CO_2.$$

Их ядовитость объясняют присутствием веществ неизвестной химической природы.

• *Окислительно-восстановительная* - разложение органического вещества сопровождается окислением этого вещества, серы, сульфидов, части карбонатов, а также восстановлением ряда элементов, в первую очередь переменной валентности (Fe, Mn, Си).

3.8.6. Растения; процесс фотосинтеза

Растениям принадлежит особая роль в биосфере. Именно на их долю приходится подавляющее количество биомассы; зоомассы (при пересчете на сухое вещество) примерно в 1000 раз меньше ее. Следовательно, растения определяют биологический круговорот химических элементов.

Преимущественно с растениями связано образование свободного кислорода при фотосинтезе. Ассоциации (комплексы) растений учитываются при ландшафтно-геохимическом районировании территорий. Это заставляет уделять растениям несколько больше внимания при изучении экологический геохимии, чем остальным организмам.

Все растения можно разделить на низшие (водоросли) и высшие. Среди них резко преобладают фотоавтотрофные, и лишь некоторые питаются животной пищей. Биомасса (сухой вес) растений колеблется на суше от 20 г/м^3 (для сухих пустынь) до 45 кг/ м^3 (для влажных тропических лесов), составляя в среднем для материков 12,3 кг/м^3 (Н.Ф.Реймерс, 1990). Для морей биомасса растений составляет в среднем 3 г/м^3. Общая биомасса растений Земли $1841 \cdot 10^9$ т, из нее на моря приходится всего $3{,}9 \cdot 10^9$ т (везде сухой вес).

Водоросли. Это низшие споровые растения, обитающие преимущественно в воде и отличающиеся большим разнообразием видов (приблизительно 20 000). Обычно их относят к числу первых организмов нашей планеты. С водорослями связывается начало массового процесса фотосинтеза.

Высшие растения. Они объединяют около полумиллиона различных видов, из которых лишь 535 питаются животной пищей и несколько полностью паразитируют на других растениях. Все остальные создают свои тела за счет процесса фотосинтеза.

Фотосинтез. Процесс фотосинтеза — это создание органических веществ (условно $[CH_2O]$) из углекислого газа и воды под влиянием хлорофилла, играющего роль катализатора, и солнечной энергии:

$$CO_2 + H_2O = \frac{\text{Солнечная энергия}}{\text{хлорофилл}}[CH_2O] + O_2.$$

Ежегодно в процессе фотосинтеза при создании $1841 \cdot 10^9$ т сухого вещества усваивается около 200 млрд т CO_2 и выделяется по расчетам ряда различных исследователей от 145 до 320 млрд т O_2. Данные изотопных анализов показывают, что основное количество

• іи-порода выделяется за счет разложения воды, а кислород углекислого газа идет на образование органических соединений.

Процесс фотосинтеза является одним из грандиознейших среди всех происходящих на Земле. Так, только за 9 млн лет «через рнстения» проходит масса воды, равная всей гидросфере, а за ft 7 лет вся углекислота атмосферы. За 4500 лет за счет фотосинтеза может обновиться весь кислород атмосферы. В целом же шачение процесса фотосинтеза настолько многогранно, что ему нужно посвящать специальные монографии. Поэтому здесь лишь Кратко рассмотрим основные, с точки зрения экологической геохимии, последствия этого, вероятно, уникального в природе яв-11СНИЯ.

• Живыми организмами в процессе их жизнедеятельности при фотосинтезе из $C0_2$ (газ) и H_20 (жидкость) синтезируются сложнейшие органические соединения (условно твердые тела) и 0_2 (газ). В пределах биосферы реакция фотосинтеза идет непрерывно, и в гечение года в ней участвуют громадные количества исходных и конечных веществ, составляющие тысячи миллиардов тонн.

• Образующиеся при фотосинтезе органические вещества представляют собой не только сложные химические соединения, они являются живым веществом планеты, резко отличным от всех других форм нахождения химических элементов на Земле. Для них характерны специфические свойства, рассмотренные в 3.8.2.

• В составе синтезирующихся органических веществ кроме углерода, водорода и кислорода находятся, правда, в резко различных концентрациях, все элементы земной коры. Они участвуют в биологическом круговороте атомов.

• В.И. Вернадский назвал выделяющийся при фотосинтезе свободный кислород самым могучим деятелем на Земле. Он определяет своеобразные условия биосферы, аналогов которым на других космических телах пока не установлено.

Перечисленные особенности и последствия процесса фотосинтеза представляются в виде одного из важнейших эколого-геохимических законов. По предложению А.И. Перельмана он назван *законом Вернадского:*

миграция химических элементов в биосфере происходит при непосредственном участии живого вещества, или же она протекает в среде, геохимические особенности которой обусловлены живым веществом, существовавшим и существующим **в биосфере со времени ее образования.**

Выделяется еще ряд аспектов, связанных с фотосинтезом и не объединяемых законом Вернадского.

• Образующиеся органические вещества (т.е. С, О, Н) становятся геохимическим аккумулятором солнечной энергии. Часть их, переходя в осадочные породы, сохраняется миллион лет. Их общая масса, по данным Э. Дегенса (1965), составляет около $3{,}8 \cdot 10^{15}$ т. Из нее на уголь приходится около 1/500, на нефть — 1/16 000, а подавляющее количество находится в тонкорассеянном состоянии.

• Процесс фотосинтеза можно представить и как начало создания огромного разнообразия органических соединений, в том числе организмами, не способными синтезировать их из $C0_2$ и H_20. При этом, как отмечает А.И. Перельман (1989), не только возрастает информация, но и возникает ее более сложный вид — биологическая информация.

Химические элементы в растениях. Выше уже говорилось, что в растениях помимо С, О и Н содержатся все химические элементы земной коры (см. разд. 3.9 и 4.3). В подавляющем большинстве их концентрация меньше $1 \cdot 10^{-2}$%, а содержание многих элементов в ряде растений не превышает уровня чувствительности используемых анализов. Можно выделить три основных фактора, определяющих концентрацию химических элементов в растениях.

1. Концентрация химических элементов во многом определяется видом растения. Очень многие ученые, в их числе и В.И. Вернадский, уделяли этому фактору очень большое внимание. Предполагалось использовать химический состав растений даже как классификационный признак.

2. На содержание в растениях целого ряда элементов (в первую очередь металлов: Pb, Cu, Zn, Mo и др.) не меньшее влияние, чем видовые отличия, оказывают геохимические (ландшафтно-геохимические) условия произрастания. При этом особая роль принадлежит почвам. Так как основная часть минеральных веществ поступает через корни, то избыток или недостаток определенных элементов в почве сказывается на их содержании в растениях. На данной закономерности основан биогеохимический метод поисков: по содержанию элементов в растениях определяют участки с высокой концентрацией элементов в почвах и подстилающих их горных породах, т.е. ищут месторождения различных полезных ископаемых. Довольно широкое применение указанного метода позволило получить много данных о концентрациях элементов в

растениях (в основном в их надземной части) в зависимости от содержания этих элементов в почвах.

3. Содержание в растениях целого ряда элементов определяется закономерностями связи между элементами (В.А.Алексеенко, 1969). В некоторых ландшафтно-геохимических условиях (например, если в питательной среде возникнет избыток или недостаток определенных химических элементов) в растения попадает большее или меньшее, по сравнению с нормальным, количество этих же элементов. В результате нарушаются обычные связи между элементами в организме. Это приводит к тому, что в растении изменяется, и весьма существенно, концентрация других элементов. Их содержание в питающей среде при этом обычно остается прежним (подробнее см. гл. 6).

Основное количество химических элементов поступает в большинство растений, произрастающих на суше, в виде водных растворов через корни. Из атмосферы поглощается сравнительно мало веществ (исключение - $C0_2$). Очень показательным примером этого является поступление азота: растения буквально купаются в атмосферном азоте, а его подавляющая часть поступает в них через корневую систему, только предварительно «пройдя» через почвенные бактерии.

Скорость накопления растениями химических элементов, загрязняющих определенные зоны, зависит и от размера загрязняющих частиц. Это еще раз было подтверждено последствиями чернобыльской катастрофы. В тех районах, куда радионуклиды попадали в виде тонкой пыли, они накапливались растениями гораздо активнее, чем в зонах поражения более крупными обломками.

Существенно повышенные концентрации определенных химических элементов на отдельных участках в биосфере привели к тому что в процессе эволюции некоторые растения стали произрастать только при высоких содержаниях этих элементов. Такие растения получили название растений-индикаторов. Среди них выделяются универсальные и локальные. Первые произрастают исключительно в районах с повышенным содержанием конкретного элемента. Вторые (локальные) часто широко распространены и только в отдельных районах, при определенных ландшафтно-геохимических условиях становятся индикаторами повышенных концентраций химических элементов, т.е. индикаторами загрязнения окружающей среды (табл. 3.10).

Поступив в растение, химические элементы переходят, по принятым классификациям, в биогенную форму нахождения. Од-

Таблица 3.10

Растения–индикаторы (с использованием данных В.Кэннон, 1960)

Элемент (соединение)	Универсальный (У) или локальный (Л) индикатор	Семейство	Род и вид	Местное название	Местонахождение
1	2	3	4	5	6
Битумы	Л	Маревые	Anabasis salsa		Район Каспийского моря
	Л	«	Salsola spp.	Солянка (Saltuort)	То же
	Л	Лилейные	Allium sp.	Лук (Onion)	Калифорния
Бор	Л	Маревые	Solsola nitraria	Солянка (Saltuort)	СССР
	Л	«	Hurotia ceratiodes	Эуортия, тереск (Winter fat)	«
	Л	Свинчатковые	Limonium suffruticasum	Кермек (Statics)	«
Медь	У	Гвоздичные	Gypsophila putrini	Качим (Kachim)	«
	Л	«	Polycarpca spirostulis	Гвоздика (Pink)	Австралия
	У	«	Acrocephalus raberti	–	«
	Л	«	Elsholtzia haichowensis	Эльшольция (Elsholtzia)	Китай
	У	Мохообразные	Latifolia	Медный мох (Copper moss)	Швеция; Монтана, США
	Л	Маковые	Mexicana	Калифорнийский мак, эльшольция (Calif pappy)	Аризона, США
	Л	Свинчатковые	Armeria maretima	Армерия (Thrift)	Шотландия
Гипс	Л	Гречишные	Eriogonum inflatum	Эриотонум (Desert trumpet)	Запад США
	Л	Лоазовые	Mentzeliu spp.	Лиартрис (Blazing Star)	«

Окончание табл. 3.10

1	2	3	4	5	6
Железо	Л	Березовые	Betula sp.	Береза (Bireh)	
	Л	Зверобойные	Clusia rosea	Клюзия (Copey clusia)	Венесуэла
Свинец	Л	Злаковые	Erianthus giganteus	Бородач (Beardgross)	Испания
Селен	У	Бобовые	Astragalus bisuleatus	Вика ядовитая (Poison vetch)	Запад США
	У	«	Astragalus racemosus	Вика ядовитая (Poison vetch)	«
	У	«	Astragalus pectinatus	«	«
	У	Сложноцветные	Donopsis	Сорняк золотой (Goldenweed)	«
	У	«	Aster venustus	Астра деревянистая (Woody aster)	«
Селен и уран	У	Крестоцветные	Stanleya	Слива (Princeplum)	«
	У	Бобовые	Astragalus racemosus	Вика ядовитая (Poison vetch)	«
	Л	«	Astragalus preussi	То же	«
	Л	«	Astragalus sp	Габанцилло (Garbancillo)	Анды
Серебро	Л	Гречишные	Eriogonum ovalifolium	Эриогнум (Eriognum)	Монтана, США
Цинк	У	Фиалковые	Viola calamineria (luteria)	Галмейная фиалка (Zink violet)	Бельгия
	Л	Камнеломковые	Philadelphus sp.	Чубушник (Mock orange)	Вашингтон, США
Кобальт и медь	Л		Alvissum biovulatum	Бурачок двусемянной	СССР, Тува
	Л		Spirea+ Cotoneaster	Таволга и волчья ягода	«

нако эта форма очень сложна и совершенно неоднородна. Она состоит как бы из многих других форм, объединяемых одним живым организмом в единое целое.

Основу биогенной формы нахождения составляют атомы, образующие самые разнообразные органические соединения. Часть атомов (в том числе и газов) находится в растениях в виде растворов (считается, что непрерывно происходящее в растениях перемещение веществ связано в основном с растворами), а часть — в минеральной форме. Наиболее часто исследователи отмечают в высших растениях наличие $CaCO_3$ и $Si0_2 \cdot aq$. Присутствие опала позволяет предполагать существование в растениях коллоидных растворов.

Растения по особенностям поглощения определенных химических элементов можно разделить на концентраторы и деконцентраторы. В первых данный химический элемент всегда находится в повышенных концентрациях (по сравнению с обычными растениями иногда до 100 раз), а во вторых — в пониженных.

Поступление в растения (в обычные, а не концентраторы) повышенных количеств определенных элементов довольно часто вызывает ряд физиологических и морфологических изменений. Они настолько характерны, что могут служить индикаторами загрязнения окружающей среды (табл. 3.11).

После отмирания часть высших растений становится основой для образования углей. Они являются не только своеобразными аккумуляторами солнечной энергии, но концентрируют целый ряд химических элементов. К ним в первую очередь относятся Si, Fe, Al. Довольно часто в золе углей содержание Fe_20_3 превосходит 20%, $A1_20_3$ — 40, а CaO — 50%. Постоянно в повышенных концентрациях встречаются Hg, F, As, U, Sc, Se, Be, Y и другие элементы, в числе которых многие лантаноиды. Часто эти элементы (например, U, Ge) становятся более ценным ископаемым, чем вмещающий их уголь. Однако при неразумном использовании углей они могут стать опаснейшими загрязняющими веществами. Об этом заставляет задуматься и общее количество минеральных компонентов, содержащихся в углях. Расчеты позволяют считать, что с энергетическими углями ежегодно из недр добывается более 700 млн т минеральных примесей. После сжигания углей они составляют значительную часть золы, а ее на крупных тепловых электростанциях скопилось десятки миллионов тонн.

Сжигание угля, как правило, приводит к загрязнению ландшафтов многими элементами. Они поступают как с дымом через атмосферу, так и при развеивании уже упоминавшейся золы из зо-

Таблица 3.11

Физиологические и морфологические изменения растений, обусловленные токсичностью металлов

Элемент	Признаки
Al	Короткие шишковатые корни, покоробленные листья, пятнистость.
B	Темная листва; при высокой концентрации бора более старые листья покоробленны по краям; задержание в росте, деформированные, укороченные междоузлия; ползучие формы; сильное опушение; усиленное галлообразование*.
Cr	Желтые листья с зелеными прожилками.
Co	Белые омертвевшие пятна на листьях.
Cu	Омертвевшие пятна на кончиках нижних листьев; багровые стебли, хлорозные листья с зелеными прожилками; задержанные в росте корни; у некоторых видов ползучие бесплодные формы.
Fe	Задержание в росте верхушки, утолщенные корни; у водорослей – образование сильно увеличенных клеток в результате нарушения их деления.
Mn	Хлорозные листья, пораженные стебли и черешки, скрученные и сухие участки по краям листьев, деформация пластинки листа.
Mo	Задержка в росте, желто-оранжевая окраска.
Ni	Белые омертвевшие пятна на листьях; безлепестные бесплодные формы.
U	Аномальное число хромосом в ядре; плоды необычной формы; безлепестные бесплодные формы; собранные в розетку листья.
Zn	Хлорозные листья с зелеными прожилками; белые карликовые формы; омертвевшие пятна на кончиках листьев; задержание в росте корня.

* Галлы – патологические новообразования на некоторых (главным образом молодых) частях растений.

лоотстойников. Исследования показывают, что ТЭЦ, сжигающая 500 т угля в сутки, за год выбрасывает в атмосферу только с дымом: As — около 20 т, F — 13 т, V — 37 т, Be — 1 т, РЬ — 21 т, Ni — 10 т. При этом максимально проявляются их токсичные свойства. Это связано с тем, что загрязняющие вещества через атмосферу попадают в легкие, а из них — непосредственно в кровь животных организмов, включая человека.

Распределение элементов в разных пластах и даже в отдельных блоках одного месторождения отличается большой неравномерностью. Так, на ряде шахт Украины* в зонах размыва пластов было отмечено резкое повышение концентраций Ge — до 10 г/т, Ga — до 20 г/т, Ti — до 2000 г/т. Эти концентрации в несколько раз (и даже порядков) превышают средние.

Разногласия у исследователей вызывает механизм концентрации многих химических элементов в углях. Наиболее часто предполагаются три модели этого процесса: 1 — накопление происходило еще в живых организмах; 2 — элементы концентрировались в период образования и преобразования осадков; 3 — накопление происходило в уже сформировавшихся углях, которые по многим геохимическим особенностям резко отличаются от вмещающих их пород и вызывают осаждение перечисленных элементов из просачивающихся растворов. Несомненно, что все три модели отвечают природным процессам, значение же любой из них может меняться в каждом конкретном случае.

В ряде водорослей диатомей (Diatomeae) концентрируется $Si0_2$. Современные диатомовые илы, широко распространенные в северной части Тихого океана и как бы окаймляющие Антарктиду, состоят на 95% из кремниевых панцирей водорослей. Крупные скопления остатков древних диатомей, имеющих промышленную ценность, выявлены начиная с верхнего мела.

Многие водоросли концентрируют $CaCO_3$, а багрянки (Rhodophyceae) играют даже определяющую роль в формировании верхних частей (до глубин 11м) современных коралловых рифов. Некоторые водоросли концентрируют Al. Так, содержание Al_20_3 в золе багряных водорослей делессерина превышает 2%. Широко известно накопление водорослями йода (J).

Биологические особенности организмов и, в частности, основные компоненты органических тканей определяют состав минеральной части растений. Например, для целлюлозы и пектинов характерно образование по стенкам клетки в растениях кальцита ($CaC0_3$). Многие элементы, в том числе и тяжелые металлы, выполняя определенную биологическую роль в жизни растений, находятся в них в довольно высоких концентрациях.

3.8.7. Грибы

В отличие от растений грибы не способны самостоятельно синтезировать вещество. Можно считать, что их биосферной функцией является разложение отмерших органических веществ. По мнению многих исследователей, в этом процессе грибам, а не бактериям принадлежат первые роли.

Значительное количество химических элементов грибы получают из почвенных растворов. Среди грибов также встречаются концентраторы. К числу грибов-концентраторов обычно относятся мас-

пита, подберезовики, лисички — в них всегда повышено содержание Zn.

В зонах техногенного загрязнения в грибах отмечается повышенная концентрация целого ряда тяжелых металлов. С этим явлением многие связывают отравление людей обычно съедобными грибами. Однако конкретные ядовитые соединения в этих случаях пока не выявлены.

Грибы отличаются устойчивостью к неблагоприятным условиям среды обитания. Во льдах Антарктиды их споры были обнаружены на глубинах свыше 300 м. Считается, что они находятся там (юлее 12 тыс. лет. При этом они не утратили жизнеспособности. Жизнеспособные споры грибов были обнаружены в верхних слоях атмосферы.

3.8.8. Животные

Так же, как и растения, животные участвуют в биологическом круговороте элементов. Хотя их масса значительно меньше, чем у растений, они выполняют свою функцию в этом процессе. Среди животных выделяются одноклеточные (простейшие) и многоклеточные.

Одноклеточные животные. Существование большинства из них связано с водной средой. Они питаются в основном бактериями и одноклеточными водорослями. Есть также одноклеточные животные-паразиты. Их средой обитания являются другие живые организмы.

Особое значение в процессах выборочной концентрации элементов имеют морские простейшие, концентрирующие в наружном скелете определенные элементы. Так, скелет ряда фораминифер состоит из $CaC0_3$, большинства радиолярий — из $Si0_2$, а радиолярий отряда Acantharia — из $SrS0_4$. Sr-скелетные организмы получили довольно широкое развитие в верхнем мелу, который, по И.И. Боку (1970), можно считать металлогенической эпохой для Sr.

В организме корненожек ксенофиофора содержатся мелкие тельца — гранеллы, состоящие из $BaS0_4$. На основании изучения отложений верхней юры европейской части страны ряд исследователей считает, что в этот период существовали организмы с баритовым скелетом. Вообще же за счет скелета простейших организмов класса Rhizopoda формировались мощные толщи известняков: в карбоне — фузулиновые, в эоцене — нуммулитовые. В основном за счет фораминифер формируется современный оке-

анический глобигериновый ил, покрывающий не менее четвертой части поверхности Земли. На глубинах свыше 4000 м он сменяется кремнистым радиоляриевым илом. Это связано с тем, что фораминиферы растворяются, проходя толщу воды свыше 4 км.

Таким образом, во многом благодаря одноклеточным животным поддерживается определенная концентрация ряда соединений в Мировом океане, а также концентрируются миллиарды тонн $CaC0_3$ и $Si0_2$.

Многоклеточные животные. В этой группе объединено свыше 1,3 млн различных видов, из которых свыше 1 млн относится к насекомым. С точки зрения экологической геохимии можно выделить несколько основных функций, выполняемых животными:

• Переводят растительную органику в рассеянное состояние, животные транспортируют ее не только на большие расстояния, но и в направлениях, противоположных поверхностному и подземному стокам. При этом создаются благоприятные условия для развития следующих поколений растительности. А.В. Лапо писал в 1987 г.: «Если бы многоклеточные животные вдруг исчезли из биосферы, жизнь стала бы возможной только в непосредственной близости от водоемов».

Особо надо отметить, что животными транспортируется редуктивное вещество — пыльца, споры, семена растений. Кроме того, 87% современных цветковых растений опыляется насекомыми.

• Потребляя первичное и вторичное органическое вещество, животные возвращают его в биосферу в форме соединений, наиболее благоприятных для усвоения автотрофами.

• Животные участвуют в процессе стабилизации подвижного равновесия в биосфере, не допуская «перепроизводства» отмершей и неразложившейся органики. Вмешательство человека в эту функцию (например, уничтожение животных-хищников) практически всегда имеет отрицательные последствия.

• Многоклеточные животные в процессе жизнедеятельности формируют среду своего обитания. Происходит это за счет преимущественного поглощения определенных элементов и выделения продуктов метаболизма. Особо наглядным примером этой функции животных является жизнедеятельность фильтраторов в водных бассейнах.

• Чрезвычайно велико значение преимущественного поглощения многоклеточными животными определенных химических элементов, их концентрации и последующего отложения в определенных участках биосферы. Планетарное значение имеют оса-

lочные образования $CaC0_3$ и $Si0_2$, P_20_5, связанные со скелетами и пГюлочками морских животных.

• Так же, как и растения, животные являются аккумуляторами солнечной энергии и одним из первичных источников месторождений нефти и газа (концентрируются Н и С).

Химические элементы в животных. Все химические элементы, находящиеся в животных, относятся к биогенной форме. В основном они образуют разнообразные органические соединения, растворы и минералы. Наиболее долго ассоциации химических элементов, возникшие в животных, сохраняются, если они были в минеральной форме. Самыми распространенными минералами, находящимися в животных (в том числе и в человеке), являются: апатит (с общей формулой $Ca_5(P0_4,C0_3)_3(F,OH,Cl)$); карбонаты кальция (кальцит, арагонит и фатерит, имеющие общую формулу $CaC0_3$ и отличающиеся особенностями кристаллической структуры); многочисленные минеральные разновидности кремнезема ($Si0_2$); разнообразные соли мочевой, щавелевой, винной, холиеной и других органических кислот. У пчел, птиц, рыб, моллюсков выявлен магнетит (Fe_30_4). Довольно часто встречается курскит — $Ca_8[P0_4]_4[C0_3]F_2$, франколит $Ca_{10}[PO_4]_6(F_2,(OH)_2O)$.

Начало изучению минералов, находящихся в животных, т.е. начало развитию биоминералогии, было положено трудами В.И. Вернадского и Я.В. Самойлова. Этой проблеме посвящены последние исследования А.А. Кораго и первого президента Академии естественных наук РФ ДА. Минеева, а также работы американского ученого Х. Лоуэнштама, польского — М. Павликовского и др.

Обычно минеральная часть биоминералов разделяется органической и имеет концентрически-слоистое или радиально-лучистое строение (рис. 3.5 и 3.6). При этом размеры молекул органического вещества и чередующегося с ним минерального имеют близкие размеры (например, белок коллаген и апатит). С белком конхиолином в раковинах моллюсков связаны кальцит и арагонит. Центрами кристаллизации часто служат чужеродные образования или скопления органики (рис. 3.5, 3.6).

Необходимо отметить, что минеральные образования в животных организмах не являются чем-то обособленным от этого организма. Так, при начинающемся недостатке кальция он начинает переходить в кровь из костей; у крыс после 2—3-дневного пребывания в космосе зубная эмаль теряет 10—15% массы минерального вещества. В молодых организмах обычно преобладают аморфные минералы, которые со временем раскристаллизовываются. Это



Рис. 3.5. Уратный мочевой камень концентрически-слоистого строения (темное органическое вещество). На срезе камень похож на жемчужину. Микрофотография шлифа (увеличено в 10 раз)

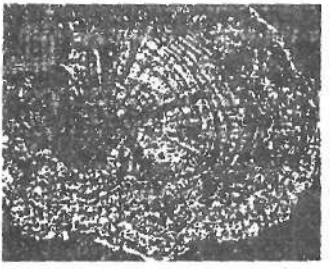


Рис. 3.6. Мочевой камень с радиально-лучистым строением (увеличено в 20 раз)

сказывается на скорости сращивания обломков костей при переломах: аморфный фосфат более мобилен в обменных процессах.

Все минералы в организмах можно разделить на физиогенные и патогенные. Роль и особенности формирования многих из них еще не выяснены, но вероятна (и уже частично стала реальностью) возможность их использования для диагностики и лечения многих заболеваний.

Кроме элементов, составляющих вышеперечисленные минералы, в толщах горных пород, сложенных остатками скелетных частей животных, повышены концентрации целого ряда так называемых элементов-примесей. Так, в известняках-ракушняках обычно присутствуют Si, Mg, Al, Fe, S, P. В карбонатах Восточного Казахстана, Латвии и Эстонии повышено содержание РЬ; часты в органических известняках повышенные концентрации Си и Zn. Вызывают спор способ и время поступления тяжелых металлов в эти породы: были они еще в живых организмах или попали на различных стадиях преобразования биогенных минералов и органического вещества умерших животных.

Фосфатно-кальциевые органогенные осадочные накопления, как правило, обогащены Sr, Mn, Na, Ce и другими лантаноидами, U, Pb, Th, S, As, Se.

3.9. Состояние рассеяния

3.9.1. Общие сведения; закон всеобщего рассеяния

В.И. Вернадский, выступая в 1909 г. на XII съезде русских естествоиспытателей и врачей, говорил: «В каждой капле и пылин-

ке вещества на земной поверхности, по мере увеличения тонкости наших исследований, мы открываем все новые и новые элементы. Получается впечатление микрокосмического характера их рассеяния. В песчинке или капле, как в микрокосмосе, отражается общий состав космоса. В ней могут быть найдены все те элементы, какие наблюдаются на земном шаре» (Избр. соч. М., 1954. Т. 1).

Десятилетия, прошедшие после этого выступления, подтвердили гениальное предсказание Вернадского, а первые сводки о количественном распространении химических элементов в земной коре были сделаны Ф.У. Кларком. В память об этих работах двух великих ученых Н.И. Сафронов, один из основоположников учения о поисках месторождения полезных ископаемых геохимическими методами, предложил закон о всеобщем рассеянии химических элементов именовать законом Вернадского-Кларка. Применительно к учению о биосфере его можно сформулировать так:

в любом природном объекте земли содержатся все химические элементы, находящиеся в ее коре.

Речь может идти только о недостаточной чувствительности анализов, используемых для выявления элементов, находящихся в очень малых концентрациях. Ряд исследователей считает, что пределом рассеяния можно считать концентрацию, соответствующую одному атому в 1 см вещества.

3.9.2. Состояние рассеяния и антропогенная деятельность

Необходимость учитывать закон Вернадского—Кларка стала появляться только в самое последнее время. Это обуславливается в первую очередь резким увеличением чувствительности ряда анализов (эмиссионный спектральный, атомно-абсорбционный, рентгенорадиометрический и др.). Рассмотрим некоторые примеры использования закона.

В ряде работ прошлых лет для разделения отдельных природных объектов и даже для выделения геохимических аномалий использовалось такое понятие, как процент обнаруживания определенного химического элемента. Он представляет собой процент проб, в которых этот элемент выявлен при данном методе анализа в общей совокупности проб, подвергшихся анализу. Естественно, что по такому показателю очень часто нельзя проводить никакого разделения анализируемых природных объектов (в отдельных случа-

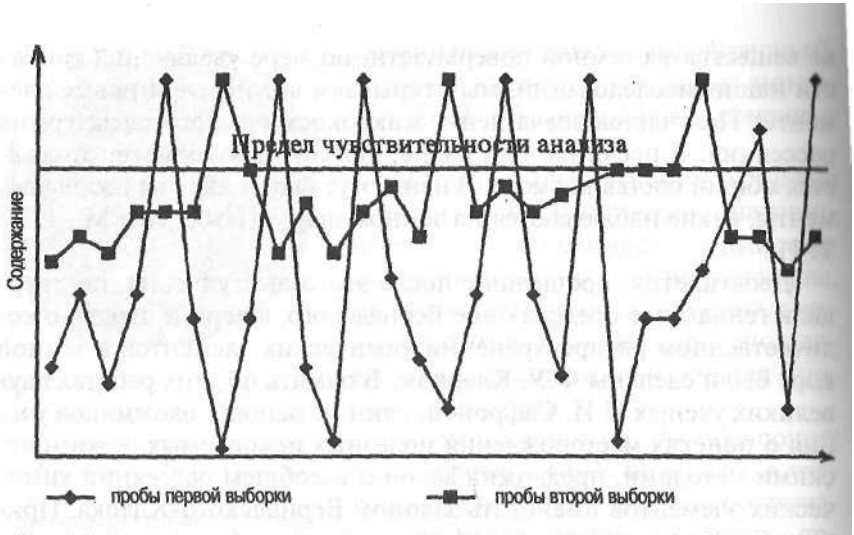


Рис. 3.7. Влияние предела чувствительности анализа на процент обнаружения элемента

ях можно говорить об изменении дисперсии); тем более нельзя выделять геохимические аномалии. С увеличением чувствительности анализа рассматриваемый элемент будет выявлен во всех пробах. При этом его фоновое содержание в объектах с меньшим процентом обнаруживания может быть выше, чем в объекте с большим процентом обнаруживания (рис. 3.7).

Исходя из закона Вернадского-Кларка, можно сделать один из важнейших для экологии выводов:

все живые организмы в процессе своего развития и эволюции существовали в условиях, определяемых наличием всех химических элементов, находящихся в земной коре.

Естественно, что концентрация различных элементов в среде обитания этих организмов могла колебаться в широких пределах (см. гл. 4). В этих условиях организмы, живущие в конкретных регионах, «привыкали», порой на протяжении миллиона лет, к определенным концентрациям, а также формам нахождения химических элементов в окружающей их среде. Однако при этом не было элементов «полезных» и «бесполезных». Для нормального развития организмов нужны все элементы. Вопрос может только стоять о их необходимых и вредных концентрациях.

Следует отметить, что отрицательное воздействие на развитие организмов может оказать как очень высокое, так и очень низкое

i.щоржание практически каждого химического элемента. Для элементов наиболее распространенных в земной коре, такие пределы содержаний уже установлены. Однако надо отметить, что использовать их можно лишь как очень приблизительные показатели которые в конкретных регионах и для определенных организмов могут существенно изменяться. Чрезвычайно большое значение имеют и формы нахождения этих элементов.

С проникновением человека, а вместе с ним и большого ряда организмов в космос и широким использованием различных . мюрхчистых» веществ техногенного происхождения людям чаще придется вспоминать о законе всеобщего рассеяния химических элементов и связанных с ним последствиях.

3.10. Техногенные соединения

3.10.1. Общие сведения

Термин «техногенез» начал применяться после работ А.Е. Ферсмана в 1922 г., хотя геохимические последствия деятельности людей стали проявляться еще много столетий тому назад. Однако значимость этих последствий резко возросла только в XX в. Об этом можно судить по следующим данным В.И. Вернадского: в античном мире люди использовали только 19 элементов, в XVI11 в. - 28 в XIX в. - 50, а в начале XX в. - 60. В последние десятилетия как считает Перельман, стали использовать не только все 89 известных химических элементов, имеющихся в земной коре, но и искусственные радиоактивные элементы.

Годовая добыча минерального сырья, включая каустобиолиты, составляет около 100 млрд т. При этом из руд выплавляют металлы перерабатывается почти вся нефть и довольно большое количество угля и газа. Большинство продуктов переработки минерального сырья представляют собой соединения химических элементов которые или не образуются в результате природных процессов' или не встречаются в тех частях биосферы, в которые они попадают в результате антропогенной деятельности. В связи с этим их поведение и в биосфере в целом, и в конкретных ландшафтно-геохимических условиях отличается от поведения природных соединений. Так, некоторые из них даже практически не попадают в биологический круговорот элементов; к ним, например, относятся фреоны.

Однако все рассматриваемые соединения и самородные металлы техногенного происхождения, попадая техногенным путем в биосферу, в дальнейшем начинают подчиняться основным законам миграции и концентрации, действующим в этой сфере. Следует также отметить, что, попав в биосферу, техногенные соединения, не имеющие природных аналогов, начинают оказывать своеобразное воздействие на живые организмы. Все последствия мы, к сожалению, пока еще не знаем.

Так как производство таких соединений непрерывно и очень быстро возрастает, как по общей массе, так и по видовому разнообразию, то возрастает и их воздействие на организмы. Не учитывать геохимическую (биогеохимическую) роль техногенных соединений становится невозможно. Именно поэтому автор в 1989 г. выделил их как самостоятельную форму нахождения химических элементов в земной коре.

Громадное количество различных техногенных соединений, не имеющих природных аналогов, не позволяет рассмотреть не только их свойства и особенности поведения в биосфере, но даже перечислить все эти соединения. Здесь кратко рассмотрим только основные группы таких соединений с их наиболее характерными представителями.

3.10.2. Техногенные соединения и антропогенные процессы

Антропогенные процессы, связанные с производством и использованием техногенных соединений, особенно не имеющих природных аналогов, очень часто приводят к непланируемым изменениям эколого-геохимической обстановки. Таких не ожидаемых изменений может быть очень много, и в большинстве своем они, к сожалению, ухудшают условия существования современных организмов, включая человека. Для того чтобы, наконец, решить, нужно ли производить и использовать во все возрастающих объемах техногенные соединения, не имеющие природных аналогов, рассмотрим хотя бы наиболее существенные последствия, сопровождающие антропогенные процессы, связанные с этой формой нахождения химических элементов.

Производство техногенных соединений. Для производства техногенных соединений необходима энергия. В подавляющем большинстве случаев ее источником являются невозобновляющиеся уголь, нефть, газ. Нефть служит также и сырьем для органического **син-**

rem. (Как известно, около 90% всего сырья для этих целей полумют из нефти.) Таким образом, мы используем те драгоценные И, следует еще раз подчеркнуть, невозобновляемые ресурсы, которые были накоплены за миллиарды лет и принадлежат не только нам, но и нашим потомкам.

В состав рассматриваемых соединений входят многие химические элементы, добываемые из руд. Особо надо отметить метаний, которые в самородном состоянии и в виде различных сплаiioB сами относятся к рассматриваемой форме нахождения, а также составляют основу оборудования, используемого при производстве техногенных соединений. Древние горные выработки, пройцснные тысячелетия назад с помощью каменных молотков, до сих пор видны даже на аэро- и космоснимках. Можно представить, как долго сохранятся на Земле «рубцы» от современных карьеров, шахт, отвалов.

Процесс производства техногенных соединений сопровождается «стандартным» загрязнением ландшафтов, расположенных вблизи предприятий. При этом общий набор загрязняющих элементов определяется уровнем развития науки и техники на период производства техногенных соединений (В.А. Алексеенко, 1992, 1994). К этому следует добавить загрязнение, связанное с катастрофами, авариями и складированием отходов предприятий, производящих техногенные соединения. Так, в 1984 г. произошла авария в Бхопале (Индия) на заводе, производящем пестициды. В атмосферу попал метилозоцианат $CH_3—N=C=0$, который привел к гибели 2500 человек. Сколько при этом погибло других организмов, не установлено.

В 1976 г. в итальянском городе Севезо при взрыве на химическом заводе диоксином была отравлена площадь 16 км^2. Результатом явилось отравление детей, рождение детей-уродов, тысячи голов отравленного скота и бесплодная на несколько лет земля.

Известны во всем мире многочисленные случаи распространения токсичных соединений от зон складирования. Но особое внимание следует уделять возможностям соединения различных веществ, иногда слаботоксичных в отдельности, с образованием новых особо токсичных соединений. На свалке завода химических удобрений в Чапаевске накопились десятки тысяч тонн хлорфенолов и тысячи тонн гексахлорциклогексана (малотоксичные изомеры). После сброса в них щелочей возник «диоксиновый реактор» и содержание особо токсичных диоксинов стало катастрофическим. Они были выявлены даже в артезианских питьевых во-

дах района. А химические предприятия Уфы довели в 1965 г. содержание диоксина в реке Уфе до концентрации, в 147 000 раз превышающей санитарную норму. Число подобных примеров очень велико.

Использование техногенных соединений, не имеющих природных аналогов. Металлы являются первыми техногенными веществами, не характерными для биосферы. Человечество тратит огромное количество энергии для того, чтобы из различных соединений получить Fe, Al, Mg, Ti, Cu, Pb, Zn, Ni, Cr, Co, W и другие металлы и их сплавы. Практически все они неустойчивы в условиях биосферы, и необходимы дополнительные затраты на их сохранение в свободном состоянии. А.Е.Ферсман писал, что ни в одной системе космоса мы не встречаемся с подобным направлением реакций. И все же из-за коррозии, износа деталей и механизмов теряются миллиарды тонн металла. Собственно они никуда не теряются, они попадают и рассеиваются в биосфере. Можно уверенно говорить о происходящей в настоящее время «металлизации биосферы». При этом начинают исчезать природные геохимические различия между отдельными регионами. Происходит техногенное выравнивание значений местных кларков. Окончательный эффект этого процесса пока не ясен. Но резкое техногенное увеличение концентрации многих металлов на больших площадях целых регионов (примерами могут служить Краснодарский край и Ростовская область) не способствуют оздоровлению эколого-геохимической обстановки и улучшению условий существования организмов, включая человека. Особо опасны аномалии тяжелых металлов в городах. В их почвах и растениях концентрация металлов в сотни и тысячи раз превосходит природную.

Широкое применение различных пестицидов приводит к существенному нарушению соотношений между различными растительными и животными организмами, установившихся за миллионы лет. Последствия этого явления для развития жизни на Земле в целом пока совершенно не ясны.

Использование инсектицидов не дает даже желаемого результата. Скорость размножения большинства вредителей, против которых их применяют, гораздо больше, чем у человека. Это в конечном результате приводит к тому, что к инсектицидам вредители привыкают, а продолжительность жизни людей, в чьи организмы инсектициды также попадают, уменьшается; у людей появляются новые заболевания.

Проблема утилизации техногенных соединений, не имеющих природных аналогов. Многие из этих соединений создаются не специально, а являются побочными продуктами при различных про и июдственных процессах. Но и для них проблемы складирования, і тем более утилизации, являются чрезвычайно важными, потому что некоторые из соединений токсичны или становятся такими, вступая в реакции с другими веществами.

Особое значение имеет проблема утилизации веществ, очень медленно разлагающихся в условиях биосферы. Это относится к различным пластмассам, диоксинам, синтетическим волокнам, фреонам и т.д. Учитывая опыт других стран, стоит задуматься, следует ли создавать многие пестициды, красивые и трудно разлагающиеся упаковки для различных товаров и иные соединения во пред развития живых организмов, включая в конечном счете человека.

3.10.3. Характеристика ряда распространенных техногенных соединений, не имеющих природных аналогов

Органические галогеносодержащие соединения. Вообще органические соединения довольно распространены в природе. Их число во много раз превышает число природных неорганических соединений, составляющих минеральную форму нахождения химических элементов, и достигает нескольких сотен тысяч. Быстрое развитие химии и химического производства привело к созданию многочисленных органических соединений, ранее не существовавших в природе. Подсчитано, что их общее число за последнее столетие приблизилось к 7 млн.

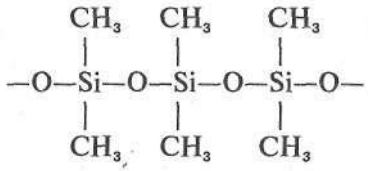
Особое место среди техногенных органических соединений занимают галогеносодержащие (преимущественно хлорсодержащие). Реже синтезируются бром- и йодсодержащие органические соединения. Большинство из них весьма существенно отличаются друг от друга по свойствам, способам получения, распространенности, способам использования и утилизации. Среди них есть растворители, отравляющие вещества, различные средства химической обработки растений, хладагенты и т.д. Кратко рассмотрим часть их представителей.

Довольно большая группа техногенных соединений объединяется в *галогеналканы*. (Алканы — общее название предельных углеводородов по Женевской номенклатуре.) К ним относятся ме-

тилхлорид, дихлорметан, хлороформ, соединенрш, объединяемые под названием фреоны, и многие другие.

Метилхлорид CH_3Cl представляет собой жидкость, кипящую при —27,3° С. Следовательно, в условиях биосферы это, как правило, газ. Он применяется в больших количествах для получения тетраметилсвинца [$(CH_3)_4$РЬ], который вместе с тетраэтилом свинца [$(CH_3CH_2)_4$РЬ] составляет основную добавку к бензину, используемому для двигателей внутреннего сгорания (в основном в автомобилях). Свинец из этих соединений после сгорания бензина с выхлопными газами поступает в виде аэрозолей в атмосферу. Именно он является одним из основных загрязнителей не только техногенных, но и природных ландшафтов.

Кроме того, метилхлорид используется для получения кремнийорганических соединений, к числу которых относится силиконовый каучук:



Это практически незаменимый материал, если требуется сохранение эластичных свойств в широком диапазоне температур (от -100 до +300° С).

Метилхлорид вместе с *дихлорметаном* (CH_2Cl_2) используется как растворитель, а также как хладагент в холодильных установках. При взаимодействии метилхлорида с водой образуются спирт и соляная кислота. Реакция эта обратима:

$$CH_3Cl + H_2O \rightarrow CH_3OH + HCl.$$

В качестве растворителя и для экстракции ряда веществ из растений (например, кофеина) используется *хлороформ* $CHCl_3$, представляющий собой жидкость, кипящую при 61,2° С. При действии света хлороформ окисляется кислородом воздуха, образуя Cl_2, HC1, $C0_2$ и $COCl_2$ (фосген) — удушающий газ, использовавшийся как отравляющее вещество в 1914—1918 гг. При взаимодействии с водой фосген образует угольную и соляную кислоты.

Вдыхание паров хлороформа приводит к потере сознания, поэтому его долгое время использовали в медицине как анестезирующее вещество, несмотря на токсичные свойства.

Четыреххлористый углерод $CC1_4$ используется как негорючий растворитель смол, жиров, каучука и других веществ. Он применяется также в специальных огнетушителях для тушения пожаров в лабораториях, книгохранилищах, на авиатранспорте. Однако поскольку при этом образуется уже упоминавшийся фосген, то такими огнетушителями можно пользоваться лишь в проветриваемых помещениях. В условиях биосферы $CC1_4$ представляет собой жидкость, кипящую при 76,5° С.

Широкое применение в технике и быту нашли фторпроизводные предельных углеводородов, особенно легкокипящие, в молекуле которых содержатся одновременно С1 и F. Такие соединения получили название *фреонов*. Наиболее распространенными из них являются *дифторхлорметан* CHF_2C1 и *дифтордихлорметан* CF_2C1_2. Они используются в холодильных агрегатах (от установок глубокого охлаждения до бытовых холодильников), в качестве пропеллентов (легко испаряющихся растворителей), как компоненты огнетушащих составов, для получения разнообразных аэрозолей и т.п. В условиях биосферы CHF_2—С1 и CF_2—$C1_2$ представляют собой газы, нетоксичные и негорючие, без цвета, запаха и вкуса. Несмотря на такие свойства фреонов, в 1987 г. в Монреале было заключено международное соглашение — Монреальский протокол — о постепенном ограничении и снижении производства фреонов на 50% по отношению к их производству в 1987 г. Чуть позже, в 1990 г., в Лондоне странами-участницами этого соглашения было принято решение к 2000 г. вообще прекратить производство фреонов, хотя их годовая потребность в это время составляла около 1 млн т.

Объясняется борьба с производством этих соединений, не имеющих аналогов в природе, катастрофическими для биосферы последствиями разложения. Фреоны, будучи инертными в большей части биосферы, попадая в верхние слои атмосферы, начинают разлагаться под действием жесткого ультрафиолетового излучения. При этом образуется молекулярный хлор. Он способствует фотохимическому разложению озона:

$$O_3 + Cl \rightarrow ClO + O_2;\ ClO + O \rightarrow Cl + O_2.$$

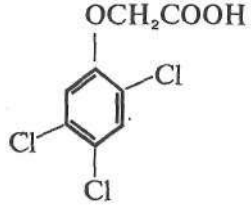
Считается, что в таких условиях атом хлора способен разрушить десятки тысяч молекул озона из озонового слоя. Уничтожение же этого слоя может привести к гибели существующей сейчас жизни на Земле. Следует особо отметить, что уже находящиеся сейчас в атмосфере десятки (сотни ?) тысяч тонн фреонов еще про-

должительное время будут разрушать озоновый слой. Способов предотвратить данный процесс техногенным путем пока нет.

Значительное число рассматриваемых техногенных соединений объединяется в группу *галагенопроизводных циклических органических соединений*. В нее входят и соединения, получившие общее название *пестициды*. Они представляют собой химические средства борьбы с различными вредителями, паразитами, определенными сорняками и болезнями растений. Число различных типов пестицидов уже исчисляется десятками, а их годовое производство составляет тысячи тонн.

Само слово пестициды происходит от латинских pestus (зараза) и caedo (убиваю). К пестицидам относятся гербициды (средства для борьбы с сорняками), инсектициды, акарициды, зооциды и другие (для уничтожения определенных вредителей), фунгициды (средства борьбы с заболеваниями растений, большей частью грибковыми), реппеленты (отпугивающие насекомых), аттрактаны (привлекающие насекомых), дефолианты (вызывающие опадание листьев), регуляторы роста и т.д.

Наибольшую известность получил дефолиант «оранжевый реагент» — 2-, 4-, 5-трихлорфеноксиуксусная кислота (2, 4, 5-Т). Его структурная формула имеет следующий вид:

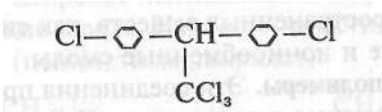


Данный препарат США использовали во время войны во Вьетнаме. До этого времени он, как и многие производные феноксиуксусной кислоты, считался практически безвредным для человека. Его использовали для укоренения черенков растений, опрыскивания завязей плодовых и огородных растений. При этом обычно отмечали «положительные эффекты» такого применения: больший урожай плодов, ускорение их созревания, получение плодов без косточек. Наряду с этим было замечено, что высокие концентрации этих соединений угнетают развитие растений, причем с изменением концентраций угнетающее воздействие проявляется выборочно к определенным растениям. Это привело к мысли использовать рассматриваемые соединения для так называемой «хи-

ми ческой прополки».

Всеобщее внимание из-за вызываемых последствий привлекцо одно из соединений этой группы — «оранжевый реагент». Черсз много лет после его применения Америкой в войне с Вьетнамом рождаются ненормальные дети, появилось много различных заболеваний, вызванных именно им. Может, следует задуматься и нам над «химической прополкой», плодами без косточек и Вообще над использованием рассматриваемых соединений?

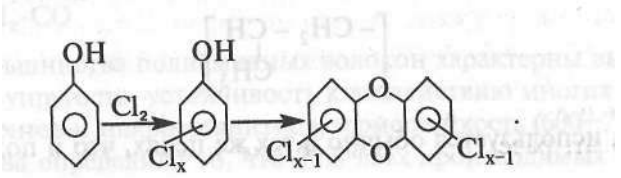
Из инсектицидов наибольшую известность получил препарат ДДТ:



Он же больше всего и использовался во всем мире. Но оказалось, что через несколько поколений появились насекомые, для которых он безвреден. Выявилась также его очень высокая степень токсичности для людей. В результате применение этого препарата в большинстве стран запрещено, но последствия, вероятно, будут сказываться еще на нескольких поколениях людей.

Как и для многих подобных соединений, для ДДТ характерно накопление по ходу пищевой цепи: если в воде его концентрация составляет всего миллиардные доли, то постепенно от планктона к рачкам, от рачков к рыбам, от рыб к бакланам концентрация возрастает в несколько тысяч раз. Так что даже очень малые концентрации ДДТ в почвах, водах и растениях становятся в итоге опасными не только для бакланов.

Особое место среди техногенных органических соединений занимают *фенолы* (C_6H_5OH). Их можно рассматривать как полупродукты при создании пластических масс, красителей, пикриновой кислоты и др. Вообще фенолы нельзя относить к соединениям, не имеющим природных аналогов. Они образуются в организмах в результате обычного обмена веществ. В виде солей они выводятся с мочой. Однако нынешнее загрязнение практически всех главных рек страны фенолами достигло таких величин, при которых начинается массовое образование *диоксинов:*



А даже ничтожные доли диоксинов вызывают кожные заболевания, некроз печени, нервные и сексуальные расстройства, снижают иммунитет человека к вирусным инфекциям, влияют на генетический аппарат.

Диоксины образуются и при сжигании отходов хлорорганических производств при температуре ниже 1200° С. Известен еще один путь образования диоксинов: изготовление по существующим технологиям *эпихлоргидрина* -CH_2-CH-CH_2-Cl предопределяет образование диоксина. Сам же эпихлоргидрин используется для создания таких распространенных веществ, как синтетический глицерин, эпоксидные и ионнообменные смолы.

Синтетические полимеры. Эти соединения представляют собой повторяющиеся атомные группировки. По особенностям строения они бывают линейные, разветвленные и сетчатые. Обычно их разделяют на три большие группы: каучуки, пластмассы, химические волокна.

Синтетические каучуки во многом подобны природным. Создавая из них различные резиновые изделия (около 60% идет на изготовление шин), приходится вводить многочисленные наполнители. Самым распространенным из них является углеродная сажа. Износ этих изделий, и в первую очередь автомобильных шин, приводит к образованию специфической *пъщтл.*. Наполнители могут делать ее более токсичной. В 1975 г. синтетических каучуков было произведено в 2 раза больше, чем натуральных — 6855 тыс. т. По прогнозу в 2000 г. их должно быть изготовлено 18 000 тыс. т.

Еще быстрее растет производство *пластмасс*. Рассмотрим некоторые из них. В 1933 г. в одной из английских лабораторий впервые был получен *полиэтилен* — $[-CH_2-CH_2-]_n$; сейчас его выпускают около 30 млн т в год. Обычно он используется в пленках, но полиэтилен высокой плотности (низкого давления), до 0,97 г/см^3, отличается большой жесткостью, и из него делают различные литые изделия (трубы, предметы бытового назначения и т.п.). Температура размягчения полиэтилена 100—130° С.

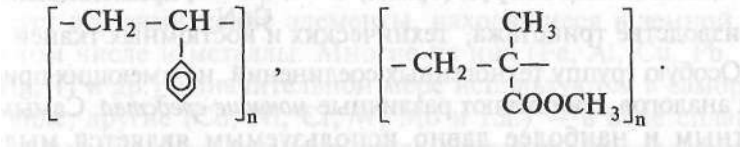
Пластмассой, имеющей бблыпую прочность и выше температуру размягчения (160—170° С), является *полипропилен*

$$\left[-CH_2-\underset{\displaystyle CH_3}{\overset{\displaystyle |}{CH}}\right]_n.$$

Он используется обычно в тех же целях, что и полиэтилен.

Широкое распространение в последние годы получил *поливинилхлорид* (ПВХ) $[-CH_2-\underset{Cl}{CH}-]_n$. Из него изготовляют покрытия для иолов, пленку, искусственную кожу, клеенки; используется он и как изоляционный материал в электротехнике. Производство П ВХ только в нашей стране составляет около 70 тыс. т в год.

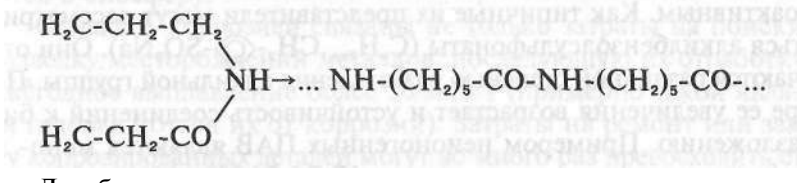
Для изготовления специальной химически инертной посуды используются фторированные полиэтилены. Наибольшую известность из них получил *тефлон* $[-CF_2-CF_2-]_n$, применяемый для покрытия кухонной посуды. Широкое использование в промышленности получили органические стекла. Наиболее известные из них полистирол и плексиглаз (полиметилметакрилат):



Они используются в различных приборах в самолетостроении, для изготовления бытовых изделий.

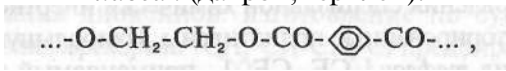
Особое место среди рассматриваемых соединений принадлежит искусственным и синтетическим волокнам. Первые образуются путем химической переработки природных веществ (чаще всего целлюлозы), а вторые — из специально синтезируемых волокнообразующих полимеров. Искусственные волокна появились в начале нынешнего века; с 1905 г. производится вискозный шелк, который можно рассматривать как несколько измененную целлюлозу. Несколько позже из ацетилцеллюлозы стали изготавливать ацетатный шелк.

Синтетические волокна начали производить в 30-е годы. Наибольшую известность из них получили *полиамидные.* К ним относится *капрон* (нейлон, перлон, дедерон, грилон), получаемый из капролактама:



Для большинства полиамидных волокон характерны высокая прочность, упругость, устойчивость к воздействию многих химических реагентов и микроорганизмов, термостойкость (600—700° С). Эти свойства определили то, что 30% всех производимых синте-

тических волокон приходится на долю полиамидных соединений. Их используют для изготовления бытовых тканей, парашютов, рыболовных сетей, высокопрочных шин и т.п. Однако около половины всех производимых синтетических волокон составляют *полиэфирные волокна*. Наиболее известный представитель этих соединений — *лавсан* (дакрон, терилен):



используемый для изготовления различных тканей, ремней, парусов, транспортных лент и т.д.

К синтетическим относятся и *полшкрилонитрилъные* волокна. В их число входит нитрон (орлон) •-CH_2-CH-...; применяемый при производстве трикотажа, технических и костюмных тканей.

Особую группу техногенных соединений, не имеющих природных аналогов, составляют различные *моющие средства*. Самым известным и наиболее давно используемым является мыло — $C_{17}H_{35}COONa$. Археологи считают, что производить его стали примерно 6 тыс. лет тому назад. Суть такого производства сводится к кипячению животного жира или растительного масла с гидроксидами натрия или калия. При этом на изготовление бруска мыла уходит около 250 г масла.

Более выгодным считается создание синтетических моющих средств. Для их производства используются не пищевые жиры, а продукты переработки нефти. (Хотя уместно вспомнить, что нефть, в отличие от жиров, относится к невосполнимым природным соединениям.) Начиная с 1970 г. синтетических моющих средств в мире выпускается больше, чем мыла. Их основой являются поверхностно-активные вещества (ПАВ). Годовое производство ПАВ уже превысило 4 млн т, при этом число видов этой группы техногенных соединений превышает 10 000.

Больше половины всех производимых ПАВ относится к анионоактивным. Как типичные их представители могут рассматриваться алкилбензолсульфонаты ($C_nH_{2n+1}CH_2$-^>-$S0_3Na$). Они отличаются различной степенью разветвления алкильной группы. По мере ее увеличения возрастает и устойчивость соединений к биоразложению. Примером неионогенных ПАВ являются моно- и диэфиры полиэтиленгликоля $[RCOO(CH_2\text{-}CH_20)_nH]$ и $[R\text{-}COO(CH_2\text{-}CH_20)_nCOR]$.

Необходимо отметить, что почти все используемые синтетические и моющие средства представляют собой гораздо более слож-

кые вещества, чем приведенные ПАВ. Так, в обычном стиральном порошке на долю ПАВ приходится всего около 20%. Примерно 30% составляют полифосфаты натрия и (или) калия. Они смягчают воду и повышают моющую способность большинства ПАВ. Часто в порошки добавляют различные ферменты, способствующие удалению белковых загрязнителей (крови, молока и т.п.), а также различные отбеливатели, антистатики и т.д.

Металлы в самородном состоянии и в виде смесей. Встречаются в земной коре, но для большей части биосферы они не характерны. Свободный кислород и вода способствуют их окислению и переходу в другие минеральные виды.

Как уже отмечалось, в настоящее время человечество использует все химические элементы, находящиеся в земной коре, в том числе и металлы. Многие из них (Fe, Al, Cu, Pb, Zn, Ag, Hg, Ti и др.) в значительной мере используются в самородном виде, другие (Co, Ni, Cr, W, Mo и т.д.) — в виде сплавов. При широком использовании металлов в самородном состоянии и сплавах главным образом учитываются их физические свойства, такие как твердость, тепло- и электропроводность, температура плавления, хрупкость, пластичность и др. Несколько реже принимаются во внимание химические свойства, при этом чаще всего на первое место ставится их устойчивость в условиях биосферы. Последнее становится вполне понятно, если напомнить, что человечество выплавило не менее 35 млрд т только сплавов железа. Их мировое содержание в настоящее время оценивается примерно в 10 млрд т. Основная часть разницы в этих цифрах связана с коррозией.

Под *коррозией* (от лат. «corrodere» — разъедать) понимается самопроизвольное разрушение металлических материалов, происходящее в биосфере под химическим воздействием окружающей среды. Окисленные (корродированные) металлы обычно возвращаются в биосферу.

Однако с коррозией связаны не только затраты на поиски и разведку месторождений металлов, последующую их отработку и ежегодное выплавление более 20 млн т (примерно такой является годовая потеря их от коррозии). Затраты на ремонт или замену коррозированных деталей могут во много раз превосходить стоимость составляющего их металла. С коррозией связаны и многие экологические катастрофы. К ним в первую очередь следует отнести утечку газов и нефти, различных техногенных растворов из трубопроводов и цистерн, порчу продуктов питания.

Для рассмотрения химизма процесса коррозии вспомним, что в природных водных растворах (исключая глеевую и сероводородную обстановки) содержится свободный кислород, а кроме того, существуют свободные ионы водорода, способные к восстановлению:

$$O_2 + 4H^+ + 4e \rightarrow 2H_2O;$$
$$2H^+ + 2e \rightarrow H_2.$$

Расчеты показывают, что в нейтральных растворах кислород может окислить те металлы, потенциал которых меньше 0,8 В. Это — Li^+, Rb^+, K^+, Cs^+, Ca^{2+}, Na^+, Mg^{2+}, Al^{3+}, Ti^{2+}, Mn^{2+}, Cr^{2+}, Zn^{2+}, Cr^{3+}, Fe^{2+}, Cd^{2+}, Co^{2+}, Ni^{2+}, Sn^{2+}, Pb^{2+}, Fe^{3+}, Bi^{3+}, Cu^{2+}, Cu^+, Hg^{2+}, Ag^+. Водород может окислить в этих же условиях металлы от Li^+ до Cd^{2+}.

Все сказанное позволяет считать, что вода со свободным кислородом является одним из основных агентов коррозии металлов. Именно такие воды являются преобладающими в биосфере. Не выходит за пределы биосферы и подавляющее число техногенных процессов с широким использованием металлов и их различных сплавов. А в итоге это приводит ко все возрастающему развитию коррозии металлов.

Усилению коррозии способствуют: включения (в том числе неметаллические) в самородных металлах; дефекты в их кристаллических решетках; наличие веществ, способных адсорбироваться металлами (сплавами); появление в окружающей среде электролитов.

Таким образом, получение самородных металлов и сплавов ведет, во-первых, к огромным энергетическим затратам и истощению невозобновляемых запасов топлива. Во-вторых, происходит существенная миграция элементов. К ней относится их перемещение из литосферы в ландшафт и дальнейшее перемещение миллионов тонн на тысячи километров. В-третьих, по А.И. Перельману, в ноосфере по сравнению с биосферой и земной корой уменьшается геохимическая контрастность распределения элементов. В-четвертых, появляются новые ассоциации металлов, находящихся в повышенных концентрациях в техногенных ландшафтах и даже в биогенных, но подверженных антропогенному воздействию. Это оказывает существенное влияние (как правило, отрицательное) на условия существования живых организмов — от простейших до человека. В-пятых, процесс получения самородных металлов и сплавов сопровождается образованием целого ряда побочных токсичных продуктов (подробнее об этом см. гл. 8).

ГЛАВА 4. РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

4.1. Общие сведения о строении и составе Земли

4.1.1. Вводные положения

К настоящему времени прямых данных о глубинном строении, В значит, и о составе Земли нет, поэтому большинство геолого-геохимических построений имеет характер в различной мере обос-і юванных гипотез. Часть их базируется на результатах геофизических исследований и законе всемирного тяготения.

Общая масса Земли считается равной $5{,}974 \cdot 10^{27}$ г, ее средняя плотность — $5{,}517 \pm 0{,}04$ г/см^3, средняя плотность горных пород, составляющих верхнюю оболочку,— 2,8 г/см^3. Отсюда видно, что глубинные части планеты отличаются высокой плотностью. Это может быть связано с изменениями состава или фазовыми превращениями вещества.

Много данных для создания моделей строения Земли получено на основании изучения особенностей распространения сейсмических волн. Оно позволило во всех основных моделях разделить планету на три главные части: две оболочки (земную кору, или литосферу, и мантию) и ядро (рис. 4.1). К земной коре обычно относят еще атмосферу и гидросферу. Общие сведения о них приведены в табл. 4.1.

4.1.2. Ядро и мантия

Ядро. Согласно сейсмическим данным предполагается, что внешняя часть ядра — до глубин 5000 км — жидкая, внутренняя — твердая, с плотностью 12—13 г/см^3. По одной из гипотез ядро состоит из Fe и Ni в соотношении 9 : 1. В виде примеси в нем могут находиться Si, C, Al, O, на долю которых приходится около 1%. Такое содержание элементов примерно соответствует составу железных метеоритов. Большая часть примесей должна находиться во внешнем ядре.

Существует гипотеза (в геохимической части ее обоснования лежит преобладание водорода в космосе) о гидридном и карбид-

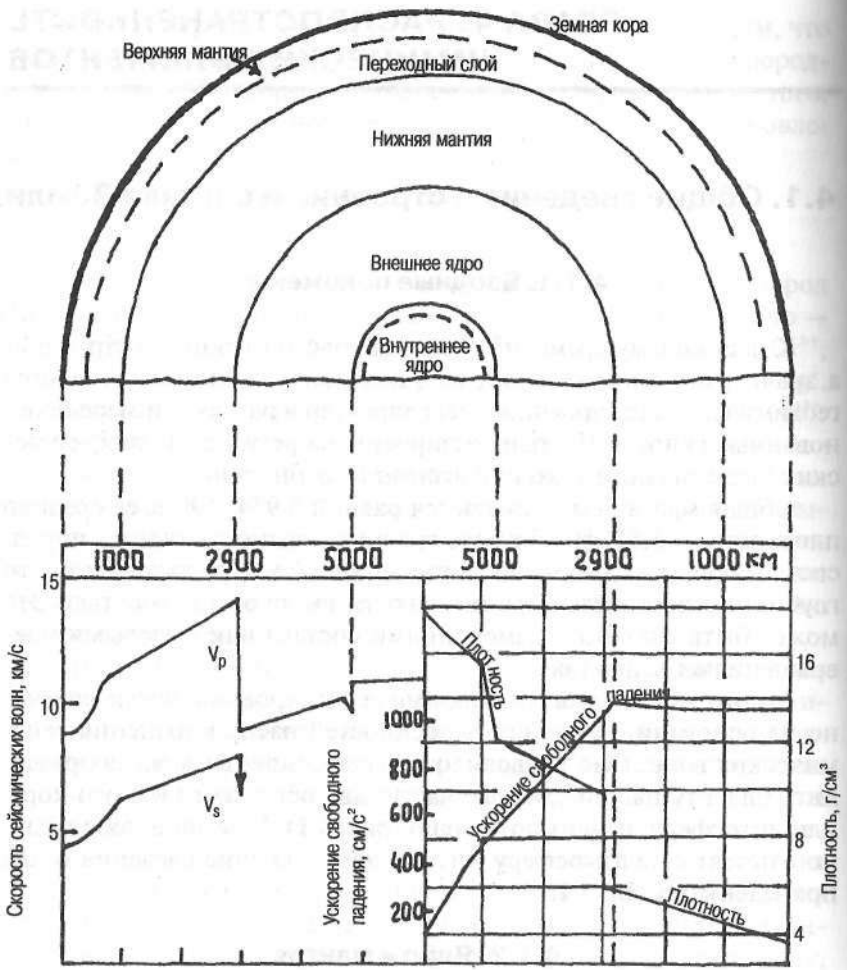


Рис. 4.1. Строение и некоторые свойства Земли

ном составах внутреннего ядра. Их разложение во внешнем ядре дает свободные металлы (Fe, Ni, Co) и газы (H и CH_4), которые мигрируют в верхние оболочки. Металлы по этой гипотезе могут находиться в свободном состоянии и в нижней мантии. В смеси с ними в этом случае должны существовать силикаты и оксиды.

По представлениям А.Ф. Капустинского, огромное давление, существующее в ядерной зоне Земли, должно приводить к обособ-

Таблица 4.1

Характеристика оболочек и ядра Земли

Название оболочки (ядра)	Мощность, км	Объем, $\times 10^{27}$ см^3	Средняя плотность, г/см^3	Масса, $\times 10^{27}$ г	Масса, %
Атмосфера (со стратосферой)	50–80	≈0,008	$1{,}2 \cdot 10^{-3}$ $2 \cdot 10^{-6}$	0,000005	0,00009
Гидросфера (в среднем)	3,8	0,00137	1,03	0,00141	0,024
Литосфера	30	0,015	2,8	0,043	0,7
Мантия	2870	0,892	4,5	4,054	67,8
Ядро	3471	0,175	10,7	1,876	31,5
Земля в целом	6371	1,083	5,527	5,974	100

пению ядер всех элементов от электронов, образующих общую «электронную плазму». При таком развитии процессов различия между химическими элементами исчезают и ядро образует «зону нулевого химизма». В нижней части мантии, по этой гипотезе, электроны «вдавливаются» во внутренние, незаполненные орбитали. Возникает зона «вырожденного химизма», в которой при силикатном составе вещество близко к металлическому состоянию. Обычные химические свойства проявляются у элементов только в верхних частях мантии и земной коре.

Нижняя мантия. Граница этой оболочки с ядром проходит на глубине 2900 км. В настоящее время полагают, что в ее составе преобладают оксиды: периклаз (MgO), стишовит ($Si0_2$), корунд (Al_20_3), вюстит (FeO), шпинели [$(Mg,Fe)Al_20_4$], хотя возможно присутствие гранатов $(Mg,Fe,Mn)_2Al_2[Si0_4]_3$.

Следует отметить, что существует представление о глубинных разломах — своеобразных каналах миграции элементов, соединяющих земную кору с нижней мантией.

Переходная **зона.** Она располагается на глубине 400—1000 км и, по представлению ряда исследователей, имеет силикатный состав. Ее большая плотность может быть объяснена преобладанием стишовита, шпинели и периклаза.

Верхняя мантия. Для решения вопросов о составе верхней мантии, кроме имеющихся сведений о составе метеоритов и сейсмических данных, требуется непосредственное изучение выходов на поверхность пород, относимых к этой оболочке Земли, в частности ксенолитов в интрузиях глубинного происхождения. Боль-

шинство исследователей считает, что по составу верхняя мантии (а ее нижняя граница проходит в среднем на глубине 400 км) *тЛ** логична каменным метеоритам-хондритам. В ней около 40% приходится на оливин, 30% на пироксены, 10—12% на железо-никелевый сплав, а остальную часть составляют плагиоклазы и троилит (FeS). Считается, что мантийное происхождение имеют газы рифтовых зон. В их составе, кроме инертных газов, необходим.i выделить CO, H_2, CH_4, являющиеся показателями резковосстап" витальных условий. Усредненно химический состав мантии, %, примерно следующий:

SiO_2 .....43—46;	TiO_2 .....0,3—0,7;
MgO .....37—42;	Na_2O .....0,3—0,6;
FeO .....6—8,2;	Cr_2O_3 .....0,4—0,5;
Al_2O_3 .....3,7—5,1;	NiO .....0,2—0,3;
CuO.....2,5—3,0;	MnO.....0,13—0,14;
Fe_2O_3 .....0,4—1,5;	K_2O .....0,10—0,13;
	CaO.....около 0,01

4.2. Земная кора

4.2.1. Общие сведения

Верхняя оболочка Земли получила название *«земная кора»*. Вместе с атмосферой и гидросферой значительная ее часть заселена различными организмами, а потому она входит в состав биосферы, и в курсе «Экологическая геохимия» ей уделяется особое внимание. Границу между земной корой и верхней мантией предложено проводить по так называемой *границе Мохоровичича,* или, проще, *Мохо* (часто обозначают буквой М). Название свое она получила по имени ученого, изучавшего распространение сейсмических волн. В 1909 г. после Хорватского землетрясения он отметил, что на глубине около 40 км скорость волн скачкообразно возрастает от 6,5 до 8 км/ч. Последующие исследования этого явления показали, что на материках граница Мохо обычно располагается на глубинах от 30 до 80 км, а на дне океанов — от 5 до 15 км. Наибольшая мощность коры до 75—80 км характерна для участков континентальных горных хребтов. Необходимо также отметить, что в рифтовых зонах граница Мохо практически не выражена, а в некоторых структурах выявляется одновременно ее несколько поверх-

Иостей. Таким об-
I ри юм, установле-
[мис нижней грани -
I цы земной коры не
I ссгда одинаково
достоверно.

К числу основ-
I ных особенностей
I строения земной
коры следует отне-
I сти асимметрич-
I ность, отражение
которой видно уже

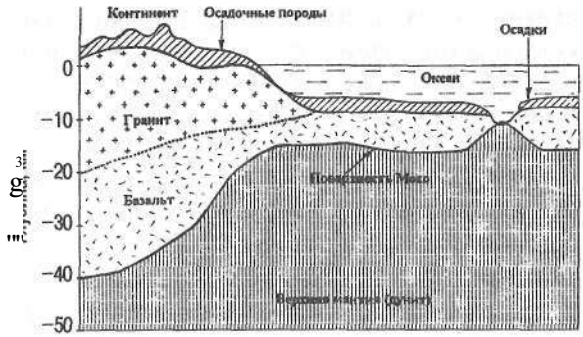


Рис. 4.2. Схема строения земной коры

и рельефе ее поверхности. Довольно четко выделяются ее две основные структуры — континентальная (материковая) и океаническая. Площадь последней значительно превышает суммарную площадь всех материков.

Как уже указывалось, мощности коры материкового и океанического типов чрезвычайно различны, особенно если не учитывать поверхностный слой воды (рис. 4.2).

4.2.2. Океаническая кора (строение, рельеф)

Строение и состав океанической коры более просты. О.Г. Сорохтин и С.А. Ушаков (1991) представляют ее как верхний дифференцированный слой мантии, перекрытый тонким слоем пелагических осадков. По вертикали ее можно расчленить на три части — слоя: нижний, средний и верхний.

Нижний слой. Его верхняя часть состоит предположительно из габбро, включения которого встречаются в крупных трансформных разломах. На их крутых склонах с помощью драг поднимались и образцы серпентинитового состава. Считается, что они отражают состав нижней части разбираемого слоя, который называется *габбро-серпентинитовым*. Судя по сейсмическим данным, общая мощность нижнего слоя колеблется от 2 до 5 км.

Средний слой. Его верхняя часть представлена подушечными лавами толеитовых базальтов океанического типа. Под ними располагается нижняя часть слоя с дайковым комплексом того же состава. Описываемый слой довольно детально изучен в сравнительно многочисленных местах выходов на поверхность океанического дна. Обычно такие участки примыкают к гребням срединно-

океанических хребтов и оперяющих их трансформных разломим Образцы отбирались с помощью драг, подводных обитаемых an паратов и из керна скважин глубоководного бурения. Обтай мощность слоя (его еще называют *базальтовым)* по сейсмическим данным составляет в среднем около 1,5 км.

Средняя плотность двух нижних слоев океанической коры (т.е. консолидированной ее части) около 2,9 г/см^3, а массе 6,4 • 10^{24} г.

Верхний слой. Его часто называют еще и осадочным. Основанием слоя обычно являются тонкие, невыдержанные по прости» ранию, металлоносные осадки с наиболее высокой концентра! и i ей оксидов железа. Средняя часть рассматриваемого слоя очень ча-1 сто слагается карбонатными осадками и лишь иногда в разрезах встречаются вулканогенные отложения.

К верхней части слоя на участках, удаленных от континентов, относят бескарбонатные красные глубоководные глины. Ближе к кон-' тинентам в составе этой части слоя возрастает доля терригенного материала, сносимого с суши. Особенно велика она вблизи дельт ! больших рек и на материковых склонах. Значительную части осадков, расположенных непосредственно под водной толщей океанов, составляют органогенные (карбонатные и кремнистые) осадки.

В среднем общая мощность слоя составляет около 0,5 км| и только вблизи континентов она возрастает, достигая 10—15 км. Такое увеличение мощности связано с явлением лавинной седиментации (А.П. Лисицин, 1984), при которой практически весь терригенный материал, сносимый с континентов, отлагается в прибрежных участках. Следует также отметить, что верхний слой не всегда присутствует в составе океанической коры (см. 4.2.3).

Объем материала, представляющего собой осадочный слой в глубоководных котловинах Мирового океана, составляет около 133 млн км^3, а масса — около 0,1 • 10^{24} г. Объем осадков, расположенных на шельфах и континентальных склонах,— порядка 190 млн км^3, что в пересчете на массу составляет (0,4—0,45) • 10^{24} г (Лисицин, Ронов, Янишевский).

Рельеф. Мощность толщи воды, тесно связанная с рельефом дна океанов, часто оказывает не меньшее влияние на развитие организмов, чем состав океанической коры. Кроме того, рельефом во многом определяется выход на поверхность дна определенных слоев коры. В связи с этим появляется необходимость рассмотреть основные особенности рельефа дна океана. Наиболее круп-

мы ми структурами являются абиссальные котловины глубиной до 16-6,5 км; срединно-океанические хребты (глубины до 2,5 км, и в редких случаях они даже выходят из-под водной поверхности), расчлененные глубокими рифтовыми долинами; глубоководные (свыше 6 км) желоба, располагающиеся преимущественно в красных частях островных дуг.

Отдельно следует сказать о подводных окраинах материков, уже испытывающих в настоящее время большую техногенную нагрузку, которая в дальнейшем, вероятно, будет все возрастать. Ее отличительной чертой можно считать загрязнение осадков различными поллютантами, поступающими с континентов. В их числе находятся и техногенные соединения, не имеющие природных аналогов. Особенности поведения загрязняющих веществ, а следовательно, и проявление их токсичности во многом определяются рельефом части дна океана, прилегающей к континентам. В пределах этой зоны выделяются: шельф (материковая отмель), континентальньный (материковый) склон и континентальное (материковое) подножье.

Область шельфа, примыкая к суше, обычно находится на глубинах до 200 м и слабо наклонена в сторону океана. Ее ширина меняется от первых километров до сотен километров (вдоль сибирского побережья Ледовитого океана). Иногда шельф разделяется на отдельные блоки глубокими депрессиями, параллельными берегу.

Континентальный склон — крутой (3—7°) уступ, являющийся продолжением шельфа. Наибольшие глубины по краю склона доходят по 3 км. Поверхность склона обычно изрезана глубокими каньонами (протяженностью до 60 км) и мелкими ложбинами. Считают, что их образование обусловлено эрозией мутьевых потоков.

Континентальное подножье представляет собой полого-наклонную волнистую равнину, которую можно рассматривать как зону, соединяющую подводные окраины материков с океаническим дном.

Несколько обособленно в мировом океане располагаются внутриконтинентальные и окраинные моря. Среди них можно выделить плоские и котловинные. К первым относятся Азовское, Баренцево, Карское, Белое, Балтийское, Северное, ко вторым — Черное, Средиземное, Берингово, Охотское, Японское.

4.2.3. Состав поверхности океанической коры

Как уже указывалось, с рельефом во многом связаны распространение и, следовательно, выходы на поверхность дна океанов определенных слоев коры, а значит, и определенного типа горных пород и осадков. Так, в абиссальных областях, наиболее удаленных от берега, под толщей воды располагается верхний слой коры, поверхность которого представлена наиболее тонкими осадками — полигенными красными океаническими глинами, характеризующимися как слабожелезистые и слабомарганцовистые. В глинах и на их поверхности встречаются железисто-марганцевые конкреции. Их наибольшие скопления наблюдаются в глубоководных частях Тихого и Индийского океанов. Всего на долю полигенных красных океанических глин приходится около 36% площади Мирового океана (рис. 4.3).

Еще большую часть поверхности дна океана (47%) занимают органогенные осадки. Из них около 36,6% приходится на существенно карбонатные, среди которых преобладают фораминиферовые, коралловые и ракушечные. Около 10% поверхности занято кремнистыми органогенными осадками. Примерно 14% площади дна океана покрыто терригенными осадками, а на поднятиях и пиках срединно-океанических хребтов обнажаются базальты среднего слоя океанической коры.

Наиболее частой сменой состава осадков на небольшой площади отличаются подводные окраины материков, испытывающие к тому же наибольшую техногенную нагрузку.

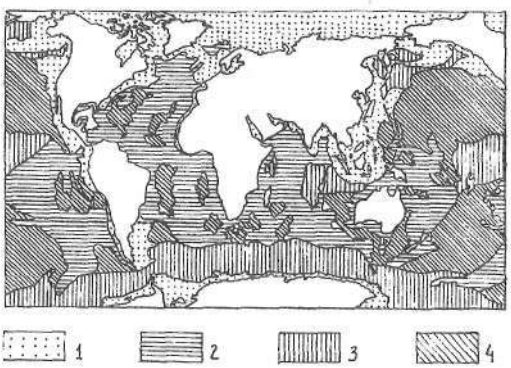


Рис. 4.3. Карта современных морских осадков (по карте «Осадконакопление в Мировом океане» из физико-географического атласа мира, 1964)

Осадки: 1 - терригенные; 2 - органогенные карбонатные, 3 — органогенные кремнистые; 4 — красные глубоководные глины

Таким образом, состав поверхности дна океана относительно однороден и отличается явным преобладанием океанических глин и органогенных существенно карбонатных осадков. Однако и в этом случае можно говорить о значительном минералогическом различии осадков,

с которым во многом связаны различия в распространении целого ряда химических элементов, определяющих особенности существования и развития живых организмов.

4.2.4. Континентальная кора (строение, рельеф)

По особенностям строения континентальная кора Земли весьма существенно отличается от океанической. Она исключительно неоднородна. Однако с определенными допусками ее, как и океаническую, можно разделить на три слоя: верхний — осадочный, а средний и нижний состоят из кристаллических пород. По данным сейсмических исследований скорость волн в осадочном слое неравномерно возрастает с глубиной от 2—3 до 4,5—5,5 км/с. В среднем слое скорость обычно колеблется в интервале 6—6,5 км/с, а в нижнем от 6,6 до 7,0 км/с. Изменение скорости сейсмических волн в кристаллических породах позволило разделить два нижних слоя; раздел между ними получил название *границы Конрада*.

Необходимо отметить, что если брать за основу сейсмические данные, то на платформах под осадочным слоем часто можно выделить не два, а три слоя. В складчатых областях картина бывает еще более сложной: число «сейсмически отличающихся» слоев в них еще больше и в отдельных геологических структурах может быть различным.

Нижний слой. Его границы определены на основании сейсмических данных. Хотя слой и называется *базальтовым,* он только наиболее похож на эти породы по скорости распространения волн. Большинство исследователей полагает, что он состоит из магматических пород среднего и основного состава, метаморфизованных до амфиболовой или даже гранулитовой фации (Тейлор, Мак Леннан, 1988 и др.).

На Кольском полуострове сверхглубокая скважина пересекла границу Конрада, при этом смены состава пород отмечено не было. Изменение скорости сейсмических волн объясняют разуплотнением пород, что вероятнее всего связано с процессами метаморфизма.

Средний слой. Обычно в научной литературе его называют *гранитным*. По составу он не является полным аналогом гранитов, хотя в нем преобладают породы гранитогнейсового состава с подчиненностью базальтоидов. Многие исследователи считают, что средний состав гранитного слоя наиболее близок к гранодиоритам. В результате регионального метаморфизма все перечисленные по-

роды часто могут быть изменены вплоть до амфиболитов. В связи с этим есть предложения называть средний слой континентальной коры *гранитно-метаморфическим*. Возраст пород слоя по большей части докембрийский. Гранитный слой изучен относительно полно на древних щитах, а также по образцам, полученным при бурении скважин и с помощью геофизических методов.

Верхний слой. На древних щитах он отсутствует, а в краевых прогибах платформ его мощность может доходить до 15 км. Средняя мощность слоя на платформах 2—3 км. По составу в нем преобладают глинистые, песчаные и карбонатные отложения. Следует также отметить относительно частое присутствие в разрезе осадочных толщ эвапоритов (химические, в целом хорошо растворимые осадки) и магматических пород различного состава. Породы верхнего слоя континентальной коры относятся к числу наиболее изученных.

Рельеф. Рельефом материков в еще большей мере, чем в случае с океаническим дном, определяется разнообразие горных пород, выходящих в одном и том же районе на дневную поверхность. От него же во многом зависит возникновение и развитие тех или иных растительных ассоциаций и комплексов, а также приуроченность к определенным геохимическим ландшафтам конкретных сообществ животных.

Рассматривая вертикальное расчленение континентальной коры, следует отметить так называемую *гипсографическую кривую,* построенную в 1883 г. А. Лаппораном и позднее уточнявшуюся рядом ученых (рис. 4.4). По вертикальной оси на ней нанесены высоты (глубины) по отношению к уровню моря, по горизонтальной — площади, находящиеся на этих высотах на материках и в океане. Как видно из рис. 4.4, на мате-



Рис. 4.4. Гипсометрическая кривая

риках наибольшая площадь развития (без учета материковой отмели) приходится на высоты от 1000 до 2000 м.

Эти территории обычно относятся к низкогорью. Начиная с указанных высотных отметок, чаще всего пространственно сближены отдельные мозаично расположенные блоки магматических и осадочных пород различного состава. В этих же районах обычно минимальна мощность развивающихся на горных породах кор выветривания и почв.

Таким образом, в горных районах влияние геохимических особенностей коренных пород на живые организмы проявляется в более частой и контрастной смене геохимических обстановок.

4.2.5. Состав поверхности континентальной коры

Резко выраженная гетерогенность континентальной коры хорошо видна уже при одном взгляде на геологическую карту материков. Чередование блоков, сложенных разновозрастными и разнотипными магматическими, метаморфическими и осадочными породами, представляет собой довольно пеструю мозаику. В целом в коре рассматриваемого типа, как и вообще в земной коре, резко преобладают магматические породы. Однако 3/4 всей площади суши покрыто осадочными толщами. Их общий объем по разным подсчетам колеблется от $3{,}7 \cdot 10^8$ до $13 \cdot 10^8$ км^3.

При самом простом делении среди магматических пород можно выделить кислые, основные и щелочные. Среди выходов на поверхность интрузивных пород резко преобладают кислые, а среди эффузивных — основные. Площадь, занимаемая щелочными породами, составляет не более 0,5%. А.Н. Заварицкий сравнил распространение магматических пород на территории бывшего СССР и США (табл. 4.2). Эта таблица дает представление и об общем распространении магматических пород.

Таблица 4.2

Распространение магматических горных пород, %

Интрузивные породы	Территория		Эффузивные породы	Территория	
	бывшего СССР	США		бывшего СССР	США
Кислые	48,7	35	Кислые	13,5	12,5
Основные	2,3	5	Основные	35,1	45
Щелочные	0,4	–			

Выветривание магматических пород, их переотложение и последующие преобразования привели к формированию осадочных пород. Можно было бы считать, что состав магматических и осадочных пород аналогичен, но при выветривании кристаллических пород и формировании осадочных происходил вынос ряда элементов с водами в океан (Na, K и др.), а часть элементов (их соединений) концентрировалась только в определенных типах пород (рис. 4.5). Весьма существенной в этом процессе была роль живых организмов (см. разд. 3.8).

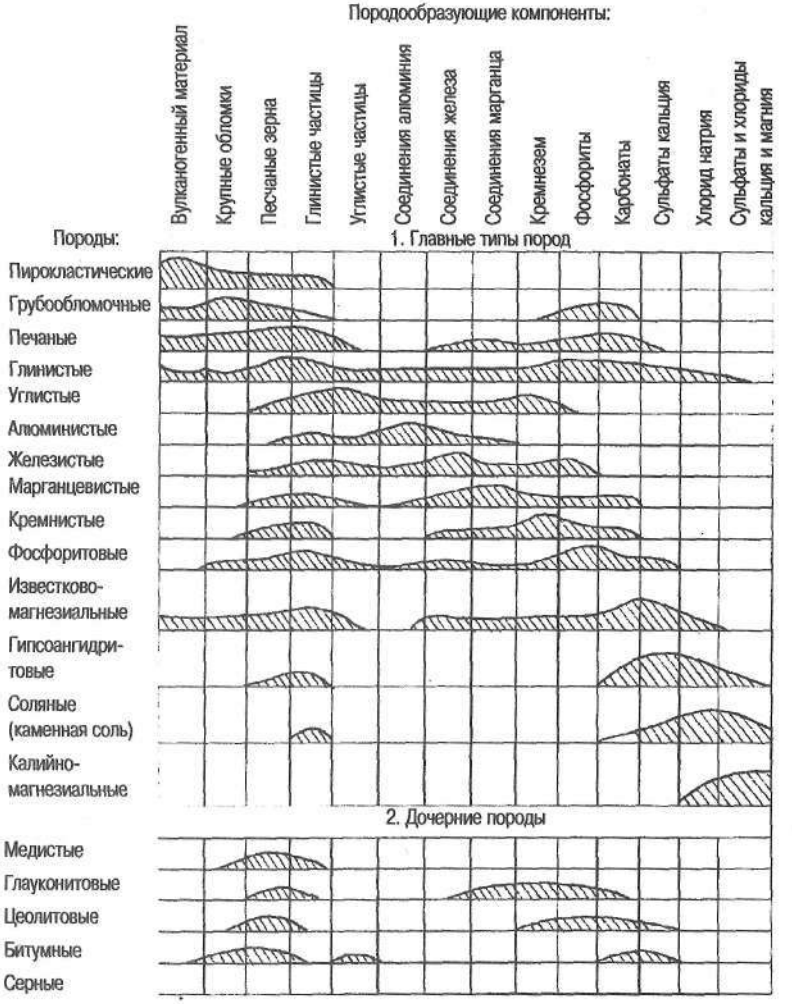


Рис. 4.5. Распространение в осадочных породах их составных частей

Все это привело к довольно высокой степени дифференциации веществ в осадочных породах, среди которых выделяются три главные группы: глинистые, песчаные и карбонатные. На их долю приходится примерно 95—99% общей массы осадочных пород, а их соотношение между собой Л.Б. Рухин определил как 5:3:2.

Большая часть магматических и осадочных пород перекрыта почвами. Мощность почвенного слоя также во многом определяется рельефом. Все наименьшие величины (а часто и практическое отсутствие) характерны для горных районов.

4.3. Законы распределения химических элементов в различных геохимических системах

Любая геохимическая система (литосфера, различные типы горных пород, почвы и т.д.) характеризуется не только определенными значениями концентраций химических элементов, но и разбросом этих значений. Иначе говоря, распространение каждого из химических элементов в конкретной геохимической системе подчиняется определенному закону статистического распределения. Таких законов достаточно много.

В геохимии (экологической геохимии) мы имеем дело с результатами анализов проб. В сумме они составляют определенную выборку, характеризующую конкретную геохимическую систему. При рассмотрении распределения какого-нибудь элемента (его соединений) в такой системе, мы всегда ограничены числом проб. Это является одной из причин того, что в своих построениях мы можем говорить лишь о приближении к одному из законов распределения, т.е. об аппроксимации. В большинстве случаев в геохимических системах наблюдается приближение к двум законам: нормальному и логарифмически нормальному (логнормальному).

Считается, что если в изучаемой эколого-геохимической системе на распределение того или иного химического элемента (соединения, определенного вида растительных и животных организмов и т.д.) влияет большое число случайных (под случайными понимаются причины, не поддающиеся учету), равновероятных и независимых друг от друга факторов, то распределение этих величин аппроксимируется нормальным законом. Нам при эколого-геохимических исследованиях часто достаточно знать следую-

щие параметры: дисперсию, среднее квадратическое отклонение, фоновое содержание, а часто — и коэффициент вариации.

Дисперсия (S^2) характеризует меру рассеивания величин относительно фона, а среднее квадратическое отклонение (S) представляет собой корень квадратный из выборочной дисперсии. Оно рассчитывается при нормальном законе распределения по следующей формуле:

$$S = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum(X_i - \overline{X})^2},$$

где N — число проб в выборке; X_i — отдельные (одиночные) содержания в пробах; X — среднее арифметическое содержание.

Коэффициент вариации (V) представляет собою отношение среднего квадратического отклонения к среднему содержанию и показывает, насколько велико рассеивание по сравнению со средним значением содержания:

$$V = (S/\overline{X}) \cdot 100\%.$$

Фоновым содержанием ($C_ф$) при нормальном законе распределения является среднее арифметическое X ($C_ф = X$).

Графическим выражением нормального закона являются дифференциальные кривые (рис 4.6). Их вид зависит от среднего квадратического отклонения S и характеризует разброс случайных содержаний X_i вокруг среднего (X). Чем выше величина S, тем больше разброс и тем положе становится кривая.

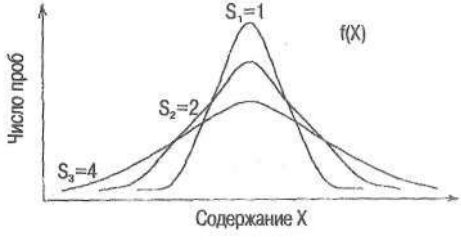


Рис. 4.6. Дифференциальные кривые распределения с различными значениями среднего квадратического отклонения (S)

Приведенное на рис. 4.6 семейство кривых нормального закона характеризуется параметрами S = 1, 2 и 4. Все кривые имеют один максимум (X), отвечающий наиболее часто встречающемуся значению отдельных содержаний — моде. Он же является величиной, характеризующей значение фонового содержания. Кроме того, X из-за симметрии распределения совпадает с медианой — значением, делящим всю совокупность данных пополам.

Если одна из случайных величин, оказывающих влияние на распределение элементов, резко превалирует, то закон распределения

будет обусловлен ее преобладающим действием. С таким явлением мы чаще всего встречаемся, когда рассматриваем распределение химических элементов в относительно небольших системах. Ими могут быть коры выветривания, почвоподстилающие горные породы, воды, почвы или растения определенного геохимического ландшафта, отдельные организмы и т.д. В этих случаях чаще всего будет наблюдаться приближение (т.е. аппроксимация) к логарифмически нормальному распределению. При этом нормально распределяются не сами содержания, а их логарифмы. Среднее квадратическое отклонение в данном случае определяется по формуле

$$S_{lg} = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum(\lg X_i - \overline{\lg X})^2},$$

а коэффициент вариации — по формуле

$$V_{lg} = \sqrt{10^{S_{lg}^2} - 1}.$$

За фоновое содержание (ф) при логарифмически нормальном законе принимается величина, равная ant lg X.

4.4. Эколого-геохимические аномалии

4.4.1. Общие сведения

Одним из важнейших показателей при статистической обработке данных, характеризующих конкретную эколого-геохимическую систему, является величина аномального содержания. Само слово «аномалия» может переводиться с греческого как отклонение от нормы. В экологической геохимии *аномалией* является отклонение от эколого-геохимических норм, свойственных или определенному району, или геохимическому ландшафту, или типу почв, растений, вод, животных организмов и т.д.

Собственно геохимической аномалией считаются участки со значительно повышенным (или пониженным) по сравнению с фоном содержанием химических элементов (их соединений). Сами элементы при этом могут находиться в минеральной, биогенной, коллоидной, сорбированной или изоморфной формах, а также в виде растворов и газовых смесей. К геохимическим аномалиям относятся и участки с резкими отклонениями от нормы соотношения двух и более элементов или изотопов одного и того же элемента. Элементы, по содержанию которых выявляются аномалии, обычно называют *элементами-индикаторами*.

4.4.2. Положительные и отрицательные аномалии

По особенностям распределения элементов аномалии могут быть положительными или отрицательными. Первые отличаются повышенными концентрациями элементов-индикаторов, а вторые — пониженными. Хотя одни из первых экологически неблагоприятных районов были выявлены по недостатку в их пределах химических элементов J и F, отрицательным аномалиям в эколого-геохимической оценке территорий пока уделяется крайне незначительное внимание. Это во многом объясняется тем, что обычно неблагоприятные эколого-геохимические условия возникают при загрязнении, а под ним понимают увеличение концентраций определенных элементов (их соединений).

Следует помнить, что отрицательные техногенные аномалии возникают не только при выщелачивании элементов. Так, контрастные отрицательные биогеохимические аномалии Mo возникают при весьма существенном повышении в почвах особо токсичного в данных случаях элемента — Pb. В почвах над окисляющимися металлами (их сульфидами) уменьшается содержание кислорода. По отрицательным аномалиям этих элементов даже ведутся поиски месторождений полезных ископаемых.

4.4.3. Выявление аномалий

Для выявления аномалий необходимо определить величину минимального (максимального) аномального содержания или верхний и нижний пределы обычного колебания содержания относительно фона. При выделении аномалий «на глаз», а также по принципу «считать аномальными все содержания, в два-три раза превышающие среднее арифметическое» неизбежны субъективные ошибки. Их можно исключить, пользуясь при обработке имеющейся эколого-геохимической информации методами математической статистики. Для этого очень важно правильное объединение в одну выборку определенной группы проб. Чаще всего при составлении таких выборок учитывается ландшафтно-геохимическое районирование территорий.

Методы проведения статистической обработки в этом учебнике не разбираются, так как в учебных программах курсу «Экологическая геохимия» обычно предшествуют курсы «Математическая статистика», «Вычислительные машины и программирование». Укажем только, что при выявлении положительных аномалий

нижнее значение аномальных содержаний для отдельных проб (отдельно расположенных точек отбора проб) вычисляется при нормальном законе распределения по формуле $C_а = C_ф + 3S$, а при логнормальном распределении — по формуле $C_а = C_ф a^3$.

В случае выявления отрицательных аномалий за верхний предел для отдельных единичных проб (точек их отбора) берется содержание, вычисляемое соответственно для нормального и логнормального законов по формулам $C_а = C_ф - 3Б$ и $C_а = C_ф / c^3$.

Практика эколого-геохимических исследований показала, что часто возникает необходимость выявить еще только формирующиеся аномалии. Эта задача может быть сведена к выявлению участков с существенно повышенными (пониженными) концентрациями химических элементов (их соединений), величины которых еще не достигли содержаний, определяемых по вышеуказанным формулам. Для того чтобы не пропустить такие «недооформившиеся» аномалии, умышленно занижают (а при отрицательных аномалиях — завышают) значение аномального содержания. При этом для гарантии отсева проб, в которых повышенные (пониженные) концентрации вызваны только случайными колебаниями фона, в аномалию можно объединить лишь те пробы, которые отличаются четко выраженной корреляцией. Как правило, мы имеем дело с пространственной корреляцией проб, т.е. корреляцией точек отбора проб.

Рассмотрим возможные варианты корреляции химических проб в случае изменяющейся геологической ситуации. Самым простым примером может быть корреляция (с последующим объединением в одну аномалию) рядом расположенных проб (рис. 4.7, а). Можно считать коррелирующимися пробы, отобранные из одного горизонта пород (рис. 4.7, б), из одного разрывного нарушения (рис. 4.7, в) или же из одной зоны контакта различных горных пород (рис. 4.7, г). Естественно, что во всех этих случаях в аномалии объединяются рядом расположенные геохимические пробы только с аномальными содержаниями интересующих нас компонентов (например, металлов).

Из приведенного примера видно, что корреляция геохимических проб (точек их отбора) обычно подразумевает какие-либо генетические факторы, объединяющие пробы. Это позволяет в других случаях установления корреляции проб рассматривать, по аналогии с геологической ситуацией, ландшафтно-геохимическую ситуацию.

Чтобы установить субъективные ошибки при выявлении аномалий с несколько пониженным (а для отрицательных аномалий

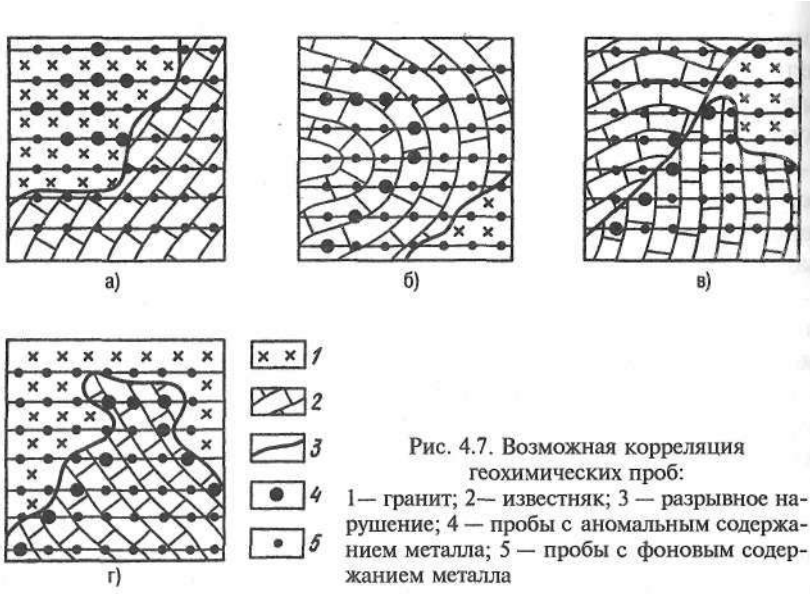


Рис. 4.7. Возможная корреляция геохимических проб:
1— гранит; 2— известняк; 3 — разрывное нарушение; 4 — пробы с аномальным содержанием металла; 5 — пробы с фоновым содержанием металла

с несколько повышенным) уровнем, необходимо пользоваться следующими формулами:

• *для положительных аномалий* с нормальным законом распределения изучаемого компонента — $C_а = C_ф + 3S/Vm$, а с логнормальным - $C_а = СфC^3/^$;

• *для отрицательных аномалий* с нормальным законом распределения — $C_а = Сф—3S/Vni$, а с логнормальным — $C_а = C_ф/с^3/^$.

В этих формулах m — число коррелирующихся проб (точек их отбора).

Опыт работ показал, что прогрессивное изменение аномального содержания следует ограничивать при нормальном законе распределения уровнями Сф ± S, а при логнормальном — $C_ф$а или (Сф/а). Это соответствует учету в формулах девяти коррелирующих точек отбора проб (V*T= 3). Дальнейшее изменение значений аномальных содержаний приводит к потере и математического, и геохимического смысла этих величин.

Практика выделения аномалий. Обычно для каждой выборки рассчитывают фоновое содержание интересующих элементов (соединений) и три значения аномальных содержаний (для изолированных аномальных точек, а также для двух и девяти коррелирующих точек отбора проб). Затем на картах отбора проб, обязательно составляемых на ландшафтно-геохимической основе, проводят

поэлементную разноску (каждый элемент на отдельной карте). При этом для выделения положительных аномалий особыми значками (удобно разными цветами) выносят только те пробы, в которых концентрация рассматриваемого элемента равна или превышает аномальное содержание соответственно: для единичных, для двух и для девяти коррелирующих проб (В.А. Алексеенко, 1974).

После этого производится непосредственное выделение аномалий. Так, каждая проба с концентрацией, равной или превышающей аномальную для единичных проб, заслуживает внимания (аномалия 6, рис. 4.8). Пробы с содержаниями, аномальными для двух коррелирующих проб, составляют аномалию, если их рядом не меньше двух (аномалия 3) или если рядом расположена проба с аномальным содержанием для единичных проб (аномалия 7). Пробы с содержаниями, аномальными для девяти коррелирующих проб, составляют аномалию только в том случае, если их число (вме-

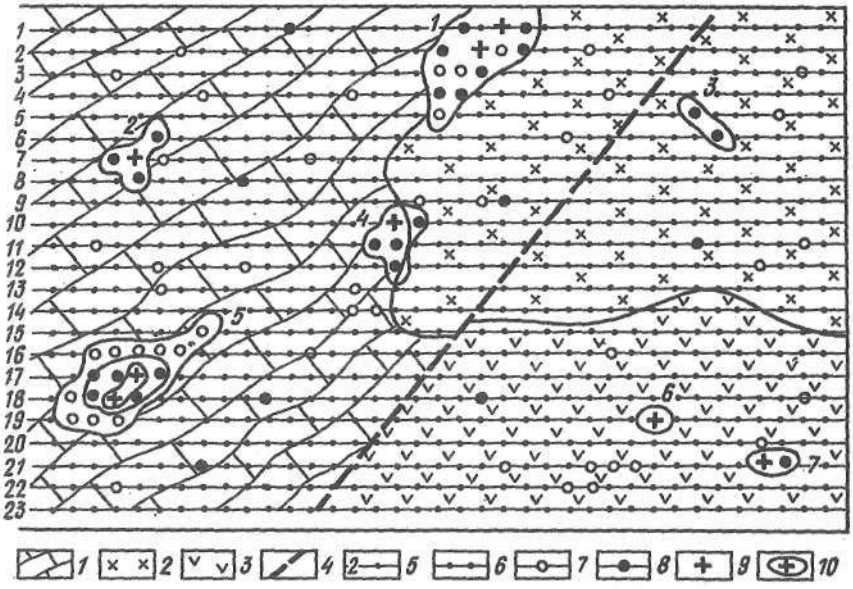


Рис. 4.8. Схема выделения геохимических аномалий:

1 — ландшафты с карбонатными почвообразующими породами; 2 — ландшафты с кислыми магматическими почвообразующими породами; 3 — ландшафты основного состава с эффузивными почвообразующими породами; 4 — разрывные нарушения в почвообразующих породах; 5 — профиль отбора проб и его номер; 6 — точки отбора проб с содержанием химического элемента ниже аномального; 7, 8, 9 — пробы с аномальным содержанием соответственно для девяти, двух коррелирующихся и единичных проб); 10 — геохимическая аномалия и ее номер

сте с пробами, имеющими более высокое содержание) не менее девяти (аномалии 1 и 5). Внутри крупных аномалий могут находиться отдельные пробы с фоновыми содержаниями (аномалия 1). При необходимости в пределах аномалии изолиниями выделяются аномальные содержания для единичных и двух коррелирующих проб (аномалия 5).

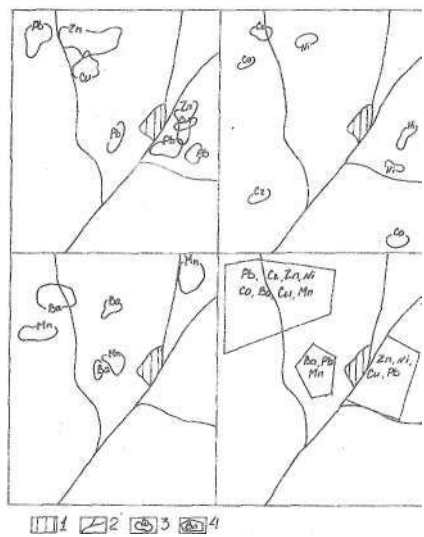


Рис. 4.9. Составление карты аномальных зон:

1 — населенный пункт; 2 — реки; 3 — граница территории с аномальной концентрацией химического элемента в определенной части ландшафта; 4 — аномальные зоны

При выделении отрицательных аномалий выносятся пробы с содержаниями, которые равны или меньше рассчитанных аномальных. Дальнейший механизм выделения аналогичен описанному.

Практика показала, что для каждого элемента (соединения) удобно *составлять отдельную карту, а затем делать одну сводную,* на которой кроме отдельных аномалий различных элементов (соединений) следует выделять аномальные зоны. Они представляют собой участки с пространственно сближенными аномалиями ряда элементов, образование которых (аномалий) может быть вызвано одними причинами (рис. 4.9).

Практика выделения геохимических ландшафтов, аномальных по распределению элементов. В случае сложного ландшафтно-геохимического строения изучаемого района, а особенно при существенно меняющейся антропогенной нагрузке, кроме карт аномалий и аномальных зон, целесообразно построение *карт фоновых содержаний*. Такие карты составляются отдельно для каждого элемента. На них цветом обозначают разные фоновые содержания, характеризующие различные ландшафты или их определенные части. Обычно выделяется от трех до пяти различных уровней содержания. При выборе граничных значений фоновых содержаний желательно, чтобы аномальное содержание, установ-

ленное для девяти коррелирующих проб в выборках из ландшафтов с меньшим фоновым содержанием, не превышало нижний уровень границы фонов в группе ландшафтов с более высокими значениями фонов. Такие карты не только наглядно отражают основные геохимические особенности ландшафтов изучаемого района, но и позволяют сразу же выделить ландшафты с аномально высоким содержанием изучаемых веществ.

4.5. Кларки и фоновые содержания химических элементов

4.5.1. Кларки земной коры (литосферы)

Из закона В.И. Вернадского о всеобщем рассеянии химических элементов, мы знаем, что во всех природных объектах, живых и косных, есть все элементы. Однако распределены они в различных объектах неодинаково и крайне неравномерно. Для того чтобы решать самые различные экологические проблемы с «открытыми глазами», нужно в первую очередь знать содержание химических элементов в интересующей нас системе или в отдельном объекте, а также определенные, эталонные содержания этих же элементов в подобных системах или объектах. К числу особо важных из них должны быть отнесены горные породы, поверхностные и подземные воды, атмосфера, почвы, растения.

На долю горных пород приходится подавляющая масса биосферы. Они представляют ту основу, на которой сформировались почвы, растительные и животные организмы. Они же являются постоянными источниками химических элементов, поступающих в верхние части ландшафтов; в их пределах расположены практически все месторождения полезных ископаемых, во многом определяющие развитие человечества. Все это и обусловило первоочередное изучение химического состава горных пород.

Первой объективной количественной геохимической характеристикой земной коры стало среднее содержание химических элементов, показывающее, какой процент от массы земной коры составляет масса данного элемента. Эти величины впервые были определены в 1869 г. для десяти наиболее распространенных химических элементов Ф.У. Кларком:

O — 46,28	Si — 28,02	Al — 8,14	Fe — 5,58	Ca — 3,27
Mg — 2,77	K — 2,47	Na — 2,43	Ti — 0,33	P — 0,10

Позже, в 1908 г. он опубликовал более полную сводку. При этом в массу земной коры были включены гидросфера и ат* мосфера. Так как последние составляют в сумме чрезвычайно малую часть массы твердой коры (см. табл. 4.1), то установленные средние содержания практически и отражают состав именно земной коры. Сводка, сделанная Ф.У. Кларком, постоянно уточняется и дополняется. К настоящему времени определено среднее содержание всех элементов в земной коре (табл. 4.3).

Учитывая большие заслуги Ф.У. Кларка по установлению первых количественных геохимических характеристик земной коры.

Таблица 4.3

Данные о среднем содержании химических элементов в земной коре по оценкам разных исследователей

Элемент	Порядковый номер элемента	Распространенность по массе, %				Атомная распространенность по А.Е.Ферсману, %
		Ф.Кларк и Г.Вашингтон	А.П. Виноградов	С.Р.Тейлор	А.А.Беус (без осадочной оболочки)	
1	2	3	4	5	6	7
Ag	47	$n \cdot 10^{-6}$	$7 \cdot 10^{-6}$	$7 \cdot 10^{-6}$	$9 \cdot 10^{-6}$	$1{,}5 \cdot 10^{-6}$
Al	13	7,51	8,05	8,23	8,1	4,8 (8,1)
Ar	18	–	–	–	$2{,}2 \cdot 10^{-5}$	$1{,}7 \cdot 10^{-4}$
As	33	$n \cdot 10^{-4}$	$1{,}7 \cdot 10^{-4}$	$1{,}8 \cdot 10^{-4}$	$1{,}9 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$
Au	79	$n \cdot 10^{-7}$	$4{,}3 \cdot 10^{-7}$	$4 \cdot 10^{-7}$	$1{,}7 \cdot 10^{-7}$	$4 \cdot 10^{-7}$
B	5	0,001	0,0012	0,001	$0{,}7 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-3}$
Ba	56	0,047	0,065	0,0425	$4{,}5 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-3}$
Be	4	0,001	0,00038	0,00028	$1{,}5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$
Bi	83	$n \cdot 10^{-6}$	$9 \cdot 10^{-7}$	$1{,}7 \cdot 10^{-5}$	$0{,}8 \cdot 10^{-6}$	$8 \cdot 10^{-7}$
Br	35	$n \cdot 10^{-4}$	$2{,}1 \cdot 10^{-4}$	$2{,}5 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$
C	6	0,087	0,023	0,02	$1{,}7 \cdot 10^{-2}$	0,51
Ca	20	3,29	3,96	4,15	4,3	1,41(5,0)
Cd	48	$n \cdot 10^{-5}$	$1{,}3 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$1{,}9 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-5}$
Ce	58	–	$7 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-4}$
Cl	17	0,19	0,017	0,013	$1 \cdot 10^{-2}$	0,1

Продолжение табл. 4.3

1	2	3	4	5	6	7
Co	27	0,01	0,0018	0,0025	$3,4 \cdot 10^{-3}$	$9 \cdot 10^{-4}$
Cr	24	0,033	0,0083	0,01	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$9 \cdot 10^{-3}$
Cs	55	$n \cdot 10^{-7}$	$3,7 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$
Cu	29	0,01	0,0047	0,0055	$6,5 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$
Dy	66	–	$5 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$4,6 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-5}$
Er	68	–	$3,3 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-5}$
Eu	63	–	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-6}$
F	9	0,027	0,066	0,0625	$6 \cdot 10^{-2}$	0,07
Fe	26	4,70	4,65	4,63	5,7	1,31(6)
Ga	31	$n \cdot 10^{-9}$	0,0019	0,0015	$1,7 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$
Gd	64	–	$8 \cdot 10^{-4}$	$5,3 \cdot 10^{-4}$	$6,5 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-5}$
Ge	32	$n \cdot 10^{-9}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-6}$
H	1	0,88	–	–	0,1	17,25
He	2	–	–	–	$6 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-6}$
Hf	72	$3 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-5}$
Hg	80	$n \cdot 10^{-5}$	$8,3 \cdot 10^{-6}$	$8 \cdot 10^{-6}$	$4,6 \cdot 10^{-6}$	$7 \cdot 10^{-6}$
Ho	67	–	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-5}$
In	49	$n \cdot 10^{-9}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-6}$
I	53	$n \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$5,0 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$
K	19	2,4	2,5	2,09	1,8	1,05 (1,6)
Kr	36	–	–	–	$4,2 \cdot 10^{-9}$	$4 \cdot 10^{-9}$
La	57	–	$2,9 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-5}$
Li	3	0,004	0,0032	0,002	$2 \cdot 10^{-3}$	0,012
Lu	71	–	$8 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$0,8 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$
Mg	12	1,94	1,87	2,33	2,4	1,72 (3,0)
Mn	25	0,08	0,1	0,095	0,09	0,03 (0,09)
Mo	42	$n \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$
N	7	0,03	0,0019	0,002	$2 \cdot 10^{-3}$	0,05
Na	11	2,64	2,5	2,36	2,3	1,82 (2,3)
Nb	41	–	0,002	0,002	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-6}$
Nd	60	–	$3,7 \cdot 10^{-3}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$2,4 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$

Окончание табл. 4.3

1	2	3	4	5	6	7
Ne	10	–	–	–	$7{,}7 \cdot 10^{-8}$	$4 \cdot 10^{-7}$
Ni	28	0,018	0,0058	0,0075	$9{,}5 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$
O	8	49,52	47	46,4	46	53, 39
P	15	0,12	0,093	0,105	0,1	0,07 (0,08)
Pb	82	$2 \cdot 10^{-3}$	$1{,}6 \cdot 10^{-3}$	$1{,}25 \cdot 10^{-3}$	$0{,}9 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-4}$
Pr	59	–	$9 \cdot 10^{-4}$	$8{,}2 \cdot 10^{-4}$	$5{,}7 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-5}$
Rb	37	$n \cdot 10^{-3}$	0,015	0,009	$9 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$
Re	75	–	$7 \cdot 10^{-8}$	–	$7 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-8}$
S	16	0,048	0,047	0,026	0,03	0,05
Sb	51	$n \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$7 \cdot 10^{-6}$
Sc	21	$n \cdot 10^{-5}$	0,001	0,0022	$2{,}4 \cdot 10^{-3}$	0,22
Se	34	$n \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$1{,}5 \cdot 10^{-5}$
Si	14	25,75	29	28,15	27,7	16,11(26,7)
Sm	62	–	$8 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-4}$	$6{,}5 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-5}$
Sn	50	$n \cdot 10^{-4}$	$2{,}5 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$1{,}9 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$
Sr	38	0,017	0,034	0,0375	$3{,}8 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-3}$
Ta	73	–	$2{,}5 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$2{,}3 \cdot 10^{-6}$
Tb	65	–	$4{,}3 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-5}$
Th	90	$2 \cdot 10^{-3}$	$1{,}3 \cdot 10^{-3}$	$9{,}6 \cdot 10^{-4}$	$7{,}3 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$
Ti	22	0,58	0,45	0,57	0,6	0,22 (0,6)
Tl	81	$n \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$4{,}3 \cdot 10^{-5}$	$0{,}7 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-7}$
Tu	69	–	$2{,}7 \cdot 10^{-5}$	$4{,}8 \cdot 10^{-5}$	$0{,}2 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-5}$
U	92	$8 \cdot 10^{-3}$	$2{,}5 \cdot 10^{-4}$	$2{,}7 \cdot 10^{-4}$	$1{,}5 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-5}$
V	23	0,016	0,009	0,0135	$1{,}9 \cdot 10^{-2}$	$7 \cdot 10^{-3}$
W	74	$5 \cdot 10^{-3}$	$1{,}3 \cdot 10^{-4}$	$1{,}5 \cdot 10^{-4}$	$1{,}1 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-5}$
Xe	54	–	–	–	$3{,}4 \cdot 10^{-10}$	$4 \cdot 10^{-10}$
Y	39	–	0,002	0,0033	$2{,}6 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$
Yb	70	–	$3{,}3 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$	$2{,}6 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-5}$
Zn	30	0,004	0,0083	0,007	$8{,}7 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Zr	40	0,023	0,017	0,0165	$1{,}3 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3}$

А.Е. Ферсман предложил называть среднее содержание химического элемента как в земной коре в целом, так и в ее самостоятельных крупных частях, «кларком». Массовые кларки, показывающие процентное содержание элементов в земной коре от ее общей массы, получили очень широкое распространение, так как отражают наиболее общие закономерности распределения вещества в важнейшей для живых организмов оболочке. Однако, выполняя расчеты, следует помнить, что при некоторых процессах в земной коре идет взаимодействие атомов, а их число не соответствует массовым кларкам. В этих случаях удобнее пользоваться *атомными марками,* показывающими, какой процент составляют атомы данного элемента от их общего числа в земной коре. Эти определения были сделаны А.Е. Ферсманом и П.Н. Чирвинским (см. табл. 4.3). Кроме того, для литосферы были определены *объемные кларки*. Они показывают, какой процент в объемном выражении (в расчет берутся электростатические поля атомов) занимает данный элемент в объеме всей литосферы.

В западных странах часто содержание выражается в «млн$^{-1}$», «г/т», «млрд$^{-1}$». Соотношение между этими единицами и массовыми процентами приводится в табл. **4.4.**

Таблица 4.4

Эквиваленты

Массовые, %	млн $^{-1}$ или г/т	Массовые, %	млн $^{-1}$ или г/т	млрд$^{-1}$	Массовые, %	млн $^{-1}$ или г/т	млрд$^{-1}$
1	10000	$1 \cdot 10^{-3}$	10	–	$1 \cdot 10^{-6}$	0,01	10
0,1	1000	$1 \cdot 10^{-4}$	1	1000	$1 \cdot 10^{-7}$	0,001	1
0,01	100	$1 \cdot 10^{-5}$	0,1	100	$1 \cdot 10^{-8}$	0,0001	0,1

Основные закономерности распространения элементов в земной коре. Некоторые закономерности сразу видны из табл. 4.5, для выявления других потребовались специальные исследования. А.Е. Ферсман предложил для наглядности использовать полулогарифмический график, на котором по оси абсцисс отложены порядковые номера элементов, по оси ординат — логарифмы атомных кларков, а две кривые соединяют «четно» и «нечетно» атомные элементы (рис. 4.10).

В.И. Вернадский разделил элементы по декадам, выделив последовательно в каждую элементы с содержаниями «по десяткам»: в первую те, содержание которых больше 10%, во вторую — от 1 до 10%, в третью — от 0,1 до 1% и т.д. (табл. 4.5).

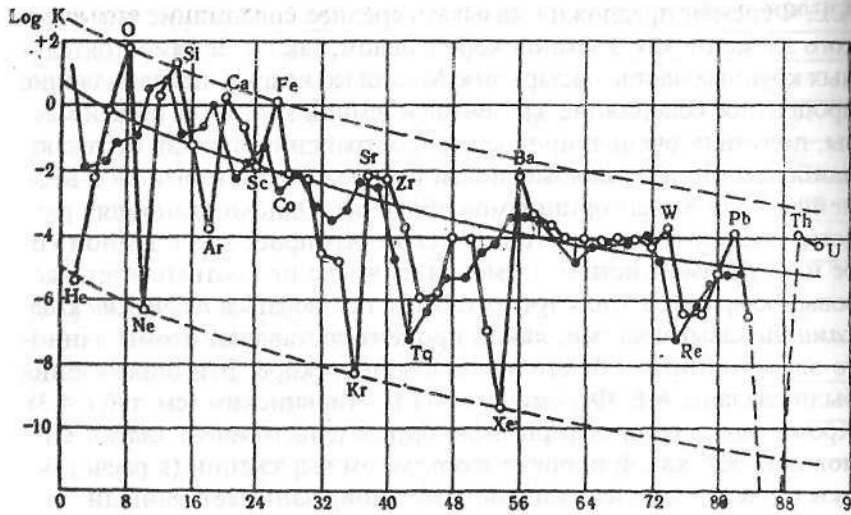


Рис. 4.10. Логарифмы атомных кларков элементов (по А.Е. Ферсману)

Таблица 4.5

Распространенность элементов в земной коре по первым декадам В.И.Вернадского

Декады	Число элементов по атомным кларкам	Сумма массовых кларков	Число элементов по атомным кларкам	Сумма атомных кларков
I	2	75,13	3	86,75
I + II	9	98,13	9	98,86
I + II + III	15	99,61	12	99,69
I + II + III + IV	26	99,94	18	99,97
I + II + III + IV + V	38	99,99	31	99,99

Разделение по декадам сделано с учетом массовых и атомных кларков, которые несколько изменились за последние годы, но в целом картина и закономерности сохранились полностью. Рассмотрим их.

1. Элементы распространены в земной коре крайне неравномерно. Одних из них в миллиард миллиардов раз (от $n \cdot 10$ до $n \cdot 10^{-16}$) больше, чем других. На долю только O и Si приходится около 70% массы земной коры. Если к ним добавить еще шесть — Al, Fe, Ca, Mg, K, Na, то их суммарная масса составит около 98% массы коры. Добавив к ним еще 29 наиболее распространенных элементов, получим прибавку всего более 1%, при этом доля большей части

(по числу) всех оставшихся элементов составит лишь первые сотые доли процентов массы земной коры.

Если учитывать объемы атомов, то рассматриваемая неравномерность станет еще более контрастной.

Многими исследователями химические элементы группировались с учетом их кларковых содержаний. Так, иногда *породообразующими* называются девять наиболее распространенных в литосфере химических элементов: O, Si, Al, Fe, Ca, K, Na, Mg, Ti. На их долю приходится 99,5% массы земной коры.

Элементы с массовым кларком меньше $1 \cdot 10^{-2}$% часто называют *редкими*. Однако при таком подходе к редким должно относиться более 70% химических элементов, известных в земной коре. Ясна бессмысленность такого названия. Но даже уменьшив еще в 100 раз пороговое содержание (до $1 \cdot 10^{-4}$%), мы должны будем более 1/3 элементов считать редкими. Совершенно другой смысл в это понятие вкладывал А.И. Гинзбург, относивший к редким элементы, мало используемые человечеством. Приведенные данные указывают на необходимость осторожного подхода к термину «редкие элементы».

Довольно часто употребим (особенно в биогеохимической литературе) и термин «микроэлементы». Перельман рекомендует (1979) употреблять его только с указанием конкретной природной системы. Так, Al— микроэлемент в организмах и макроэлемент в литосфере. В качестве порогового значения предложено брать $1 \cdot 10^{-2}$%.

2. Рассматривая кривую Ферсмана (см. рис. 4.10), легко заметить, что положение большей части элементов колеблется, не отходя далеко от условной усредняющей (на рисунке она показана сплошной линией). По отношению к усредненному распространению выделяются элементы, резко преобладающие — избыточные и с особо малым содержанием — недостаточные.

• К избыточным относятся O, Al, Si, Fe, Ba, Th. Несколько условно к ним иногда причисляют K, Ca, Pb. Объяснить их избыточное распространение какой-либо одной важнейшей причиной пока не удалось. Можно только отметить, что за исключением Al и K все они имеют четные атомные номера, а атомные массы большинства кратны четырем.

• К недостаточным относятся резко дефицитные инертные газы He, Ne, Kr, Xe, Ar, а также Li, Be, B. Малая распространенность благородных газов объясняется двумя гипотезами. Первая предполагает их постоянный отток от Земли — так называемое «гелиевое дыхание Земли». Эта гипотеза является более распространен-

ной среди геохимиков, начиная с В.И. Вернадского и А.Е. Ферсмана. По второй гипотезе еще при формировании планеты инертные газы оттеснялись от сгущавшихся частиц (как это наблюдается в хвостах планет) и были дефицитными на этой стадии.

Низкие кларки Li, Be, B обычно объясняются недостаточной устойчивостью их атомных ядер. Это подтверждается экспериментальными данными.

• Ведущим химическим элементом земной коры является кислород. Его массовый кларк определяется в пределах 46,28—49%, атомный — 53,3%, а объемный 92%. Это позволяет считать земную кору кислородной сферой. В биосфере несколько возрастает относительная роль гидросферы, состоящей из H и O, в связи с чем еще больше увеличивается содержание кислорода. Он же определяет возможность развития подавляющего большинства организмов, а основная часть свободного кислорода в биосфере считается продуктом фотосинтеза.

По имеющимся расчетам (И.Ф. Реймерс, 1990) в настоящее время свободный кислород образуется со скоростью $1{,}55 \cdot 10^9$ т/год, а расходуется со скоростью 2,16 • Ю^{10} т/год. Таким образом, сейчас расход свободного кислорода в ноосфере более чем в 10 раз превышает его образование. Есть над чем задуматься экологам!

Еще одна особенность: в земной коре, 92% объема которой приходится на долю кислорода, преобладают так называемые «бескислородные восстановительные обстановки». Это означает, что в большей части литосферы отсутствует свободный кислород. Даже в биосфере встречается довольно много зон с «бескислородными» глеевой и сероводородной обстановками. Иногда их размеры столь велики, что прорыв в атмосферу H_2S из таких зон может стать катастрофой планетарного масштаба. В нашей стране к одной из таких зон относится, например, Прикаспий. Нужно тщательно продумывать свою деятельность (в частности, добычу нефти и газа), чтобы не допустить возможности таких прорывов H_2S.

4. Возвращаясь к рис. 4.10, отметим, что содержание химических элементов в земной коре неравномерно убывает по мере увеличения их порядкового номера и атомных масс. Так, из шести элементов, составляющих 98% объема коры, наибольший порядковый номер 20, а наибольшая атомная масса — 40 (Ca). О резком преобладании легких элементов свидетельствует и средняя атомная масса земной коры, равная 17,25. Для сравнения вспомним, что атомная масса As равна 74,92, Sr — 87,62, Cd — 112,41, W — 183,8, Hg - 200,5, Pb - 207,2 и U - 238,2. В биосфере, представ-

ляющей верхний слой земной коры с существенной ролью гидросферы и атмосферы, преобладание легких элементов выражено еще более контрастно.

Рассмотренная закономерность позволила автору сделать следующий важный для экологической геохимии вывод:

процесс эволюционного развития живых организмов происходил в среде с резким преобладанием легких химических элементов над тяжелыми.

Исходя из этого, становятся понятными токсичность тяжелых металлов при их повышенной концентрации и «биологическая важность» элементов в зависимости от их положения относительно линии питательных веществ (см. гл. 2).

5. В таблице Д.И. Менделеева элементы с четными порядковыми номерами и четными значениями атомной массы являются более распространенными, чем рядом расположенные элементы с нечетными значениями атомной массы. Эта закономерность была установлена итальянцем Г. Оддо и американцем В. Гаркинсом и получила название Оддо—Гаркинса. Всего же массовые кларки четных элементов составляют в сумме более 86%.

6. Особым преобладанием в земной коре отличаются элементы, атомная масса которых кратна четырем: O (16), Mg (24), Si (28), Ca (40). В связи с этим можно предполагать, что если бы не удаление с Земли He, Ne, Ar, то их кларки были бы несравненно большими.

7. Среди изотопов одного элемента обычно преобладают те, массовое число которых кратно четырем. Особо наглядно это выглядит на примере кислорода и серы (значения указаны в процентах):

^{16}O — 99,75	^{32}S — 95,1	^{34}S — 4,22
^{17}O — 0,04	^{33}S — 0,75	^{36}S — 0,02
^{18}O — 0,20		

8. У нечетных и четных элементов начала таблицы Менделеева наибольшие кларки характерны для шестых по порядковому номеру элементов: у нечетных — H (1), N (7), Al (13), K (19), Mn (25); у четных — O (8), Si (14), Ca (20), Fe (26). Объяснения этой закономерности пока нет.

Подводя итог рассмотрению закономерностей распространения элементов в земной коре, можно сказать, что в ней резко преобладают легкие элементы с четными порядковыми номерами и атомными массами, представленные изотопами типа 4 n с устойчивыми ядрами и удерживающиеся гравитационным полем Земли.

4.5.2. Местные кларковые содержания

Рассмотренные выше закономерности распределения химических элементов характеризовали земную кору в среднем, без учета отдельных регионов с преобладанием пород конкретного типа. Можно считать, что процесс развития живых организмов в целом шел на Земле в эколого-геохимических условиях, определяемых именно этими закономерностями. Однако в зависимости от геологического строения и преимущественного развития в отдельных регионах пород того или иного типа среднее содержание некоторых химических элементов в их пределах может существенно отличаться от среднего содержания этих же элементов в других регионах и от кларка земной коры в целом.

Чтобы охарактеризовать общие геохимические особенности таких регионов, было введено такое понятие, как *местные,* или *региональные, кларки*. Они представляют собой средние содержания химических элементов в земной коре определенных регионов и могут быть массовыми, атомными, объемными.

Частные кларковые содержания могут устанавливаться только для крупных геологических структур, таких как Русская платформа, Урал, Кавказ, Алтай и др. Как правило, такие структуры весьма существенно отличаются друг от друга по величинам местных кларков отдельных химических элементов. Так, например, для Урала повышены значения региональных кларков Mg, Ni, для Алтая — Pb, Ag, для Джунгарского Алатау и Каратау — PЬ и Zn.

Для того чтобы количественно охарактеризовать геохимические особенности отдельных геохимических систем и подчеркнуть их отличие от среднего химического состава литосферы, Вернадским в 1937 г. было введено такое понятие, как *кларк концентрации*. Он представляет собой отношение местного кларка химического элемента к кларку земной коры этого же элемента.

4.5.3. Кларки различных типов горных пород, почв, океанических осадков, вод. Их возможное влияние на организмы

Магматические горные породы. По массе эти породы составляют подавляющую часть земной коры и большую часть биосферы. Если рассматривать эволюцию живого вещества в зависимости от химического (и минералогического) состава среды его обитания, то можно считать, что содержание химических элементов имен-

но в магматических породах определяло геохимические условия существования первых организмов*. Различия химического состава отдельных типов магматических пород изучались практически всеми ведущими геохимиками. К настоящему времени разработано довольно стройное геохимическое учение об изменении состава пород в зависимости от температур и последовательности их формирования.

Считается, что с понижением температур идет формирование магматических пород по следующей схеме:

Ультраосновные -* Основные -+ Кислые (породы).

В наиболее высокотемпературных условиях (на так называемой стадии протокристаллизации) собственные минералы образуют в первую очередь четно-атомные элементы с малыми размерами ионных радиусов. Атомные массы большинства из них кратны четырем. Значения их энергетических коэффициентов довольно высоки, а следовательно, высоки и энергии кристаллических решеток образуемых минералов (форстерит — 17 574, слюда — 12 560, полевые шпать! 10 048 кДж). Основными элементами, отвечающими этим требованиям, являются Mg, Si, *Q,* Ti, Ee, Ni, Cr, Pt, Ru, Os, C, S, £a (у подчеркнутых атомные массы кратны 4).

Особо следует отметить, что стадия протокристаллизации проходила в восстановительных условиях, о чем свидетельствуют встречающиеся в основных породах сульфиды, карбиды, углерод. В условиях биосферы минералы, образовавшиеся на этой стадии, довольно быстро разрушаются. Составляющие их элементы начинают переходить в растворы, становясь особо доступными живым организмам.

Высокие температуры протокристаллизации способствовали изоморфному накоплению в минералах элементов-примесей. Так как они являются геохимическими аналогами основных минералообразующих элементов, то *при выветривании магматических пород* в условиях биосферы более *доступными для организмов становятся сразу целые группы химических элементов — геохимических аналогов*. Особое влияние таких групп элементов на накопление их организмами и на состояние этих организмов рассматривается в гл. 6.

* Составом магматических пород, в принципе, определяется и состав большей части биосферы, так как за счет этих пород в основном формировались осадочные породы, осадки и почвы.

Кларки химических элементов в породах

Элемент	Номер элемента	Земная кора[1] (по данным А.П.Виноградова)	Ультраосновные породы	Основные породы	Средние породы (сиениты)	Кислые
			по данным H.Turekian, K.Wedepohl			богатые Ca
1	2	3	4	5	6	7
Ag	47	$7 \cdot 10^{-6}$	$6 \cdot 10^{-6}$	$1{,}1 \cdot 10^{-5}$	$n \cdot 10^{-6}$	$5{,}1 \cdot 10^{-6}$
Al	13	8,05	2	7,8	8,8	8,2
As	33	$1{,}7 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$1{,}4 \cdot 10^{-4}$	$1{,}9 \cdot 10^{-4}$
Au	79	$4{,}3 \cdot 10^{-7}$	$6 \cdot 10^{-7}$	$4 \cdot 10^{-7}$	$n \cdot 10^{-7}$	$4 \cdot 10^{-7}$
B	5	$1{,}2 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-4}$
Ba	56	$6{,}5 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-5}$	$3{,}3 \cdot 10^{-2}$	$1{,}6 \cdot 10^{-1}$	$4{,}2 \cdot 10^{-2}$
Be	4	$3{,}8 \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$
Bi	83	$9 \cdot 10^{-7}$	–	$7 \cdot 10^{-7}$	–	–
Br	35	$2{,}1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$3{,}6 \cdot 10^{-4}$	$2{,}7 \cdot 10^{-4}$	$4{,}5 \cdot 10^{-4}$
Ca	20	3,96	2,5	7,6	1,8	2,53
Cd	48	$1{,}3 \cdot 10^{-6}$	$n \cdot 10^{-5}$	$2{,}2 \cdot 10^{-5}$	$1{,}3 \cdot 10^{-5}$	$1{,}3 \cdot 10^{-5}$
Ce	58	$7 \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-5}$	$4{,}8 \cdot 10^{-3}$	$1{,}61 \cdot 10^{-2}$	$8{,}1 \cdot 10^{-3}$
Cl	17	$1{,}7 \cdot 10^{-2}$	$8{,}5 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$5{,}2 \cdot 10^{-2}$	$1{,}3 \cdot 10^{-2}$
Co	27	$1{,}8 \cdot 10^{-3}$	$1{,}5 \cdot 10^{-2}$	$4{,}8 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-4}$
Cr	24	$8{,}3 \cdot 10^{-3}$	$1{,}6 \cdot 10^{-1}$	$1{,}7 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$2{,}2 \cdot 10^{-4}$
Cs	55	$3{,}7 \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-5}$	$1{,}1 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-4}$
Cu	29	$4{,}7 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$8{,}7 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-3}$
Er	68	$3{,}3 \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-5}$	$2{,}1 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-4}$	$3{,}5 \cdot 10^{-4}$
Eu	63	$1{,}3 \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-5}$	$2{,}8 \cdot 10^{-4}$	$1{,}4 \cdot 10^{-4}$
F	9	$6{,}6 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2}$	$1{,}2 \cdot 10^{-1}$	$5{,}2 \cdot 10^{-2}$
Fe	26	4,65	9,43	8,65	3,67	2,96
Ga	31	$1{,}9 \cdot 10^{-3}$	$1{,}5 \cdot 10^{-4}$	$1{,}7 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$1{,}7 \cdot 10^{-3}$
Gd	64	$8 \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-5}$	$5{,}3 \cdot 10^{-4}$	$1{,}8 \cdot 10^{-3}$	$8{,}8 \cdot 10^{-4}$
Ge	32	$1{,}4 \cdot 10^{-4}$	$1{,}5 \cdot 10^{-4}$	$1{,}3 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1{,}3 \cdot 10^{-4}$
Hf	72	$1 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$1{,}1 \cdot 10^{-3}$	$2{,}3 \cdot 10^{-4}$
Hg	80	$8{,}3 \cdot 10^{-6}$	$n \cdot 10^{-6}$	$9 \cdot 10^{-6}$	$n \cdot 10^{-6}$	$8 \cdot 10^{-6}$
Ho	67	$1{,}7 \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-5}$	$1{,}1 \cdot 10^{-4}$	$3{,}5 \cdot 10^{-4}$	$1{,}8 \cdot 10^{-4}$
In	49	$2{,}5 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$2{,}2 \cdot 10^{-5}$	$n \cdot 10^{-6}$	$n \cdot 10^{-6}$

Таблица 4.6

и в почве континентов, % массы

почвы	Сланцы	Сланцы + глина	Песчаник	Карбонаты	Почвы (по данным А.П.Виноградова)
бедные Ca	по данным H.Turekian, K. Wedeohi				
8	9	10	11	12	13
$3,7 \cdot 10^{-6}$	$7 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$n \cdot 10^{-6}$	$n \cdot 10^{-6}$	$n \cdot 10^{-5*}$
7,2	8	10,45	2,5	$4,2 \cdot 10^{-1}$	7,13
$1,5 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$6,6 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$
$4 \cdot 10^{-7}$	$n \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$n \cdot 10^{-7}$	$n \cdot 10^{-7}$	–
$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$3,5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$
$8,4 \cdot 10^{-2}$	$5,8 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-2}$
$3 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-5}$	$n \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-4*}$
$1 \cdot 10^{-6}$	–	$1 \cdot 10^{-6}$	–	–	–
$1,3 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$6,2 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$
$5,1 \cdot 10^{-1}$	2,21	2,53	3,91	30,23	1,37
$1,3 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$	$n \cdot 10^{-6}$	$3,5 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-5*}$
$9,2 \cdot 10^{-3}$	$5,9 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$9,2 \cdot 10^{-3}$	$1,15 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$
$2 \cdot 10^{-2}$	$1,8 \cdot 10^{-2}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$
$1 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-4}$
$4,1 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$3,5 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-2}$
$4 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-5}$	$n \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-4}$
$1 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$	$5,7 \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-3}$
$4 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-5}$	–
$1,6 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-5}$	–
$8,5 \cdot 10^{-2}$	$7,4 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$2,7 \cdot 10^{-2}$	$3,3 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$
1,42	4,72	3,33	$9,8 \cdot 10^{-1}$	$3,8 \cdot 10^{-1}$	3,8
$1,7 \cdot 10^{-3}$	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-3*}$
$1 \cdot 10^{-3}$	$6,4 \cdot 10^{-4}$	$6,5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	–
$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$n \cdot 10^{-4*}$
$3,9 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-4}$	$3,9 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-4}$
$8 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6*}$
$2 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-5}$	–
$2,6 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$n \cdot 10^{-6}$	$n \cdot 10^{-6}$	–

1	2	3	4	5	6	7
J	53	$4 \cdot 10^{-5*}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$
K	19	2,5	$4 \cdot 10^{-3}$	$8{,}3 \cdot 10^{-1}$	4,8	2,52
La	57	$2{,}9 \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-5}$	$1{,}5 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-3}$	$4{,}5 \cdot 10^{-3}$
Li	3	$3{,}2 \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-5}$	$1{,}7 \cdot 10^{-3}$	$2{,}8 \cdot 10^{-3}$	$2{,}4 \cdot 10^{-3}$
Lu	71	$8 \cdot 10^{-5}$	$n \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-5}$	$2{,}1 \cdot 10^{-4}$	$1{,}1 \cdot 10^{-4}$
Mg	12	1,87	20,4	4,6	$5{,}8 \cdot 10^{-1}$	$9{,}4 \cdot 10^{-1}$
Mn	25	$1 \cdot 10^{-1}$	$1{,}62 \cdot 10^{-1}$	$1{,}5 \cdot 10^{-1}$	$8{,}5 \cdot 10^{-2}$	$5{,}4 \cdot 10^{-2}$
Mo	42	$1{,}1 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-5}$	$1{,}5 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$
N	7	$1{,}9 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$
Na	11	2,5	$4{,}2 \cdot 10^{-1}$	1,8	4,04	2,84
Nb	41	$2 \cdot 10^{-3}$	$1{,}6 \cdot 10^{-3}$	$1{,}9 \cdot 10^{-3}$	$3{,}5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$
Nd	60	$3{,}7 \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$6{,}5 \cdot 10^{-3}$	$3{,}3 \cdot 10^{-3}$
Ni	28	$5{,}8 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$1{,}3 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$1{,}5 \cdot 10^{-3}$
P	15	$9{,}3 \cdot 10^{-2}$	$2{,}2 \cdot 10^{-2}$	$1{,}1 \cdot 10^{-1}$	$8 \cdot 10^{-2}$	$9{,}2 \cdot 10^{-2}$
Pb	82	$1{,}6 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-4}$	$1{,}2 \cdot 10^{-3}$	$1{,}5 \cdot 10^{-3}$
Pd	46	$1{,}3 \cdot 10^{-6}$	$1{,}2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-6}$	–	$n \cdot 10^{-7}$
Pr	59	$9 \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-5}$	$4{,}6 \cdot 10^{-4}$	$1{,}5 \cdot 10^{-3}$	$7{,}7 \cdot 10^{-4}$
Rb	37	$1{,}5 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$1{,}1 \cdot 10^{-2}$	$1{,}1 \cdot 10^{-2}$
S	16	$4{,}7 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$
Sb	51	$5 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$n \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$
Sc	21	$1 \cdot 10^{-3}$	$1{,}5 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$1{,}4 \cdot 10^{-3}$
Se	34	$5 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$
Si	14	29	20,5	23	29,1	31,4
Sm	62	$8 \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-5}$	$5{,}3 \cdot 10^{-4}$	$1{,}8 \cdot 10^{-3}$	$8{,}8 \cdot 10^{-4}$
Sn	50	$2{,}5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$1{,}5 \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-4}$	$1{,}5 \cdot 10^{-4}$
Sr	38	$3{,}4 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$4{,}65 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$4{,}4 \cdot 10^{-2}$
Ta	73	$2{,}5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1{,}1 \cdot 10^{-4}$	$2{,}1 \cdot 10^{-4}$	$3{,}6 \cdot 10^{-4}$
Tb	65	$4{,}3 \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-4}$	$2{,}8 \cdot 10^{-4}$	$1{,}4 \cdot 10^{-4}$
Th	90	$1{,}3 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-7}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$1{,}3 \cdot 10^{-3}$	$8{,}5 \cdot 10^{-4}$
Ti	22	$4{,}5 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-2}$	1,38	$3{,}5 \cdot 10^{-1}$	$3{,}4 \cdot 10^{-1}$
Tl	81	$1 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-6}$	$2{,}1 \cdot 10^{-5}$	$1{,}4 \cdot 10^{-4}$	$7{,}2 \cdot 10^{-5}$
Tm	69	$2{,}7 \cdot 10^{-5}$	$n \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$
U	92	$2{,}5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$

Продолжение табл. 4.6

8	9	10	11	12	13
$5 \cdot 10^{-5}$	$2{,}2 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1{,}7 \cdot 10^{-4}$	$1{,}2 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$*
4,2	2,6	2,28	1,07	$2{,}7 \cdot 10^{-1}$	1,36
$5{,}5 \cdot 10^{-3}$	$9{,}2 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-3}$
$4 \cdot 10^{-3}$	$6{,}6 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$1{,}5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-3}$
$1{,}2 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-5}$	$7 \cdot 10^{-5}$	$1{,}2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-5}$	–
$1{,}6 \cdot 10^{-1}$	1,5	1,34	$7 \cdot 10^{-1}$	4,7	$6{,}3 \cdot 10^{-1}$
$3{,}9 \cdot 10^{-2}$	$8{,}5 \cdot 10^{-2}$	$6{,}7 \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-3}$	$1{,}1 \cdot 10^{-1}$	$8{,}5 \cdot 10^{-2}$
$1{,}3 \cdot 10^{-4}$	$2{,}6 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-4}$*
$2 \cdot 10^{-3}$	–	$6 \cdot 10^{-2}$	–	–	$1 \cdot 10^{-1}$*
2,58	$9{,}6 \cdot 10^{-1}$	$6{,}6 \cdot 10^{-1}$	$3{,}3 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-2}$	$6{,}3 \cdot 10^{-1}$
$2{,}1 \cdot 10^{-3}$	$1{,}1 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-5}$	–
$3{,}7 \cdot 10^{-3}$	$2{,}4 \cdot 10^{-3}$	$2{,}3 \cdot 10^{-3}$	$3{,}7 \cdot 10^{-3}$	$4{,}7 \cdot 10^{-4}$	–
$4{,}5 \cdot 10^{-4}$	$6{,}8 \cdot 10^{-3}$	$9{,}5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$
$6 \cdot 10^{-2}$	$7 \cdot 10^{-2}$	$7{,}7 \cdot 10^{-2}$	$1{,}7 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-2}$
$1{,}9 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$
$n \cdot 10^{-7}$	–	–	–	–	–
$8{,}8 \cdot 10^{-4}$	$5{,}6 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$8{,}8 \cdot 10^{-4}$	$1{,}1 \cdot 10^{-4}$	–
$1{,}7 \cdot 10^{-2}$	$1{,}4 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-2}$
$3 \cdot 10^{-2}$	$2{,}4 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$	$2{,}4 \cdot 10^{-2}$	$1{,}2 \cdot 10^{-1}$	$8{,}5 \cdot 10^{-2}$
$2 \cdot 10^{-5}$	$1{,}5 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-5}$	–
$7 \cdot 10^{-4}$	$1{,}3 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-4}$
$5 \cdot 10^{-6}$	$6 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$8 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$*
34,7	7,3	23,8	36,8	2,4	33
$1 \cdot 10^{-3}$	$6{,}4 \cdot 10^{-4}$	$6{,}5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1{,}3 \cdot 10^{-4}$	–
$3 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-5}$	$n \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-3}$*
$1 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$4{,}5 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$6{,}1 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$
$4{,}2 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-5}$	$3{,}5 \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-6}$	$n \cdot 10^{-6}$	–
$1{,}6 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-5}$	$1{,}6 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-5}$	–
$1{,}7 \cdot 10^{-3}$	$1{,}2 \cdot 10^{-3}$	$1{,}1 \cdot 10^{-3}$	$1{,}7 \cdot 10^{-4}$	$1{,}7 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-4}$
$1{,}2 \cdot 10^{-1}$	$4{,}6 \cdot 10^{-1}$	$4{,}5 \cdot 10^{-1}$	$1{,}5 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-2}$	$4{,}6 \cdot 10^{-1}$
$2{,}3 \cdot 10^{-4}$	$1{,}4 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$8{,}2 \cdot 10^{-5}$	$n \cdot 10^{-6}$	–
$3 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2{,}5 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-6}$	–
$3 \cdot 10^{-4}$	$3{,}7 \cdot 10^{-4}$	$3{,}2 \cdot 10^{-4}$	$4{,}5 \cdot 10^{-5}$	$2{,}2 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$

1	2	3	4	5	6	7
V	23	$9 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$2{,}5 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$8{,}8 \cdot 10^{-3}$
W	74	$1{,}3 \cdot 10^{-4}$	$7{,}7 \cdot 10^{-5}$	$7 \cdot 10^{-5}$	$1{,}3 \cdot 10^{-4}$	$1{,}3 \cdot 10^{-4}$
Y	39	$2 \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-5}$	$2{,}1 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$3{,}5 \cdot 10^{-3}$
Yb	70	$3{,}3 \cdot 10^{-5}$	$n \cdot 10^{-5}$	$2{,}1 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-4}$	$3{,}5 \cdot 10^{-4}$
Zn	30	$8{,}3 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$1{,}05 \cdot 10^{-2}$	$1{,}3 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-3}$
Zr	40	$1{,}7 \cdot 10^{-2}$	$4{,}5 \cdot 10^{-3}$	$1{,}4 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$1{,}4 \cdot 10^{-2}$

Примечания. Одной чертой подчеркнуты максимальное и минимальное значения кларкового содержания
$n \cdot 10^{-5}$* – содержание требует уточнения.

По мере падения температур (стадия мезокристаллизации) в породах в первую очередь увеличивается содержание SiO_2 — начинают образовываться гранитоиды. При этом уменьшается роль двухвалентных катионов (Mg^{2+}, Fe^{2+}, Ca^{2+}) и возрастает одновалентных (Na^+, K^+). Отмечается тенденция к увеличению ионных радиусов. По сравнению со стадией протвкристаллизации идет накопление элементов с меньшими значениями ЭК и ионными потенциалами Картледжа. (Особенности поведения таких элементов в биосфере и их доступность организмам рассмотрены в гл. 2, 5, 6.)

При переходе к кислым породам еще продолжают преобладать четно-атомные элементы (O, Si), но резко возрастает роль нечетно-атомных (Al, K, Na), усложняется структура основных породообразующих минералов.

Анализируя в целом кларки магматических пород, можно отметить, что несмотря на определенные отличия ультраосновных, основных и кислых пород особенности распределения их кларков близки к уже рассмотренным особенностям распределения кларков земной коры. Однако для развития живых организмов важны (не менее, чем абсолютная концентрация каждого из элементов) возможные колебания содержания одного и того же элемента, вызванные преимущественным развитием еще в «прарегионе» конкретных типов магматических горных пород. Чтобы рассмотреть такие колебания и их вероятное влияние на живые организмы, автором определялся абсолютный разброс содержания для каждого элемента. Он устанавливался по отношению максимального кларкового содержания элемента, характерного для магматических пород одного типа, к минимальному кларковому содержанию, характеризующему, естественно, уже другой тип магматических пород (табл. 4.6, 4.7).

Окончание табл. 4.6

8	9	10	11	12	13
$4{,}4 \cdot 10^{-3}$	$1{,}3 \cdot 10^{-2}$	$1{,}3 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$
$2{,}2 \cdot 10^{-4}$	$1{,}8 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$1{,}6 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-5}$	–
$4 \cdot 10^{-3}$	$2{,}6 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$*
$4 \cdot 10^{-4}$	$2{,}6 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-5}$	–
$3{,}9 \cdot 10^{-3}$	$9{,}5 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-3}$	$1{,}5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$
$1{,}75 \cdot 10^{-2}$	$1{,}6 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$2{,}2 \cdot 10^{-2}$	$1{,}9 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-2}$

элемента в магматических породах; двумя чертами – то же, но в осадочных породах;

Таблица 4.7

Величины абсолютных (АР) и относительных (ОР) разбросов кларковых содержаний химических элементов в магматических породах, породах континентов и образованиях океанического дна

Элемент	Номер элемента	Кларк земной коры	АР в породах		ОР в породах континентов	АР в образованиях дна Океана	ОР в образованиях дна Океана
			магматических	континентов			
1	2	3	4	5	6	7	8
Ag	47	$7 \cdot 10^{-6}$	2,9	13,5(3)	4,5	2,2	0,7
Al	13	8,05	4,4	24,9	5,7	4,2	0,9
As	33	$1{,}7 \cdot 10^{-4}$	2*	13	6,5	13	6,5
Au	79	$4{,}3 \cdot 10^{-7}$	1,5*	6	4	1,5	1
B	5	$1{,}2 \cdot 10^{-3}$	3,3	33,3	10	76,7	23,2
Ba	56	$6{,}5 \cdot 10^{-2}$	4000*	4000	1	5750	1,4
Be	4	$3{,}8 \cdot 10^{-4}$	6	12(6)	2(1)**	5,2	0,9
Bi	83	$9 \cdot 10^{-7}$	1,4*	1,4	1	–	–
Br	35	$2{,}1 \cdot 10^{-4}$	4,5	6,2	1,4	70	15,6
Ca	20	3,96	14,9	59,3	4	12,5	0,84
Cd	48	$1{,}3 \cdot 10^{-6}$	3,8	14,3	3,76	10	2,6
Ce	58	$7 \cdot 10^{-3}$	322*	322	1	690	2,14
Cl	17	$1{,}7 \cdot 10^{-2}$	8,7	52	6	350	40,4
Co	27	$1{,}8 \cdot 10^{-3}$	150*	1500	10	214,3	1,4
Cr	24	$8{,}3 \cdot 10^{-3}$	800*	800	1	145	0,18
Cs	55	$3{,}7 \cdot 10^{-4}$	8	24	3	15	1,9
Cu	29	$4{,}7 \cdot 10^{-3}$	17,4	21,7	1,3	25	1,4
Er	68	$3{,}3 \cdot 10^{-4}$	14	14	1	30	2,1
Eu	63	$1{,}3 \cdot 10^{-4}$	5,6	14	2,5	12	2,1

Продолжение табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8
F	9	$6{,}6 \cdot 10^{-2}$	12	12	1	13	1,1
Fe	26	4,65	6,6	24,8	3,7	10,5	1,6
Ga	31	$1{,}9 \cdot 10^{-3}$	20	20	1	13,3	0,7
Gd	64	$8 \cdot 10^{-4}$	36	36	1	76	2,1
Ge	32	$1{,}4 \cdot 10^{-4}$	1,5*	25(10)	16,7(6,6)	10	6,7
Hf	72	$1 \cdot 10^{-4}$	18,3	36,7	2	10	0,6
Hg	80	$8{,}3 \cdot 10^{-6}$	1,8*	40(13)	22,2(7,2)	10	5,6
Ho	67	$1{,}7 \cdot 10^{-4}$	7	11,7	1,7	15	2,1
In	49	$2{,}5 \cdot 10^{-5}$	26	26	1	22	0,8
J	53	$4 \cdot 10^{-5}$	1*	10(4)	10(4)	10	10
K	19	2,5	1200*	1200	1	625	0,5
La	57	$2{,}9 \cdot 10^{-3}$	140*	184	1,3	230	1,6
Li	3	$3{,}2 \cdot 10^{-3}$	80	132	1,7	114	1,4
Lu	71	$8 \cdot 10^{-5}$	4,2	10,5	2,5	9	2,1
Mg	12	1,87	127,5*	127,5	1	51	0,4
Mn	25	$1 \cdot 10^{-1}$	4,1	32,4	7,8	6,7	1,6
Mo	42	$1{,}1 \cdot 10^{-4}$	5	13	2,6	90	18
N	7	$1{,}9 \cdot 10^{-3}$	5	166,7(100)	33,3(20)	3,3	0,7
Na	11	2,5	9,62	101	10,5	9,5	1
Nb	41	$2 \cdot 10^{-3}$	2,1	700	333	4,1	1,9
Nd	60	$3{,}7 \cdot 10^{-3}$	130*	130	1	280	2,1
Ni	28	$5{,}8 \cdot 10^{-3}$	500*	1000	2	66,7	0,1
P	15	$9{,}3 \cdot 10^{-2}$	5	6,5	1,3	6,82	1,4
Pb	82	$1{,}6 \cdot 10^{-3}$	19	20	1	80	4,2
Pd	46	$1{,}3 \cdot 10^{-6}$	24	24	1	6	0,2
Pr	59	$9 \cdot 10^{-4}$	30	30	1	66	2,2
Rb	37	$1{,}5 \cdot 10^{-2}$	850*	1000	1,2	550	0,6
S	16	$4{,}7 \cdot 10^{-2}$	1*	12,5	12,5	4,3	4,3
Sb	51	$5 \cdot 10^{-5}$	5	40	8	10	2
Sc	21	$1 \cdot 10^{-3}$	10	30	3	15	1,5
Se	34	$5 \cdot 10^{-6}$	1*	60(12)	60(12)	3,4	3,4
Si	14	29	1,7*	15,3	9	7,81	4,6
Sm	62	$8 \cdot 10^{-4}$	36	36	1	76	2,1

Окончание табл. 4.7

1	2	3	4	5	6	7	8
Sn	50	$2,5 \cdot 10^{-4}$	10	20	2	3	0,3
Sr	38	$3,4 \cdot 10^{-2}$	465*	610	1,3	2000	4,3
Ta	73	$2,5 \cdot 10^{-4}$	4,2	84	20	22	5,2
Tb	65	$4,3 \cdot 10^{-4}$	16	40	2,5	16	1,0
Th	90	$1,3 \cdot 10^{-3}$	4250*	4250	1	1750	0,4
Ti	22	$4,5 \cdot 10^{-1}$	46	46	1	46	1
Tl	81	$1 \cdot 10^{-4}$	38,3	46	1,2	13,3	0,3
Tm	69	$2,7 \cdot 10^{-5}$	3	15	5	12	4
U	92	$2,5 \cdot 10^{-4}$	3000*	3700	1,2	1300	0,4
V	23	$9 \cdot 10^{-3}$	8,3	12,5	1,5	12,5	1,5
W	74	$1,3 \cdot 10^{-4}$	3,1	3,7	1,2	10	3,2
Y	39	$2 \cdot 10^{-3}$	80	100(80)	1,3(1)	180	2,3
Yb	70	$3,3 \cdot 10^{-5}$	14	14	1	30	2,1
Zn	30	$8,3 \cdot 10^{-3}$	3,3	8,67	2,6	4,7	1,4
Zr	40	$1,7 \cdot 10^{-2}$	11,1	26,3	2,4	7,5	0,7

Примечания. 2* – минимальный абсолютный разброс в магматических породах;
4000* – максимальный абсолютный разброс в магматических породах;
23,2 – максимальный относительный разброс в породах континентов и образованиях дна Океана;
2(1)** – в скобках данные без учета содержаний в почвах.

Чем выше абсолютная величина такого разброса, тем к большим последующим колебаниям концентраций должны быть приспособлены живые организмы (в этом случае мы говорим не о конкретных их видах, а о жизни на Земле как таковой). Кроме того, при больших значениях отношения C_{max}/C_{min} могут появляться организмы, существующие только при очень высоких или очень низких концентрациях в окружающей (питающей) среде конкретного элемента. Это явление довольно хорошо изучено по отношению к растениям в связи с поисками месторождений полезных ископаемых. Так, ряд растений произрастает только над рудами, где содержание металлов в сотни тысячи раз выше, чем во вмещающих их породах (см. 3.8.6; табл. 3.11). Другие растения, находящиеся в этих же условиях, или погибли, или приобрели совершенно нехарактерные физиологические и морфологические особенности (см. табл. 3.11). В последнем случае появляется возможность говорить о процессах мутации. Их началом (в зависимости

от изменения геохимической обстановки среды обитания) в истории развития жизни, вероятно, можно считать появление организмов, живущих при наиболее высоких (низких) концентрациях определенных элементов в различных типах магматических пород.

Рассмотрим распределение элементов с этой точки зрения. Разброс абсолютных значений отношения C_{max}/C_{min} для разных элементов в магматических породах колеблется от величины, близкой к единице, до 4250. (Естественно, что при дальнейшем уточнении кларковых значений указанные величины могут несколько измениться, но эти изменения не будут носить глобального характера и установленные закономерности сохранятся.) Ряд полученных цифр нами рассматривался как отдельная выборка. Распределение в ней значений C_{max}/C_{min} подчиняется логарифмически нормальному закону. Фоновой можно считать величину отношения, равную 13 при «минимально аномальных» значениях 127 и 1,3.

Таким образом, по рассматриваемому показателю химические элементы в магматических породах могут быть предварительно разделены на три группы. В первую группу попадают 13 элементов ^{c} $C_{max}/C_{min} > 127$; во вторую, которая является основной,— 45 элементов с разбросом значений C_{max}/C_{min} от 80 до 2,19, а в третью группу — 9 элементов со значениями данного отношения от 2 до 1.

Аномально высокие значения C_{max}/C_{mjn} характерны для 13 следующих элементов: Th (4250), Ba (4000), U (3000), K (1200), Rb (850), Cr (800), Ni (500), Sr (465), Ce (322), Co (150), La (140), Nd (140), Mg (127) (см. табл. 4.7). Первые три из них выделяются особенно большим абсолютным разбросом средних содержаний даже в этой аномальной группе.

Максимальные кларковые содержания радиоактивных элементов Th (тория) и U (урана) характерны для кислых магматических пород, а минимальные — для ультраосновных (см. табл. 4.6). Следует отметить, что по данным А.А. Смыслова отмечается обогащение щелочных серий магматических пород элементами U и Th. Кроме того, даже в пределах одного и того же петрохимического типа пород средние содержания обоих металлов могут изменяться в больших интервалах в зависимости от формационной принадлежности магматических пород. Таким образом, истинный разброс местных кларков U и Th магматических пород еще больше, чем указано в табл. 4.7. В интрузивных породах эти элементы часто встречаются в рассеянном состоянии в породообразующих минералах, в эф-

фузивных — в вулканическом стекле, а при перекристаллизации эффузивных пород они часто концентрируются на границах минеральных зерен и в микротрещинах. При этом оба металла становятся более подвижными и довольно легко выщелачиваются, становясь более доступными организмам.

Максимальный кларк Ba (бария) характерен для средних по составу магматических пород, а минимальный — для ультраосновных.

Учитывая, что рассматриваемые три элемента расположены не только ниже «линии жизни», но и характеризуются массовыми числами от 137 (Ba) до 238 (U) при средней атомной массе земной коры 17,25, можно считать, что *в регионах, сложенных кислыми, а отчасти и средними породами, создавались весьма специфические условия с резко повышенными концентрациями удаленных от «линии жизни» тяжелых химических элементов.* В кислых породах также резко повышено содержание K, Rb, а в средних — особо тяжелых Ce, La и Nd. Вполне вероятно, что в регионах с такими породами нормально развиваться могли не все организмы. Большая часть остальных элементов рассматриваемой группы сконцентрирована в основном в ультраосновных породах, однако характеризующие их массовые числа сравнительно невелики и располагаются вблизи от «линии жизни».

Большой разброс кларков элементов магматических пород первой группы в процессе эволюции жизни на Земле оказал несомненное воздействие и на «привыкание» организмов (в целом, а не отдельных видов) к изменяющимся концентрациям. Для того чтобы в последующем содержание этих химических элементов начало угрожать развитию жизни, оно должно быть чрезвычайно высоким — превышать максимальные кларки элементов магматических пород в количествах, соответствующих их разбросу, т.е. в сотни тысяч раз. Естественно, что для того чтобы такие изменения вызвали мутацию или вымирание определенных видов организмов, они должны охватывать большие территории, а не ограничиваться отдельными рудными телами. В природе подобных явлений не было.

Как уже указывалось, величины кларковых содержаний, особенно для малораспространенных элементов, постоянно уточняются разными исследователями. Если взять кларковые содержания элементов для магматических пород по данным А.П. Виноградова, то в зависимости от значения C_{max}/C_{min} получим такой ряд: Th (3600), U (1944), Ba(830), Ni (250), K (111), Rb (100), Sr (80), Gr (80), Mg (46), Co (40).

По сравнению с ранее приведенными отмечаются лишь незначительные изменения: из «старого» ряда вышли лантаноиды (их кларки продолжают уточняться), а несколько элементов изменили свое место в группе. Это является одним из подтверждений правильности выводов о рассматриваемом явлении.

К элементам третьей группы с минимальным разбросом кларковых содержаний в различных типах магматических пород отнесены следующие (см. табл. 4.7): Se (1), J (1), S (1), Bi (1,43), Au (1,5), Ge (1,5), Si (1,69), Hg (1,8), As (2). Поскольку только три первых элемента в ряду относятся к собственно аномальным в рассматриваемой выборке, то можно предположить, что уточнение кларков внесет некоторые изменения в третью группу элементов. Если взять отношение кларков C_{max}/C_{min} по Виноградову, то из рассматриваемой группы должны «уйти» Bi и Hg с отношениями, соответственно равными 10 и 8, что существенно ниже фоновой величины отношения кларков (она равна 13).

Интересно, что элементы, отнесенные к первой и третьей группам, довольно четко разделяются по ряду геохимических показателей (что само по себе не может быть просто случайностью), а особенно по величинам электроотрицательностей и потенциалов ионизации (рис. 4.11).

Таким образом, жизнь, начавшаяся на магматических породах Земли, должна быть ориентированной на очень небольшие колебания химических элементов третьей группы. Первые мутации организмов, обусловленные изменением геохимической обстановки в отдельных регионах, вероятнее всего происходили при изменении кларковых содержаний в осадочных породах элементов именно этой группы или элементов с близкими к ним значениями отношения С^/Сщ^. Удаленность от «линии жизни» при этом могла не играть решающей роли.

Осадочные горные породы. Химические элементы, составляющие магматические горные породы (их минералы), попав в приповерхностные условия (в биосферу), стали «приспосабливаться» к новым внешним факторам перемещения и концентрации. Начались процессы выветривания минералов магматических пород. На протяжении истории Земли они были неодинаковыми. Основные процессы химического разрушения минералов, образовавшихся в глубинных горизонтах и попавших в современную биосферу, разбирались в 3.2.5.

Если рассматривать общую схему приспосабливаемости и поведения минералов, попавших в поверхностные оболочки Земли,

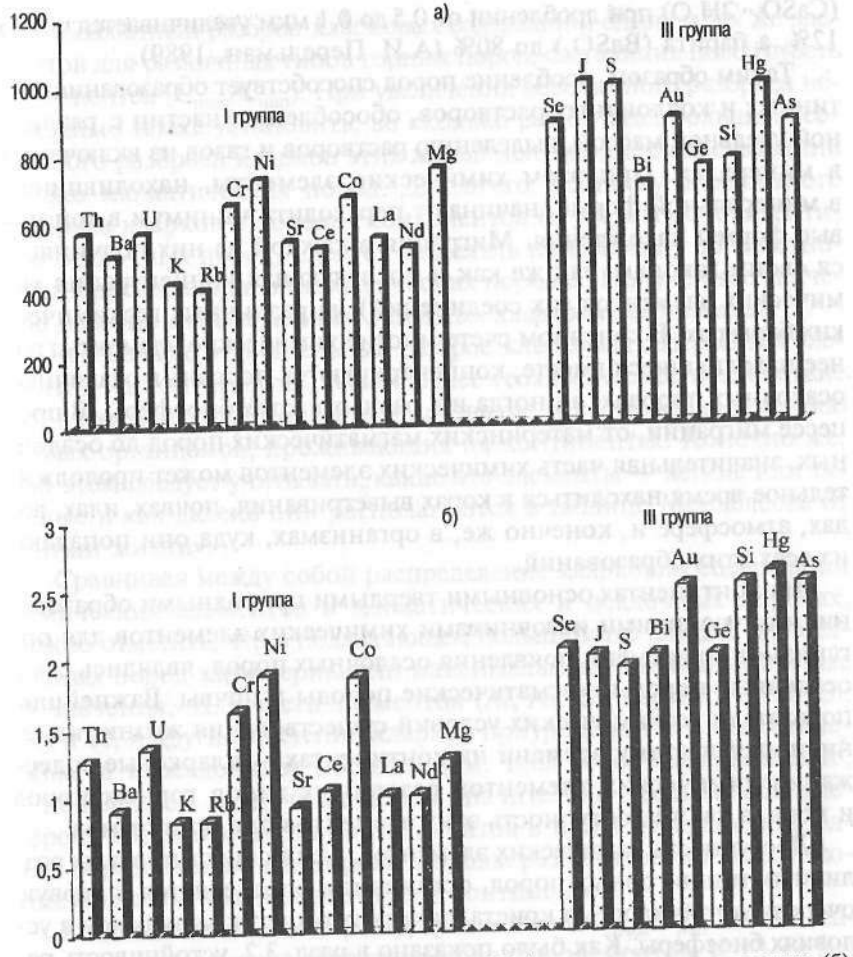


Рис. 4.11. Величины электроотрицательностей (а) и потенциалов ионизации (б) у элементов, выделямых в группы I и III по значениям абсолютного разброса в магматических породах

то в первую очередь следует отметить дробление горных пород (минералов), ведущее к увеличению их дисперсности. Это способствует ускорению реакции растворения минералов, сорбции и других поверхностных процессов.

При дроблении до коллоидных размеров песчинки кубической формы объемом 1 мм^3 суммарная поверхность образовавшихся частиц увеличивается в 60 000 раз. Скорость растворения гипса

($CaSO_{,,} \cdot 2H_20$) при дроблении от 0,5 до 0,1 мкм увеличивается с 4 до 12%, а барита ($BaS0_4$) до 80% (А.И. Перельман, 1989).

Таким образом, дробление пород способствует образованию истинных и коллоидных растворов, обособлению частиц с различной удельной массой, выделению растворов и газов из включений в минералах. При этом химические элементы, находившиеся в минеральной форме, начинают переходить минимум в три новые формы нахождения. Миграция в каждой из них подчиняется своим законам, так же как и последующая концентрация химических элементов (их соединений) на различных геохимических барьерах. В конечном счете многие химические элементы, ранее находившиеся вмеете, концентрируются порознь в различных осадочных породах, а иногда и в разных частях биосферы. В процессе миграции, от материнских магматических пород до осадочных, значительная часть химических элементов может продолжительное время находиться в корах выветривания, почвах, илах, водах, атмосфере и, конечно же, в организмах, куда они попадают из всех этих образований.

На континентах основными твердыми природными образованиями, служащими источниками химических элементов для организмов со времени появления осадочных пород, являлись сами осадочные породы, магматические породы и почвы. Важнейшие показатели геохимических условий существования жизни, изменившихся к этому времени на континентах,— кларковые содержания химических элементов различных типов горных пород и почв, а также доступность этих элементов для организмов.

Доступность химических элементов, слагающих минералы различных типов горных пород, организмам определяется в первую очередь устойчивостью кристаллических решеток минералов в условиях биосферы. Как было показано в разд. 3.2, устойчивость решеток во многом определяется их энергией, типом химической связи, значениями энергетических коэффициентов (ЭК), ионными радиусами и валентностями элементов, образующих эти решетки. Кроме того, нужно учитывать, что в условиях биосферы преобладает окислительная обстановка и большая часть минералов, образовавшихся в восстановительных обстановках магматических процессов, становится неустойчивой в присутствии свободного кислорода и воды.

Рассматривая кларки различных типов магматических и осадочных горных пород, а также почв, следует в первую очередь обращать внимание на то, увеличился ли с появлением осадочных по-

род абсолютный разброс кларковых содержаний одних и тех же элементов для различных типов горных пород, слагающих поверхность континентов (C_{max}/C_{1Tlin}). При увеличении абсолютного разброса необходимо также установить, во сколько раз он стал больше абсолютного разброса кларков этих же элементов при существовании только магматических пород. Для этого величину абсолютного разброса кларков в породах континентов (с учетом основных типов осадочных пород) следует разделить на величину абсолютного разброса кларков в магматических породах. Полученное значение названо *относительным разбросом кларковых содержаний*.

Чем больше относительный разброс кларковых содержаний элементов на континентах, тем большее геохимическое воздействие эти элементы могли оказать на развитие и возможную мутацию живых организмов, проживающих на континентах. Конечно же, при этом следует учитывать, какие это элементы — легкие или тяжелые и как далеко они располагаются в таблице Менделеева от «линии жизни».

Сравнивая между собой распределение кларковых содержаний химических элементов в магматических и осадочных породах, можно отметить, что в подавляющем большинстве случаев для осадочных пород характерны или максимальные, или минимальные их значения. Для части элементов (Al, As, Cs, Hg, Mo, S, Sb, Si, Sn) и те, и другие значения кларков приурочены не к магматическим, а к осадочным породам (см. табл. 4.6). Следовательно, с появлением осадочных пород значительно увеличилась дисперсия средних содержаний элементов в таких крупных природных образованиях, как горные породы различных типов, слагающие большую часть поверхности континентов.

Величина абсолютного разброса отношения Cn^x/C^ > 100 в осадочных породах стала характерной для 16 элементов. К 13-ти ранее выявленным для магматических пород добавились Li (132), Na (101) и N (166). С отношением менее $C_{ms}JC_t\hat{}_n < 2$ остался один элемент — Bi, а с $C_{max}/C_{min} < 10$ — шесть элементов — Bi (1,43), W (3,67), Au (6), Br (6,2), P (6,47), Zn (8,67). Без'учета почв, для которых кларк ряда химических элементов будет уточняться, к этой же .группе следует отнести Ag (2,9), J (4), Be (6). И если в магматических породах число элементов, для которых абсолютный разброс был меньше 10, превышало 30, то с образованием осадочных пород их число сократилось почти в 4 раза.

На развитие организмов в период выхода на поверхность континентов осадочных пород наибольшее влияние должны были

оказать элементы с разбросом, резко возросшим по сравнению с тем, который характеризовал магматические породы. Для выделения этих элементов устанавливался относительный разброс содержаний. Как видно из табл. 4.7, относительный разброс больше 10 установлен для следующих элементов в породах континента (в скобках приведены значения относительного разброса): Nb (32), Ta (20), N (20)*, Hg (7,2)*, S (12), Se (12)*, B (10), Co (10), J (10).

Наибольший разброс кларков горных пород на континенте хотя и характерен для тяжелых элементов — Ta и Nb (с атомной массой, соответственно равной 92 и 180), удаленных от «линии жизни», но он связан не с увеличением концентрации этих металлов в осадочных породах, а с существенным уменьшением их средних содержаний в карбонатных породах по сравнению с магматическими. Аналогичная картина уменьшения концентрации при образовании осадочных пород характеризует и распределение в преобладающих породах континента Co. Однако следует отметить, что Co в отличие от Ta и Nb располагается практически на «линии жизни» и уменьшение его концентраций в карбонатных породах вполне могло стать более вероятной причиной мутации отдельных виДов живых организмов, чём изменение кларков Ta и Nb.

Раздельная концентрация ртути в глинах и глинистых сланцах, с одной стороны, и в песчаниках и карбонатных породах, с другой стороны, привела к тому, что абсолютный разброс кларкового содержания ртути в породах континента увеличился с 1,8 до 13 (в магматических породах). Если же учесть и кларк почв (по А.П. Виноградову), то он станет равным 22. Увеличение средних содержаний тяжелой и удаленной от «линии жизни» ртути в глинах и глинистых сланцах (на их долю приходится около 1/2 массы осадочных пород) в 5 раз по сравнению с кларком земной коры и в 13 раз по сравнению с песчаниками вполне могло сказаться на развитии живых организмов на территориях, перекрытых глинистыми образованиями.

Из-за возросшей концентрации S и Se в глинах и глинистых сланцах довольно существенно (в 12 раз, а с учетом почв в 60 раз) увеличился разброс содержаний этих элементов в породах континента. Оба они, так же как и ртуть, входили в третью группу элементов с минимальным разбросом средних содержаний в различных типах магматических пород. Резкое возрастание с появлени-

* С учетом почв (по А.П. Виноградову) относительный разброс станет равным: для Hg - 22, N - 33, Se - 60.

ем осадочных пород относительного и абсолютного разбросов сразу трех элементов из этой группы не могло не сказаться на развитии живых организмов на континентах.

В глинах и глинистых сланцах существенно повышены кларковые содержания еще двух элементов (N и B) из отличающихся наибольшим относительным разбросом в породах континентов (по сравнению с магматическими породами B — в 33 раза, N — в 100 раз). Несомненно, что это также должно было сказаться на развитии жизни в пределах континентов.

Все изложенное дает возможность считать, что наибольшее изменение геохимической обстановки произошло с формированием осадочных глинистых пород. Их широкое распространение на континентах позволяет предполагать, что образование глинистых пород могло стать причиной мутаций и вымирания отдельных видов живых организмов. Наибольшее влияние на этот процесс в итоге могли оказать Hg, S, Se, N и **B.**

Почвы. Как уже указывалось в разд. 2.2, почвы представляют собой относительно самостоятельную биокосную систему. Химические элементы в почвах содержатся в живых организмах (биогенная форма нахождения), минералах, водных (почвенных) растворах (в сорбированной форме), газовых смесях. При определении кларковых содержаний химических элементов в почвах обычно учитываются все формы нахождения элементов в сумме, за исключением газовых смесей. Однако соотношение между различными формами нахождения элементов, как правило, неизвестно.

К настоящему времени большая часть почв в равнинных условиях разных стран относится к сельскохозяйственным угодьям. Содержание в них многих химических элементов и соотношение различных форм нахождения стало зависеть от методов хозяйствования. Все это привело к тому, что во многих случаях установить среднее содержание химических элементов для почв, до их антропогенного использования, стало практически невозможно. Техногенное же загрязнение почв захватывает все новые территории. Сейчас к числу важнейших задач, стоящих перед геохимиками, относится установление на сегодняшний день кларковых содержаний химических элементов в почвах отдельных регионов (местные кларки) и Земли в целом. Не сделав этого в самые ближайшие годы, мы не только потеряем громадную научную информацию, но и не сможем разрабатывать экологически грамотные проекты развития целых регионов. Это может привести к экологической катастрофе.

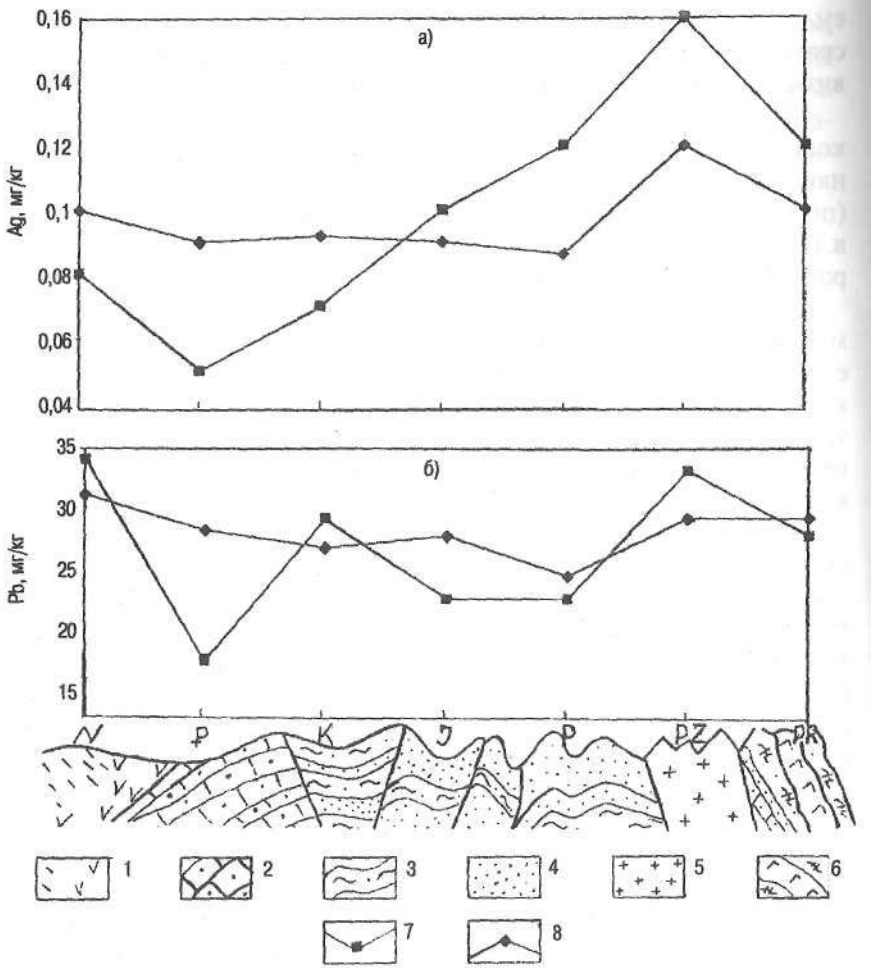


Рис. 4.12. Распределение фоновых содержаний Ag (а) и РЬ (б) в горных породах и перекрывающих их почвах Северного Кавказа (по данным В.В. Дьяченко): 1 — вулканогенные отложения неогенового возраста; 2 — карбонатно-терригенные отложения палеогенового возраста; 3,4 — терригенные отложения мелового, юрского, пермского возрастов; 5 — палеозойские гранатоиды; 6 — кристаллические сланцы и гнейсы с прослойками амфиболитов и мраморов протерозойского возраста; 7 — содержание химического элемента в почвообразующей породе; 8 — содержание химического элемента в почве

Большая работа по изучению распределения химических элементов в почвах была проделана (особенно для европейской части страны) А. П. Виноградовым. Установленные им средние значения содержания химических элементов в почвах приведены

и табл. 4.6. К настоящему времени кларки многих элементов подлежат уточнению, часть их отмечена в табл. 4.6.

Сравнивая кларки почв и горных пород, можно отметить следующую закономерность:

кларковые содержания химических элементов в почвах представляют собой усредненные значения кларков этих же элементов в горных породах.

Вероятнее всего это объясняется биокосностью почв. Все же основная часть организмов приспосабливается (а соответственно и поглощает) не к максимальным или минимальным концентрациям химических элементов в среде обитания, а к каким-то средним ее значениям. Возможно, для определенных элементов есть некоторые исключения, но, скорее всего, кларки химических элементов для почв с максимальными и минимальными значениями по сравнению с горными породами поверхности континентов будут уточнены (см. табл. 4.6).

Интересно, что «склонность почв к усреднению» содержаний химических элементов отмечается не только в масштабе всей Земли (что видно при сравнении кларков горных пород и почв), но и в почвах отдельных регионов (рис. 4.12).

Воды. Жидкие структурированные воды можно разделить на две большие группы: минерализованные воды Мирового океана и преимущественно пресные воды континентов. В обеих группах установлено среднее содержание (кларки) большинства химических элементов (табл. 4.8). Геохимическая обстановка развития жиз-

Таблица 4.8

Кларковое содержание элементов в водах, % массы

Элемент	Номер элемента	Морская вода (по П.Хендерсону, с дополнениями А.И.Перельмана)	Океаническая и морская вода (по Массону)	Речная вода (по Вернадскому)	Подземные минерализованные воды (по Овчинникову)	Нахождение в водах Океана (по Гольдбергу)	Время пребывания в водах Океана, годы (по Гольдбергу)
1	2	3	4	5	6	7	8
Ac	89	$2 \cdot 10^{-20}$	–	–	–	–	–
Ag	47	$4 \cdot 10^{-9}$	$2{,}5 \cdot 10^{-8}$	$6 \cdot 10^{-12}$–$6{,}5 \cdot 10^{-8}$	–	$AgCl_2^-$; $AgCl_3^{2-}$	$2{,}1 \cdot 10^6$
Al	13	$2 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$4{,}2 \cdot 10^{-6}$–$1{,}7 \cdot 10^{-3}$	до $1 \cdot 10^{-4}$	$Al(OH)_4$; $Al(OH)_3$	$1{,}0 \cdot 10^2$

Продолжение табл. 4.8

1	2	3	4	5	6	7	8
Ar	18	$4{,}3 \cdot 10^{-5}$	–	–	–	Ar	–
As	33	$3{,}7 \cdot 10^{-7}$	$1{,}4 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-7}$–$9{,}3 \cdot 10^{-5}$	–	$HAsO_4^{2-}$; $H_2AsO_4^-$; $H_3As_3O_3$	–
Au	79	$4 \cdot 10^{-10}$	$6 \cdot 10^{-10}$	$3 \cdot 10^{-13}$–$1 \cdot 10^{-9}$	–	$AuCl_4$	$5{,}6 \cdot 10^5$
B	5	$4{,}44 \cdot 10^{-4}$	$4{,}6 \cdot 10^{-4}$	–	до $1{,}2 \cdot 10^{-4}$	$B(OH)_3$; $B(OH)_2O^-$	–
Ba	56	$2 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	–	до $4 \cdot 10^{-3}$	Ba^{2+}; $BaSO_4$	$8{,}4 \cdot 10^4$
Be	4	$5{,}6 \cdot 10^{-10}$	–	–	–	$Be(OH)^+$; $Be(OH)_2$	$1{,}5 \cdot 10^2$
Bi	83	$2 \cdot 10^{-9}$	$2 \cdot 10^{-8}$	–	–	–	$4{,}5 \cdot 10^5$
Br	35	$6{,}7 \cdot 10^{-3}$	$6{,}5 \cdot 10^{-3}$	–	до $1 \cdot 10^{-2}$	Br^-	–
C	6	$2{,}8 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$1{,}2 \cdot 10^{-3}$–$1 \cdot 10^{-2}$	до $1{,}6 \cdot 10^{-1}$	HCO_3^-; H_2CO_3; CO_3^{2-}; CO_2; органические соединения	–
Ca	20	$4{,}12 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2}$	$2{,}2 \cdot 10^{-5}$–$1{,}7 \cdot 10^{-2}$	до $2 \cdot 10^{-1}$	Ca^{2+}; $CaSO_4$; $Ca(HCO_3)_2$	$8 \cdot 10^6$
Cd	48	$1 \cdot 10^{-8}$	–	$5{,}4 \cdot 10^{-5}$	–	$CdSO_4$; $CdCl_n^{2-n}$; $Cd(OH)_n^{2-n}$	$5 \cdot 10^5$
Ce	58	$1 \cdot 10^{-10}$	$4 \cdot 10^{-8}$	–	–	–	$0{,}8 \cdot 10^2$
Cl	17	1,94	1,9	$1{,}2 \cdot 10^{-6}$–$5 \cdot 10^{-2}$	до 16,0	Cl^-	–
Co	27	$5 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-8}$	–	–	Co^{2+};$CoSO_4$	$1{,}8 \cdot 10^4$
Cr	24	$3 \cdot 10^{-8}$	–	–	–	CrO_4^{-2}; $Cr(OH)_3$	$3{,}5 \cdot 10^2$
Cs	55	$4 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-7}$	–	–	Cs^+	$4 \cdot 10^4$
Cu	29	$5 \cdot 10^{-8}$	$4{,}5 \cdot 10^{-6}$	?–$2{,}1 \cdot 10^{-6}$	до $1 \cdot 10^{-3}$	Cu^{2+}; $CuSO_4$	$5 \cdot 10^4$
Dy	66	$9 \cdot 10^{-11}$	–	–	–	–	$0{,}46 \cdot 10^3$
Er	68	$8 \cdot 10^{-11}$	–	–	–	–	$0{,}69 \cdot 10^3$
Eu	63	$1 \cdot 10^{-12}$	–	–	–	–	$0{,}3 \cdot 10^3$
F	9	$1{,}3 \cdot 10^{-4}$	$1{,}4 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-6}$–$6 \cdot 10^{-5}$	до $1 \cdot 10^{-3}$	F^-	–

Продолжение табл. 4.8

1	2	3	4	5	6	7	8
Fe	26	$2 \cdot 10^{-7}$	$1{,}1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$–$4{,}6 \cdot 10^{-3}$	до $5 \cdot 10^{-3}$	$Fe(OH)_3$ (взвесь)	$1{,}4 \cdot 10^{2}$
Ga	31	$3 \cdot 10^{-9}$	$6 \cdot 10^{-8}$	–	–	–	$1{,}4 \cdot 10^{3}$
Gd	64	$7 \cdot 10^{-11}$	–	–	–	–	$0{,}26 \cdot 10^{3}$
Ge	32	$5 \cdot 10^{-9}$	–	–	–	$Ge(OH)_4$; $Ge(OH)_3O^-$	$7 \cdot 10^{3}$
H	1	$10{,}8 \cdot 10^{-4}$	10,6	–	–	OH^-; H_2O	–
He	2	$6{,}8 \cdot 10^{-10}$	–	–	–	He	–
Hf	72	$7 \cdot 10^{-10}$	–	–	–	–	–
Hg	80	$3 \cdot 10^{-9}$	$3 \cdot 10^{-8}$	–	–	$HgCl_3^-$; $HgCl_4^{2-}$	$4{,}2 \cdot 10^{4}$
Ho	67	$2 \cdot 10^{-11}$	–	–	–	–	$0{,}5 \cdot 10^{3}$
In	49	$1 \cdot 10^{-11}$	–	–	–	–	$5 \cdot 10^{5}$
J	53	$6 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-8}$	–	–	JO_3^-; J^-	–
K	19	$3{,}8 \cdot 10^{-2}$	$3{,}8 \cdot 10^{-2}$	$3{,}8 \cdot 10^{-6}$–$3{,}4 \cdot 10^{-3}$	до $1 \cdot 10^{-1}$	K^+	$1{,}1 \cdot 10^{7}$
Kr	36	$2 \cdot 10^{-8}$	–	–	–	Kr	–
La	57	$3 \cdot 10^{-10}$	$3 \cdot 10^{-8}$	–	–	–	$0{,}4 \cdot 10^{3}$
Li	3	$2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$3{,}2 \cdot 10^{-6}$–$1 \cdot 10^{-5}$	до $1 \cdot 10^{-3}$	Li^+	$2 \cdot 10^{7}$
Lu	71	$2 \cdot 10^{-11}$	–	–	–	–	$0{,}45 \cdot 10^{3}$
Mg	12	$1{,}29 \cdot 10^{-1}$	$1{,}3 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-6}$–$6{,}6 \cdot 10^{-3}$	до $5 \cdot 10^{-1}$	Mg^{2+};$MgSO_4$	$4{,}5 \cdot 10^{7}$
Mn	25	$2 \cdot 10^{-8}$	$5{,}5 \cdot 10^{-7}$	$2{,}8 \cdot 10^{-6}$–$7{,}7 \cdot 10^{-4}$	до $5 \cdot 10^{-4}$	Mn^{2+};$MnSO_4$; $Mn(OH)_2$; $MnCl_4^+$	$1{,}4 \cdot 10^{3}$
Mo	42	$1 \cdot 10^{-6}$	$1{,}2 \cdot 10^{-7}$	–	–	MoO_4^{2-}	$5 \cdot 10^{5}$
N	7	$5 \cdot 10^{-8}$	$5{,}2 \cdot 10^{-5}$	$1{,}8 \cdot 10^{-6}$–$2{,}5 \cdot 10^{-3}$	до $3 \cdot 10^{-3}$	NO_3^-; NO_2^-; NH_4^+; N_2(газ)	–
Na	11	1,077	1,06	$7 \cdot 10^{-5}$–$2{,}3 \cdot 10^{-4}$	до 10,0	Na^+	$2{,}6 \cdot 10^{8}$
Nb	41	$1 \cdot 10^{-9}$	–	–	–	–	$3 \cdot 10^{2}$
Nd	60	$3 \cdot 10^{-10}$	–	–	–	–	$0{,}27 \cdot 10^{3}$
Ne	10	$1{,}2 \cdot 10^{-8}$	–	–	–	Ne	–
Ni	28	$1{,}7 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{-8}$	–	–	Ni^{2+}; $NiSO_4$	$1{,}8 \cdot 10^{4}$

Окончание табл. 4.8

1	2	3	4	5	6	7	8
O	8	$85{,}7 \cdot 10^{-4}$	85,89	–	–	H_2O, O_2 и др. анионы	–
P	15	$6 \cdot 10^{-6}$	$6 \cdot 10^{-6}$	$8{,}8 \cdot 10^{-7}$–$6{,}5 \cdot 10^{-5}$	до $3 \cdot 10^{-3}$	HPO_4^{2-}; $H_2PO_4^-$; PO_4^{3-}; H_2PO_4	–
Pa	91	$5 \cdot 10^{-15}$	–	–	–	–	–
Pb	82	$3{,}0 \cdot 10^{-9}$	$4{,}5 \cdot 10^{-7}$	–	–	Pb^{2+};$PbSO_4$	–
Pr	59	$6 \cdot 10^{-11}$	–	–	–	–	$0{,}3 \cdot 10^{3}$
Ra	88	$7 \cdot 10^{-15}$	$1{,}6 \cdot 10^{-15}$	–	–	–	–
Rb	37	$1{,}2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	–	–	Rb^+	$2{,}7 \cdot 10^{5}$
Re	75	$4 \cdot 10^{-10}$	–	–	–	–	–
Rn	86	$6 \cdot 10^{-20}$	–	–	–	–	–
S	16	$9{,}05 \cdot 10^{-2}$	$8{,}8 \cdot 10^{-2}$	$3{,}7 \cdot 10^{-6}$–$1{,}7 \cdot 10^{-2}$	до 1,5	SO_4^{2-}; H_2S	–
Sb	51	$2{,}4 \cdot 10^{-8}$	–	–	–	–	$3{,}5 \cdot 10^{5}$
Sc	21	$6 \cdot 10^{-11}$	–	–	–	$Sc(OH)_3$	$5{,}6 \cdot 10^{3}$
Se	34	$2 \cdot 10^{-8}$	–	–	–	SeO_4^{2-}	–
Si	14	$2 \cdot 10^{-4}$	$3{,}6 \cdot 10^{-4}$	$4{,}8 \cdot 10^{-6}$–$1{,}2 \cdot 10^{-2}$	до $5 \cdot 10^{-3}$	$Si(OH)_4$; $Si(OH)_3O^-$	$8 \cdot 10^{3}$
Sm	62	$5 \cdot 10^{-12}$	–	–	–	–	$0{,}18 \cdot 10^{3}$
Sn	50	$1 \cdot 10^{-9}$	$3 \cdot 10^{-7}$	–	–	–	$5 \cdot 10^{5}$
Sr	38	$8 \cdot 10^{-4}$	$1{,}3 \cdot 10^{-3}$	$2{,}3 \cdot 10^{-6}$	до $5 \cdot 10^{-3}$	Sr^{2+};$SrSO_4$	$1{,}9 \cdot 10^{7}$
Ta	73	$2 \cdot 10^{-10}$	–	–	–	–	–
Tb	65	$1 \cdot 10^{-11}$	–	–	–	–	–
Th	90	$1 \cdot 10^{-9}$	$5 \cdot 10^{-8}$	–	–	–	$3{,}5 \cdot 10^{2}$
Ti	22	$1 \cdot 10^{-7}$	–	–	до $4 \cdot 10^{-4}$	$Ti(OH)_4$	$1{,}6 \cdot 10^{2}$
Tl	81	$1 \cdot 10^{-9}$	–	–	–	Tl^+	
Tm	69	$2 \cdot 10^{-11}$	–	–	–	–	$1{,}8 \cdot 10^{3}$
U	92	$3 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-8}$	–	–	$UO_2(CO_3)_3^{4-}$	$5{,}7 \cdot 10^{5}$
V	23	$2{,}5 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{-8}$	–	–	VO_2^{2+}; $H_2(VO_4)_4^{2-}$	$1 \cdot 10^{4}$
W	74	$1 \cdot 10^{-8}$	–	–	–	WO_4^{-2}	$1 \cdot 10^{3}$
Xe	54	$5 \cdot 10^{-9}$	–	–	–	–	–
Y	39	$1{,}3 \cdot 10^{-10}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$3{,}8 \cdot 10^{-8}$–$1{,}3 \cdot 10^{-7}$	до $4 \cdot 10^{-3}$	–	$7{,}5 \cdot 10^{3}$
Yb	70	$8 \cdot 10^{-11}$	–	–	–	–	$0{,}53 \cdot 10^{3}$
Zn	30	$4{,}9 \cdot 10^{-7}$	$1{,}1 \cdot 10^{-6}$	? – $1{,}2 \cdot 10^{-3}$	–	Zn^{2+}; $ZnSO_4$	$1{,}8 \cdot 10^{5}$
Zr	40	$3 \cdot 10^{-9}$	–	–	–	–	–

пив Океане была отличной от обстановки на континентах. Главным отличием можно считать наличие водной среды, содержащей большинство химических элементов в наиболее доступной для орi мнизмов форме — в ионных растворах (см. табл. 4.8). Как видно Из рис. 4.13, кроме ионов в океанической воде растворены газы, а также находятся минеральные и органические коллоиды и отдельные молекулы различных веществ. Первичная минерализация под Океана неизвестна, но вполне можно считать, что они были менее солеными. Косвенным свидетельством этому может быть миграция многих видов морских рыб на нерест в пресные воды рек и озер.

На основании данных о поступлении химических элементов I! Океан различными способами (вынос с континентов, подводные гидротермы и извержения вулканов) было высказано мнение, что катионы преимущественно поступают с материков, а анионы — при извержении вулканов как через атмосферу, так и непосредственно в морскую воду. По расчетам В.М. Гольдшмидта за геологическую историю Земли на 1 кг океанической воды пришлось 600 г выветрившихся магматических пород. Исходя из этого он определил, какой процент по отношению к количеству каждого элемента в Океане составляют химические элементы, привнесенные из разложившихся магматических пород континентов (табл. 4.9). Полученные данные подтверждают изложенное мнение.

Для сравнения распределения элементов в земной коре и водах Океана широко используются данные о *талассофильности элементов*. Последняя представляет собой отношение кларковых содержаний элементов в Океане и земной коре (рис. 4.14). Для С1 оно равно 111, для Вг - 30, Na - 0,42, Р - 6 • 10"[5], Ва - 3 • 1(Г[5],

Таблица 4.9

Баланс биохимических элементов в Океане

Количество элементов, г/кг воды	Катионогенные элементы						Анионогенные элементы		
	Na	Mg	K	Ca	Rb	Cs	Cl	S	B
Привнесено	16,8	12,6	15	21,6	0,2	0,006	0,29	0,3	1,8
Находится в Океане	10,7	1,3	0,37	0,42	0,0002	0,000002	19,3	0,88	4,6
Процентное отношение	64	10	2,5	1,9	0,1	0,03	6650	293	256

10,8 H OH^- H_2O								
0,18 Li Li^+	$5{,}6 \cdot 10^{-6}$ Be $Be(OH)^+$	4,44 B $B(OH)_4^-$ H_3BO_3						
$1{,}077 \cdot 10^4$ Na Na^+	$1{,}29 \cdot 10^3$ Mg Mg^{2+} $MgSO_4$	$2 \cdot 10^{-3}$ Al $Al(OH)_3$ $Al(OH)_4^-$						
$3{,}8 \cdot 10^2$ K K^+	$4{,}12 \cdot 10^2$ Ca Ca^{2+} $CaSO_4$	$6 \cdot 10^{-7}$ Sc $Sc(OH)_3$	$1 \cdot 10^{-3}$ Ti $Ti(OH)_4$	$2{,}5 \cdot 10^{-3}$ V VO_2^{2+} $VO_2(OH)_3^{2-}$ $H_2(VO_4)_4^{2-}$	$3 \cdot 10^{-4}$ Cr CrO_4^{2-} $Cr(OH)_3$	$2 \cdot 10^{-4}$ Mn Mn^{2+} $MnSO_4$ $MnCl^+$	$2 \cdot 10^{-3}$ Fe $Fe(OH)_2^+$	$5 \cdot 10^{-5}$ Co Co^{2+} $CoCl^+$ $CoSO_4$ $CoCO_3$
0,12 Rb Rb^+	8 Sr Sr^{2+} $SrSO_4$	$1{,}3 \cdot 10^{-6}$ Y $Y(OH)_3$	$3 \cdot 10^{-5}$ Zr $Zr(OH)_4$	$1 \cdot 10^{-5}$ Nb –	$1 \cdot 10^{-2}$ Mo MoO_4^{2-}	– Tc –	– Ru –	– Rh –
$4 \cdot 10^{-4}$ Cs Cs^+	$2 \cdot 10^{-2}$ Ba Ba^{2+} $BaSO_4$	$3 \cdot 10^{-6}$ La $La(OH)^3$	$7 \cdot 10^{-6}$ Hf –	$2 \cdot 10^{-6}$ Ta –	$1 \cdot 10^{-4}$ W WO_4^{2-}	$4 \cdot 10^{-6}$ Re ReO_4^-	– Os –	– Ir –
– Fr –	$7 \cdot 10^{-11}$ Ra Ra^{2+} $RaSO_4$	$2 \cdot 10^{-16}$ Ac –	$1 \cdot 10^{-5}$ Th $Th(OH)_4$	$5 \cdot 10^{-11}$ Pa –	$3 \cdot 10^{-3}$ U $UO_2(CO_3)_3^{4-}$			

$1 \cdot 10^{-6}$ Ce $Ce(OH)_3$	$6 \cdot 10^{-7}$ Pr $Pr(OH)_3$	$3 \cdot 10^{-6}$ Nd $Nd(OH)_3$	– Pm –	$5 \cdot 10^{-6}$ Sm $Sm(OH)_3$	$1 \cdot 10^{-6}$ Eu $Eu(OH)_3$	$7 \cdot 10^{-7}$ Gd $Gd(OH)_3$	$1 \cdot 10^{-7}$ Tb $Tb(OH)_3$	$9 \cdot 10^{-7}$ Dy $Dy(OH)_3$

Рис. 4.13. Среднее содержание, мг/л, химических элементов в морской воде (по (по данным разных авторов). Ведущие элементы обведены жирной линией

								$6{,}8 \cdot 10^{-6}$ He He (r)
				28 C CO_3^{2-} HCO_3^- H_2CO_3 Орг. соед.	$5 \cdot 10^{-4}$ N N_2(r); NH_4^+ NO_3^- NO_2^- Орг. соед.	85,7 O O_2(r); H_2O SO_4^{2-} и другие анионы	1,3 F F^- MgF^+	$1{,}2 \cdot 10^{-4}$ Ne Ne (r)
				2 Si $Si(OH)_4$ $Si(OH)_3O^-$	$6 \cdot 10^{-2}$ P HPO_4^{2-} $H_2PO_4^-$;PO_4^{3-} H_3PO_4 $MgPO_4^-$	$9{,}05 \cdot 10^{-2}$ S SO_4^{2-} $NaSO_4^-$	$1{,}94 \cdot 10^{4}$ Cl Cl^-	0,43 Ar Ar(r)
$1{,}7 \cdot 10^{-3}$ Ni Ni^{2+}; $NiSO_4$	$5 \cdot 10^{-4}$ Cu Cu^{2+};$Cu\,Cl^+$ $CuSO_4$ $CuOH^+$ $CuCO_3$	$4{,}9 \cdot 10^{-3}$ Zn Zn^{2+} $ZnOH^+$ $ZnSO_4$ $ZnCO_3$	$3 \cdot 10^{-5}$ Ga $Ga(OH)_4^-$	$5 \cdot 10^{-5}$ Ge $Ge(OH)_3O^-$	$3{,}7 \cdot 10^{-3}$ As $HAsO_4^{2-}$ $H_2AsO_4^-$ H_3AsO_3 H_3AsO_4	$2 \cdot 10^{-4}$ Se SeO_3^{2-}	67 Br Br^-	$2 \cdot 10^{-4}$ Kr Kr(r)
– Pd –	$4 \cdot 10^{-5}$ Ag $AgCl_2^-$ $AgCl_3^{2-}$	$1 \cdot 10^{-4}$ Cd Cd^{2+} $CdSO_4$ $CdCl_n^{2-n}$ $Cd(OH)_n^{2-n}$	$1 \cdot 10^{-7}$ In $In(OH)_2^+$	$1 \cdot 10^{-6}$ Sn $SnO(OH)_2^-$	$2{,}4 \cdot 10^{-4}$ Sb $Sb(OH)_6^-$	– Te $HTeO_3^-$	$6 \cdot 10^{-2}$ J J^- JO_3^-	$5 \cdot 10^{-5}$ Xe Xe(r)
– Pt –	$4 \cdot 10^{-6}$ Au $AuCl_2^-$	$3 \cdot 10^{-5}$ Hg $HgCl_3^-$ $HgCl_4^{2-}$ $HgCl_2$	$1 \cdot 10^{-5}$ Tl Tl^+	$3 \cdot 10^{-5}$ Pb $Pb(OH)^+$ Pb^{2+};$PbCl_n^{2-n}$ $PbSO_4$ $Pb(OH)_n^{2-n}$ $PbCO_3$ $PbCO_3^{2-}$	$2 \cdot 10^{-5}$ Bi BiO^+ $Bi(OH)^+$	– Po –	– At –	$6 \cdot 10^{-16}$ Rn Rn(r)

$2 \cdot 10^{-7}$ Ho $Ho(OH)_3$	$8 \cdot 10^{-7}$ Er $Er(OH)_3$	$2 \cdot 10^{-7}$ Tm $Tm(OH)_3$	$8 \cdot 10^{-7}$ Yb $Yb(OH)_3$	$2 \cdot 10^{-7}$ Lu $Lu(OH)_3$

П. Хендерсону, с дополнениями) и основные формы существования элементов

Fe — 4,3' Ю$^{-8}$. Элементы с высокой талассофильностью дольше находятся в водах Океана. Так, Cl, попав в Океан, находится в растворе более 300 млн лет, Na около 190 млн лет, а Fe менее 600 лет.

Эксперименты показывают, что океаническая вода представляет собой раствор, не насыщенный химическими элементами. Следовательно, выпадение в осадок из пересыщенных растворов не

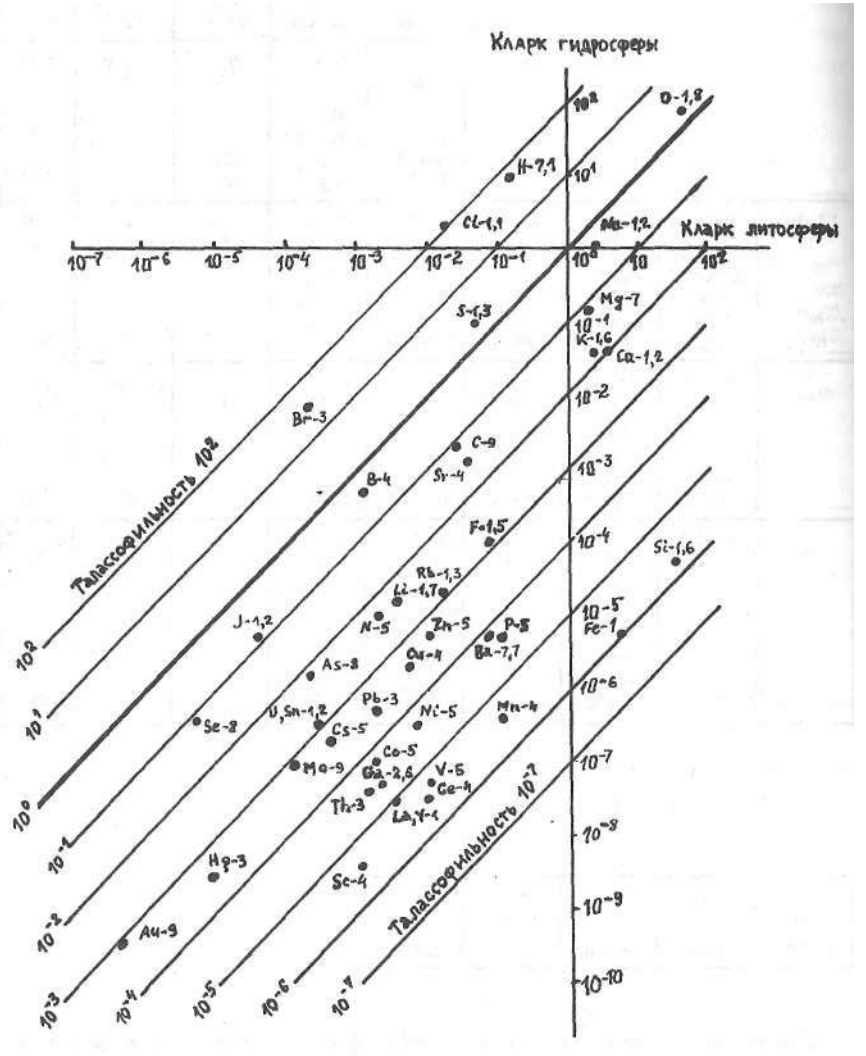


Рис. 4.14. Талассофильность элементов (по А.И. Перельману)

может быть основным механизмом, поддерживающим определенную концентрацию в водах большинства химических элементов. Считается, что преобладает осаждение в результате механического опускания частиц, сорбции и биогенной аккумуляции. Эти три основных вида извлечения химических элементов (их соединений) из вод тесно переплетены между собой и неодинаково проявляются в разных частях Океана. По данным академика А.П. Лисицина и ряда других исследователей, биогенное осадконакоплен не резко преобладает в гумидных областях. А вообще зоопланктоном за 20 суток отфильтровываются воды Океана до глубины 500 м. (Теперь вспомним, что под пленкой нефти в водах пропадает жизнь, что зоопланктон гибнет от ядохимикатов, и представим иллюзорность самоочищения Океана при современном отношении к его загрязнению).

Три основных фактора извлечения химических элементов (их соединений) из вод не являются постоянными во времени и пространстве. В связи с этим, в зависимости от времени, глубины водного слоя и местоположения в Мировом океане концентрация одного и того же элемента может изменяться в довольно широких пределах. Так, анализы вод показали содержание в них меди у Шотландского побережья и в Адриатическом море около 6 мкг/л, в Ла-Манше — 12, у восточного побережья США — 16, а в Ирландском море — 27 мкг/л. У ряда других элементов (особенно у поглощаемых живыми организмами) пределы таких колебаний еще больше, а для C, N, O, P, S и Si они достигают трех порядков (Goldberg, 1957).

Возрастает также количество взвесей, выносимых реками в Океан при освоении людьми территорий, их значительную часть составляют коллоидные частицы. Таким образом, в результате антропогенной деятельности возможно изменение концентраций химических элементов в водах Океана, т.е. кларковых содержаний, определяющих состав воды в настоящее время. Вероятность этого увеличивается в связи с тем, что не.только изменяется состав вод, поступающих с континентов, но под действием антропогенных процессов изменяется природное протекание всех трех основных видов процесса извлечения химических элементов из океанических вод.

Сейчас еще трудно сказать, является ли мутация водных организмов результатом техногенной нагрузки на Океан. Однако миграция многих из них из загрязненных вод в более чистые хорошо видна на примере Черного моря. Пока что наибольшие техногенные изменения элементного состава характерны для пресных

вод континентов. Но природные колебания содержания отдельных элементов в поверхностных и подземных водах континентов очень велики (см. табл. 4.8). Можно предположить, что на жизнь организмов в этих водах в настоящее время большее влияние оказывают не изменения концентрации химических элементов, а появление в водах техногенных соединений, не имеющих аналогов в данных условиях.

Отличия кларковых содержаний химических элементов вод Океана от кларков пресных вод континентов (рек) для подавляющего большинства элементов несущественны (см. табл. 4.8). Если же учитывать и подземные минерализованные воды, то кларковые содержания элементов в водах Океана будут находиться между крайними значениями средних концентраций этих же элементов в разных типах вод континентов.

Породы и осадки дна Океана. Химический состав вод Океана довольно тесно связан с составом пород и илов, составляющих его подводную поверхность. Кроме того, и сами породы непосредственно определяют условия жизни и развития многих морских организмов. Рассмотрим некоторые геохимические особенности наиболее распространенных пород и осадков дна Океана. Как видно из табл. 4.10, большая часть максимальных величин кларков связана с глубоководными глинами, а минимальных — с ультраосновными породами и карбонатными осадками. Это позволяет считать, что *особая дифференциация химических элементов при отложении осадков связана с процессами сорбции элементов глинистыми коллоидами.*

Абсолютный разброс кларков химических элементов в породах и осадках дна Океана колеблется от 1,5 до 6000. Разброс больше 1000 характерен для четырех элементов: Ba (5750), Sr (2000), Th (1750), U (1300). В группу с абсолютным разбросом кларков, превышающим 100, входят еще 10 химических элементов (см. табл. 4.10): Ce (690), K (625), Rb (550), C1 (350), Nd (280), La (230), Co (214), Y (180), Cr (145), Li (114), три из которых относятся к лантаноидам. Судя по увеличившемуся абсолютному разбросу кларков четырех первых элементов, их дисперсия, отличавшаяся большой величиной и в магматических породах, в процессе осадконакопления возросла. Однако небольшой относительный разброс (см. табл. "4.7) не позволяет считать существенным влияние этого процесса на развитие организмов.

Абсолютный разброс значений кларкового содержания менее 2 остался только у золота, менее 4 — у пяти элементов (см.

Таблица 4.10

Содержание химических элементов и их разброс в породах океанического дна (по H.Turekian и K.Wedepohl)

Элемент	Порядковый номер элемента	Распространенность, % по массе				Величина абсолютного разброса значений кларков
		Породы		Глубоководные осадки		
		ультраосновные	основные	карбонаты	глины	
1	2	3	4	5	6	7
Ag	47	$6 \cdot 10^{-6}$	$1{,}1 \cdot 10^{-5}$	$n \cdot 10^{-6}$	$1{,}1 \cdot 10^{-5}$	2,2
Al	13	2	7,8	2	8,4	4,2
As	33	$1 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1{,}3 \cdot 10^{-3}$	13
Au	79	$6 \cdot 10^{-7}$	$4 \cdot 10^{-7}$	$n \cdot 10^{-7}$	$n \cdot 10^{-7}$	1,5
B	5	$3 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$5{,}5 \cdot 10^{-3}$	$2{,}3 \cdot 10^{-2}$	76,7
Ba	56	$4 \cdot 10^{-5}$	$3{,}3 \cdot 10^{-2}$	$1{,}9 \cdot 10^{-2}$	$2{,}3 \cdot 10^{-1}$	5750
Be	4	$n \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-5}$	$2{,}6 \cdot 10^{-4}$	5,2
Bi	83	–	$7 \cdot 10^{-7}$	–	–	–
Br	35	$1 \cdot 10^{-4}$	$3{,}6 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-3}$	70
Ca	20	2,5	7,6	31,24	2,9	12,50
Cd	48	$n \cdot 10^{-5}$	$2{,}2 \cdot 10^{-5}$	$n \cdot 10^{-6}$	$4{,}2 \cdot 10^{-5}$	10
Ce	58	$n \cdot 10^{-5}$	$4{,}8 \cdot 10^{-3}$	$3{,}5 \cdot 10^{-3}$	$3{,}45 \cdot 10^{-2}$	690
Cl	17	$8{,}5 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$	2,1	2,1	350
Co	27	$1{,}5 \cdot 10^{-2}$	$4{,}8 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-5}$	$7{,}4 \cdot 10^{-3}$	214,3
Cr	24	$1{,}6 \cdot 10^{-1}$	$1{,}7 \cdot 10^{-2}$	$1{,}1 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-3}$	15
Cs	55	$n \cdot 10^{-5}$	$1{,}1 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-4}$	15
Cu	29	$1 \cdot 10^{-3}$	$8{,}7 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2{,}5 \cdot 10^{-2}$	25
Er	68	$n \cdot 10^{-5}$	$2{,}1 \cdot 10^{-4}$	$1{,}5 \cdot 10^{-4}$	$1{,}5 \cdot 10^{-3}$	30
Eu	63	$n \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-4}$	12
F	9	$1 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2}$	$5{,}4 \cdot 10^{-2}$	$1{,}3 \cdot 10^{-1}$	13
Fe	26	9,43	8,65	$9 \cdot 10^{-1}$	6,5	10,48
Ga	31	$1{,}5 \cdot 10^{-4}$	$1{,}7 \cdot 10^{-3}$	$1{,}3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	13,33
Gd	64	$n \cdot 10^{-5}$	$5{,}3 \cdot 10^{-4}$	$3{,}8 \cdot 10^{-4}$	$3{,}8 \cdot 10^{-3}$	76
Ge	32	$1{,}5 \cdot 10^{-4}$	$1{,}3 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-4}$	10
Hf	72	$6 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$4{,}1 \cdot 10^{-5}$	$4{,}1 \cdot 10^{-4}$	10
Hg	80	$n \cdot 10^{-6}$	$9 \cdot 10^{-6}$	$n \cdot 10^{-6}$	$n \cdot 10^{-5}$	10
Ho	67	$n \cdot 10^{-5}$	$1{,}1 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-5}$	$7{,}5 \cdot 10^{-4}$	15
In	49	$1 \cdot 10^{-6}$	$2{,}2 \cdot 10^{-5}$	$n \cdot 10^{-6}$	$8 \cdot 10^{-6}$	22

Продолжение табл. 4.10

1	2	3	4	5	6	7
J	53	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	10
K	19	$4 \cdot 10^{-3}$	$8{,}3 \cdot 10^{-1}$	$2{,}9 \cdot 10^{-1}$	2,5	625
La	57	$n \cdot 10^{-5}$	$1{,}5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1{,}15 \cdot 10^{-2}$	230
Li	3	$n \cdot 10^{-5}$	$1{,}7 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$5{,}7 \cdot 10^{-3}$	114
Lu	71	$n \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$4{,}5 \cdot 10^{-4}$	9
Mg	12	20,4	4,6	$4 \cdot 10^{-1}$	2,1	51,3
Mn	25	$1{,}62 \cdot 10^{-1}$	$1{,}5 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-1}$	$6{,}7 \cdot 10^{-1}$	6,7
Mo	42	$3 \cdot 10^{-5}$	$1{,}5 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$2{,}7 \cdot 10^{-3}$	90
N	7	$6 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-3}$	–	–	3,3
Na	11	$4{,}2 \cdot 10^{-1}$	1,8	2	4	9,52
Nb	41	$1{,}6 \cdot 10^{-3}$	$1{,}9 \cdot 10^{-3}$	$4{,}6 \cdot 10^{-4}$	$1{,}4 \cdot 10^{-3}$	4,13
Nd	60	$n \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$1{,}4 \cdot 10^{-3}$	$1{,}4 \cdot 10^{-2}$	280
Ni	28	$2 \cdot 10^{-1}$	$1{,}3 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2{,}25 \cdot 10^{-2}$	66,7
P	15	$2{,}2 \cdot 10^{-2}$	$1{,}1 \cdot 10^{-1}$	$3{,}5 \cdot 10^{-2}$	$1{,}5 \cdot 10^{-1}$	6,8
Pb	82	$1 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-3}$	80
Pd	46	$1{,}2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-6}$	–	–	6
Pr	59	$n \cdot 10^{-5}$	$4{,}6 \cdot 10^{-4}$	$3{,}3 \cdot 10^{-4}$	$3{,}3 \cdot 10^{-3}$	66
Rb	37	$2 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1{,}1 \cdot 10^{-2}$	550
S	16	$3 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$1{,}3 \cdot 10^{-1}$	$1{,}3 \cdot 10^{-1}$	4,3
Sb	51	$1 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$1{,}5 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$	10
Sc	21	$1{,}5 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$1{,}9 \cdot 10^{-3}$	15
Se	34	$5 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$1{,}7 \cdot 10^{-5}$	$1{,}7 \cdot 10^{-5}$	3,4
Si	14	20,5	23	3,2	25	7,8
Sm	62	$n \cdot 10^{-5}$	$5{,}3 \cdot 10^{-4}$	$3{,}8 \cdot 10^{-4}$	$3{,}8 \cdot 10^{-3}$	76
Sn	50	$5 \cdot 10^{-5}$	$1{,}5 \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-5}$	$1{,}5 \cdot 10^{-4}$	3
Sr	38	$1 \cdot 10^{-4}$	$4{,}65 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$1{,}8 \cdot 10^{-2}$	2000
Ta	73	$1 \cdot 10^{-4}$	$1{,}1 \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-6}$	$n \cdot 10^{-6}$	22
Tb	65	$n \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-4}$	16
Th	90	$4 \cdot 10^{-7}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-4}$	1750
Ti	22	$3 \cdot 10^{-2}$	1,38	$7{,}7 \cdot 10^{-2}$	$4{,}66 \cdot 10^{-1}$	46
Tl	81	$6 \cdot 10^{-6}$	$2{,}1 \cdot 10^{-5}$	$1{,}6 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-5}$	13,33
Tm	69	$n \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$1{,}2 \cdot 10^{-4}$	12
U	92	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-5}$	$1{,}3 \cdot 10^{-4}$	1300

Окончание табл. 4.10

1	2	3	4	5	6	7
V	23	$4 \cdot 10^{-3}$	$2{,}5 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$1{,}2 \cdot 10^{-2}$	12,5
W	74	$7{,}7 \cdot 10^{-5}$	$7 \cdot 10^{-5}$	$n \cdot 10^{-5}$	$n \cdot 10^{-4}$	10
Y	39	$n \cdot 10^{-5}$	$2{,}1 \cdot 10^{-3}$	$4{,}2 \cdot 10^{-3}$	$9 \cdot 10^{-3}$	180
Yb	70	$n \cdot 10^{-5}$	$2{,}1 \cdot 10^{-4}$	$1{,}5 \cdot 10^{-4}$	$1{,}5 \cdot 10^{-3}$	30
Zn	30	$5 \cdot 10^{-3}$	$1{,}05 \cdot 10^{-2}$	$3{,}5 \cdot 10^{-3}$	$1{,}6 \cdot 10^{-2}$	4,71
Zr	40	$4{,}5 \cdot 10^{-3}$	$1{,}4 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$1{,}5 \cdot 10^{-2}$	7,5

табл. 4.7): Au (1,5), Ag (2,2), Sn (3), N (3,3), Se (3,4); менее 10 — у более 20 химических элементов. Разделение элементов по значениям абсолютного разброса кларковых содержаний в породах океанического дна не было случайным. Это подтверждается различием ряда химических характеристик у элементов обеих групп (рис. 4.15).

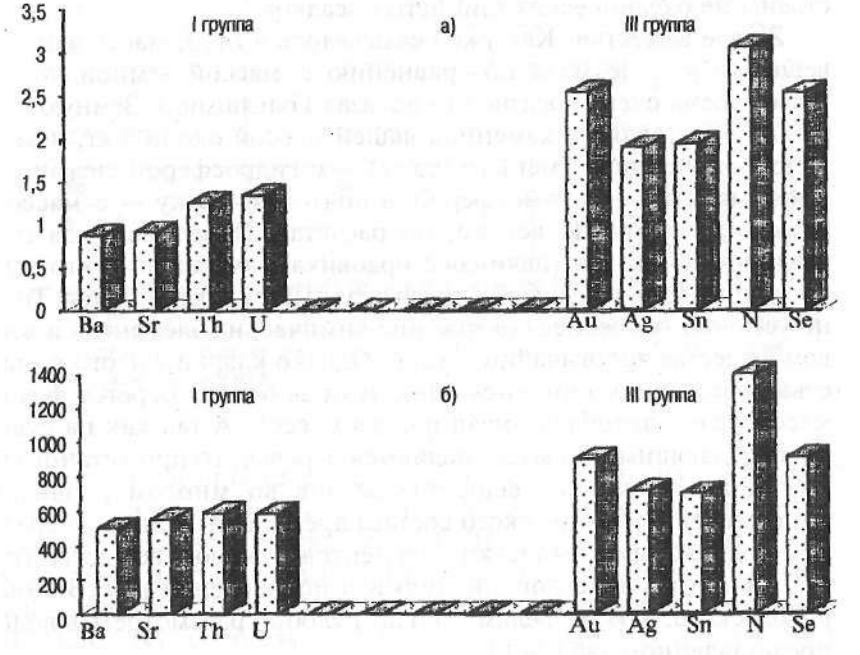


Рис. 4.15. Величины энергии ионизации до первого валентного состояния (а) и электроотрицательностей (б) у элементов, выделяемых в I и III группы по значениям абсолютного разброса их кларкового содержания в породах и осадках океанического дна

Относительный разброс кларков элементов пород и осадков океанического дна, характеризующий наибольшее влияние химических элементов на развитие жизни в Океане, установлен для пяти элементов (см. табл. 4.7): Cl (40), B (23), Mo (18), Br (15), J (10). Увеличение разброса (по сравнению с магматическими породами) для первых четырех элементов связано с существенным возрастанием их средних концентраций в глинистых осадках. Концентрация йода уменьшилась в карбонатных отложениях, что также увеличило разброс кларков, но вряд ли оказало большое влияние на развитие жизни.

Резкое одновременное увеличение концентраций Cl, B, Mo и Br в глинистых осадках Океана могло сказаться на особенностях развития придонных организмов. Этому процессу должно было содействовать уже отмеченное повышение в глинистых осадках средних содержаний таких тяжелых и удаленных от «линии жизни» элементов, как Pb, Il, Ba, Hg, Hf и др. В пользу высказанного предположения свидетельствует и широкое площадное распространение океанических глинистых осадков.

Живое вещество. Как уже указывалось в гл. 3, масса живого вещества крайне мала по сравнению с массой земной коры. В свое время очень образно это показал Гольдшмидт. Земную кору он сопоставлял с каменной чашей массой около 9 кг, помещенную в ней воду (меньше 0,5 кг) — с гидросферой, лежащую в ней монетку — с атмосферой, а почтовую марку — с массой живого вещества. И все же, по расчетам Перельмана, за последние 500 млн лет (начиная с ордовика) суммарная ежегодная продукция живого вещества превышает массу земной коры. Точно установить среднее содержание химических элементов в живом веществе чрезвычайно трудно. Однако кларки живого вещества постоянно уточняются. При этом за основу берется фитомасса, резко преобладающая над зоомассой. А так как на суше преобладающими по массе являются деревья, то при установлении кларков живого вещества задача во многом сводится к определению химического состава древесины. Данные о среднем содержании химических элементов в живом веществе (по А.П. Виноградову с дополнениями и исправлениями В.В. Добровольского, А.И. Перельмана и др.) удобно рассмотреть в виде, представленном табл. 4.11.

Полученный за последние годы материал о содержании химических элементов в организмах делает необходимым уточнение кларков целого ряда микроэлементов и ультрамикроэлементов. Их

Таблица 4.11

Данные среднего содержания химических элементов в живом веществе, %

Микроэлементы ($n \cdot 10^{-3} - n \cdot 10$)			
А. Воздушные мигранты (98,8%)			
O – 70	C – 18	H – 10,5	N – $3 \cdot 10^{-1}$
Б. Водные мигранты (1,2%)			
Ca – $5 \cdot 10^{-1}$	Mg – $4 \cdot 10^{-2}$	Na – $2 \cdot 10^{-1}$	
K – $3 \cdot 10^{-1}$	P – $7 \cdot 10^{-2}$	Cl – $2 \cdot 10^{-2}$	
Si – $2 \cdot 10^{-1}$	S – $5 \cdot 10^{-2}$	Fe – $1 \cdot 10^{-2}$	
Микроэлементы (водные мигранты) ($n \cdot 10^{-3}$ и менее)			
Mn – $9{,}6 \cdot 10^{-3}$	F – $1{,}4 \cdot 10^{-4}$	Sn – $1 \cdot 10^{-5}$	
Al – $5 \cdot 10^{-3}$	Pb – $1 \cdot 10^{-4}$	As – $6 \cdot 10^{-6}$	
Zn – $2 \cdot 10^{-3}$	Ni – $8 \cdot 10^{-5}$	Cs – $6 \cdot 10^{-6}$	
Sr – $1{,}6 \cdot 10^{-3}$	Cr – $7 \cdot 10^{-5}$	Be – $4 \cdot 10^{-6}$	
Ti – $1{,}3 \cdot 10^{-3}$	V – $6 \cdot 10^{-5}$	Ga – $2 \cdot 10^{-6}$	
B – $1 \cdot 10^{-3}$	Li – $6 \cdot 10^{-5}$	Se – $2 \cdot 10^{-6}$	
Ba – $9 \cdot 10^{-4}$	Co – $4 \cdot 10^{-5}$	W – $1 \cdot 10^{-6}$	
Cu – $3{,}2 \cdot 10^{-4}$	La – $3 \cdot 10^{-5}$	Ag – $1{,}2 \cdot 10^{-6}$; U – $8 \cdot 10^{-7}$; Hf – $5 \cdot 10^{-7}$	
Zr – $3 \cdot 10^{-4}$	Y – $3 \cdot 10^{-5}$	Sb – $2 \cdot 10^{-7}$	
Rb – $2 \cdot 10^{-4}$	Mo – $2 \cdot 10^{-5}$	Cd – $2 \cdot 10^{-7}$	
Br – $1{,}6 \cdot 10^{-4}$	J – $1{,}2 \cdot 10^{-5}$	Hg – 10^{-7}; Au – 10^{-8}; Ra – $n \cdot 10^{-12}$	
Обнаружены в организмах, но нет данных о среднем содержании He, Ne, Ar, Sc, Kr, Nb, Rh, Pd, In, Te, Xe, Ta, Tl, Bi, Th			
Пока не обнаружены с достоверностью в организмах Ru, Hf, Re, Os, Ir, Po, Ac, Tc, At, Fr (последние три не обнаружены в земной коре)			

содержание обычно определяется в золе (минеральная часть организмов), а затем пересчитывается на живое вещество, в котором значительную часть составляет вода. Иногда ее содержание превышает 99% массы (медузы). Четыре элемента, отнесенные по классификации А.И. Перельмана к активным воздушным мигрантам (O, H, C, N), составляют 98% массы всех живых организмов. На долю микро- и ультрамикроэлементов (всех в сумме) приходится меньше 0,1%. Однако роль многих из них в нормальном развитии чрезвычайно велика. И как было показано в этой главе, из-

менение их концентраций в среде обитания организмов могло повлиять на эволюцию жизни на Земле.

По предложению Перельмана, отношение среднего содержания химических элементов в живом веществе к их кларку в земной коре было названа *биофильностью*. Она характеризует способность живых организмов концентрировать определенные элементы. Большая биофильность отмечается у C (780), N (160), H (70), O (1,5) и Cl (1,1), минимальная — у Al, Fe, Tl.

Отношение содержания определенного элемента в золе, т.е. в минеральной части конкретного живого организма, к содержанию этого же элемента в почве (реже в горной породе) получило название *коэффициента биологического поглощения*. Впервые расчеты этих коэффициентов провел Б.Б. Полынов. В зависимости от их значения составляются ряды биологического поглощения химических элементов (табл. 4.12).

Те химические элементы, увеличение содержания которых

Таблица 4.12.

Ряды биологического поглощения химических элементов (по А.И. Перельману)

Элементы		Коэффициенты биологического поглощения				
		100 n	10 n	n	0,n	0,0n–0,00n
Биологического накопления	Энергичного	P, S, Cl, Br, I				
	Сильного			Ca, Na, K, Mg, Sr, Zn, B, Se		
Биологического захвата	Среднего			Mn, F, Ba, Ni, Ge, Cu, Ga, Co, Pb, Sn, As, Mo, Hg, Ag, Ra, Au(!), B		
	Слабого и очень слабого				Si, Al, Fe, Ti, Zr, Rb, V, Cr, Li, Y, Nb, Th, Sc, Be, Cr, Ta, U, W, Sb, Cd	

тания организмов способствует улучшению их состояния (а для растений увеличивает их годовую продукцию), часто называют *дефи-*

цитными химическими элементами. В отличие от них те химичес-

точными определенные химические элементы могут быть только для отдельных конкретных участков биосферы (геохимических ландшафтов). Так, в Восточном Забайкалье в долине реки Уров по результатам исследований А.П. Виноградова с сотрудниками и В.В. Ковальского в почвах и водах были выявлены резко повышенные содержания Sr и Ba (избыточные элементы) и пониженные Ca и J (дефицитные элементы). В результате это привело к заболеванию животных (низкая продуктивность и плодовитость, искривление позвоночника, выпадение зубов и шерсти) и людей (искривление позвоночника, ломкость костей, опухание суставов). В костях больных животных содержание Sr было в 5–8 раз выше, чем в костях здоровых.

Для ряда районов (примером может служить Каратау) дефицитным является F. Многие районы, как правило, удаленные от моря, характеризуются дефицитом J.

Однако, говоря о дефицитных и избыточных химических элементах для конкретных участков биосферы, следует помнить и неодинаковую потребность различных видов живых организмов в одних и тех же элементах. Для одних видов определенная концентрация химических элементов в среде проживания (питания) может быть нормальной, а для других — избыточной или недостаточной. В таких случаях организмы, для которых данная концентрация в районе является нормальной, постепенно вытесняют те виды, для которых она недостаточна или избыточна. С подобным явлением мы сталкиваемся и при антропогенном загрязнении, когда на загрязненных территориях начинают резко преобладать только определенные виды растительных или животных организмов.

4.6. Природные геохимические аномалии. Месторождения полезных ископаемых

4.6.1. Общие сведения

В пределах земной коры встречаются участки с резко повышенными содержаниями в горных породах определенных химических элементов, находящихся, как правило, в минеральной форме и реже в виде растворов и газовых смесей. Участки, где скопления химических элементов по количеству, качеству, формам нахождения и условиям залегания при данной экономической ко-

Таблица 4.13

Группировка рудных месторождений по масштабу запасов, т

Полезные ископаемые	Месторождения, не имеющие самостоятельного промышленного значения	Промышленные месторождения			
		мелкие	средние	крупные	уникальные
I. *Черные металлы*					
Железные руды	$n \cdot 10^6$	$n \cdot 10^7$	$n \cdot 10^8$	$n \cdot 10^9$	$n \cdot 10^{10}$
Марганцевые руды	$n \cdot 10^4$	$n \cdot 10^5$	$n \cdot 10^6$	$n \cdot 10^7$	$n \cdot 10^8$
Ti в коренных месторождениях (в металле)	$n \cdot 10^4$	$n \cdot 10^5$	$n \cdot 10^6$	$n \cdot 10^7$	$n \cdot 10^8$
Ti в россыпях (в металле)	$n \cdot 10^3$	$n \cdot 10^4$	$n \cdot 10^5$	$n \cdot 10^6$	$n \cdot 10^7$
Cr (в хромите)	$n \cdot 10^4$	$n \cdot 10^5$	$n \cdot 10^6$	$n \cdot 10^7$	$n \cdot 10^8$
II. *Цветные и редкие металлы*					
Cu, Pb, Zn (в металле)	$n \cdot 10^3$	$n \cdot 10^4$	$n \cdot 10^5$	$n \cdot 10^6$	$n \cdot 10^7$
Al и Mg (сырье):					
а) бокситы, магнезиты	$n \cdot 10^4$	$n \cdot 10^5$	$n \cdot 10^6$	$n \cdot 10^7$	$n \cdot 10^8$
б) нефелины, алуниты, карналлиты	$n \cdot 10^5$	$n \cdot 10^6$	$n \cdot 10^7$	$n \cdot 10^8$	$n \cdot 10^9$
Se, W, Mo, Sb, V, Zr, Li, Nb, редкие земли цериевой группы (в металле)	$n \cdot 10^2$	$n \cdot 10^3$	$n \cdot 10^4$	$n \cdot 10^5$	$n \cdot 10^6$
U, Th, Hg, Be (в металле)	$n \cdot 10$	$n \cdot 10^2$	$n \cdot 10^3$	$n \cdot 10^4$	$n \cdot 10^5$
Co (в собственно кобальтовых рудах), Ta (в танталите), редкие земли иттриевой группы, Ag, Bi (в металле)	n	$n \cdot 10$	$n \cdot 10^2$	$n \cdot 10^3$	$n \cdot 10^4$
Au, Pt (в металле)	–	$n \cdot 10^{-1}$ и менее	n	$n \cdot 10$	$n \cdot 10^2$

нъюнктуре пригодны для промышленного использования, называются *месторождениями полезных ископаемых*.

Все месторождения можно условно разделить на четыре группы: рудные (металлические), нерудные (неметаллические), горючие (каустобиолиты), гидроминеральные. В первой группе промышленную ценность представляют рудные элементы, находящиеся в основном в минеральной и изоморфной формах, во второй — сами минералы, в третьей — сложные органические соединения

элементов, находящихся в форме газовых смесей и минералов (твердых и жидких), в четвертой группе — водные растворы многих элементов.

Таким образом, месторождения имеют и экономический и геохимический смысл. С точки зрения геохимии (а следовательно, и экологической геохимии), месторождения — это крупные скопления химических элементов, т.е. крупные природные геохимические аномалии, приуроченные к строго определенным типам горных пород.

Необходимо особо отметить, что составом пород, вмещающих месторождения, во многом обуславливаются многие геохимические особенности месторождений, в том числе ассоциации химических элементов, находящихся в повышенных концентрациях, а часто даже сам тип месторождений.

Для месторождений устанавливаются запасы (количество) находящихся в них химических элементов. Данные о запасах большинства металлов в известных месторождениях приведены в табл. 4.13 и 4.14, составленных по данным В.И. Красникова. Как видно из этих данных, различные химические элементы отличаются по их количеству, сконцентрированному в пределах одного месторождения, во много миллионов раз (см. табл. 4.13). Кроме того, все запасы одних элементов практически сосредоточены

Таблица 4.13

Распределение металлов по месторождениям различного масштаба, %

Металл	Крупные месторождения			Средние месторождения			Мелкие месторождения		
	Количество	Запасы	Добыча	Количество	Запасы	Добыча	Количество	Запасы	Добыча
Fe	13	91	81	22	5	8	65	4	11
Cu	4	66	64	17	26	23	79	8	13
Pb	2	39	29	10	37	39	88	24	32
Zn	3	54	42	14	32	42	83	14	16
W	3	72	50	8	19	22	89	9	28
Mo	4	51	40	16	37	27	80	12	33
Sb	8	36	45	48	60	47	44	4	8
Hg	8	77	82	23	16	17	69	7	1
Co	11	82	39	33	15	51	56	3	10
Au	13	85	70	39	13	19	48	2	11
Среднее	7	65	54	23	26	30	70	9	16

в небольшом количестве крупных месторождений, других - в средних и реже — в мелких. Так, 91% промышленных запасом железа сосредоточен в крупнейших месторождениях; 60% запасон сурьмы находится в средних по запасам месторождениях; 24% запасов свинца — в мелких месторождениях. Приведенные примеры хорошо иллюстрируют разные способности химических элементов к совместной концентрации в больших количествах в пределах крайне незначительных по размерам участков земной коры. По мнению ряда исследователей, это объясняется не только свойствами химических элементов, но и их кларками для земной коры. Аномалии, представляющие собой месторождения полезных ископаемых, хотя и имеют относительно небольшие размеры (обычно до 100 км^2), из-за довольно высокой концентрации определенных элементов оказывают весьма существенное влияние на растительные организмы. Именно в районах месторождений выявлены растения-индикаторы высокой концентрации определенных элементов в окружающей их среде (см. табл. ЗЛО). Над месторождениями были выявлены физиологические и морфологические изменения растений, связанные с резко повышенным содержанием определенных элементов (см. табл. 3.11). Элементы с повышенной концентрацией над месторождениями попадают и в животные организмы, однако в этом случае их (элементов) воздействие оставалось практически неизученным. Если же в целом оценивать влияние отдельных месторождений на развитие жизни на Земле, то можно предположить, что из-за небольших размеров они не могли оказать решающего воздействия.

Кроме месторождений выделяются рудопроявления и точки (зоны) минерализации. Они так же, как и месторождения, представляют собой скопления определенных химических элементов. Однако из-за небольших запасов или сложившейся экономической коньюктуры их разработка в настоящее время нецелесообразна.

4.6.2. Геохимические поля KG знтрации и перераспределения химических элементов, отвечающие районам и узлам месторождений полезных ископаемых

Существует давно установленная закономерность совместного пространственного нахождения групп месторождений, проявлений и точек минерализации. Рядом расположенные и генетически связанные между собой месторождения в зависимости от раз-

меров получили название *узлов* и *районов месторождений полезных ископаемых*.

Рассматривая с точки зрения геохимии территории, занимаемые районами и узлами месторождений полезных ископаемых, можно (суммируя все ранее изложенное) отметить, что они отличаются от соседних участков земной коры целым рядом особенностей. Основными из них можно считать следующие:

1) обилие генетически связанных между собой, но разных по размерам месторождений, рудных тел, рудопроявлений и окружающих их первичных ореолов;

2) наличие многочисленных участков зачаточного рудообразования, представляющих собой зоны и точки рассеянной минерализации с непромышленной в настоящее время, но существенно превышающей фон концентрацией целого ряда химических элементов;

3) появление сравнительно больших участков с повышенным (в различной мере) фоновым содержанием в определенных породах элементов-индикаторов, характерных для данного типа месторождений;

4) наличие зон выщелачивания с существенно пониженным содержанием элементов-индикаторов;

5) большое число крайне неравномерно распределенных элементов-индикаторов.

Участки с перечисленными особенностями, выявленные при геохимических исследованиях, целесообразно выделять отдельно. Они называются *геохимическими полями концентрации и перераспределения элементов соответственно отдельных узлов и районов месторождений полезных ископаемых*. Пример такого поля приведен на рис. 4.16.

Вопрос о необходимости разделения ореолов (аномалий) по масштабу их проявленности ставился еще Н.И. Сафроновым (1957), И.И. Гинзбургом (1957), К.Н. Мукановым (1957). Л.В. Таусон (1968—1977) указывал на вероятность выделения первичных ореолов более крупных таксономических единиц, чем первичные ореолы месторождений. Г.М. Гундобин (1980) обосновал выделение полей концентраций и перераспределения Ольховского и Хапчерангинского рудных узлов (он назвал их региональными ореолами), связанных с хапчерангинским плутоном (рис. 4.17). Первичные поля концентрации элементов, характерные для рудных месторождений различных типов и их узлов, обоснованно выделялись Ф.Л. Думлером по данным, собранным в Центральном Казахстане и Южной Болгарии.

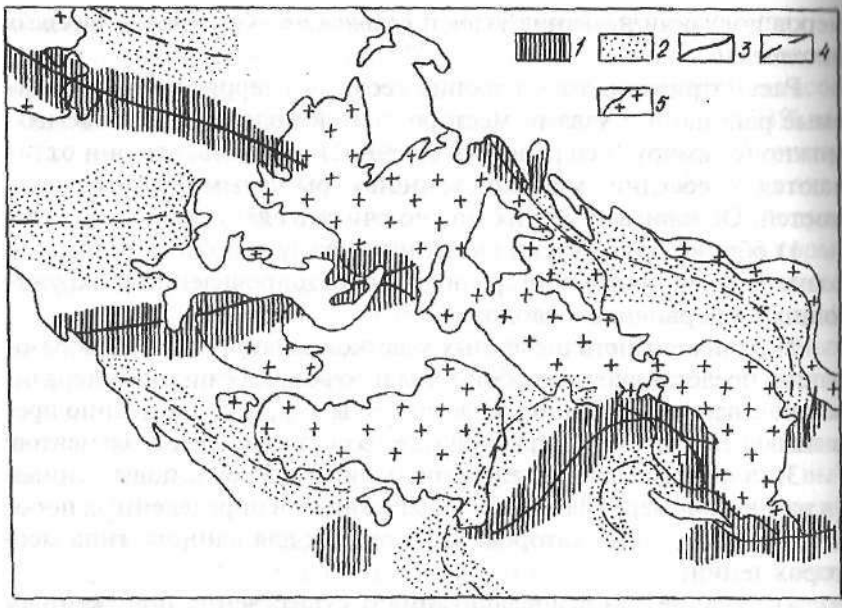


Рис. 4.16. Поле концентрации и перераспределения молибдена (по Т.Г. Скублову и др.):
1 — зоны привноса; 2 — зоны выноса; 3, 4 — осевые линии собственно зон привноса и выноса; 5 — граниты

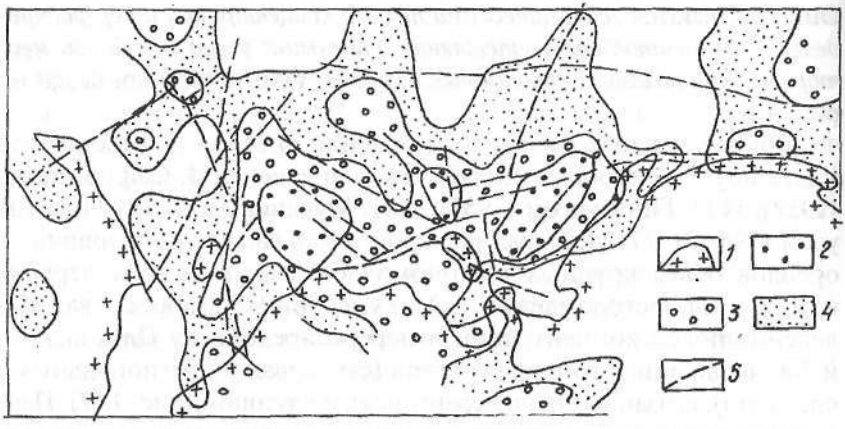


Рис. 4.17. Поле концентрации и перераспределения молибдена Ольховского рудного района:
1 — гранитоиды; 2,...,4 — концентрации молибдена от высших значений (2) к низшим (4); 5 — зоны разломов

Рассмотренные геохимические поля представляют собой крупные (до 100 км^2) геохимические аномалии в коренных горных породах с крайне неравномерным распределением ряда химических элементов. Они, несомненно, влияют на поступление и концентрацию этих же элементов в верхних ярусах геохимических ландшафтов, где становятся доступными живым организмам.

4.6.3. Вторичные геохимические поля рассеяния

Процессы выветривания и разрушения пород и руд полей концентрации и перераспределения узлов и районов месторождений полезных ископаемых приводят к формированию над ними вторичных геохимических полей рассеяния, объединяющих вторичные ореолы рассеяния (располагающиеся около выветривающихся месторождений, отдельных тел полезных ископаемых, рудопроявлений и зон рассеянной минерализации) с зонами повышенной концентрации элементов-индикаторов, образующимися за счет выветривания пород с их повышенным фоновым содержанием. В зависимости от формы нахождения элементов-индикаторов выделяются литохимические, биогеохимические, гидрогеохимические и атмохимические поля рассеяния (рис. 4.18, 4.19).

Геохимические особенности вторичных полей рассеяния объясняются, с одной стороны, унаследованием особенностей пер-

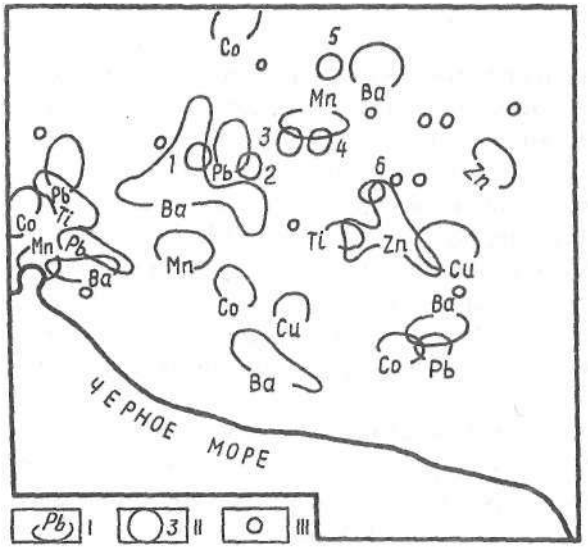


Рис. 4.18. Цитохимическое поле рассеяния группы ртутных месторождений:
I — литохимические аномалии в почвах; II — месторождения (1 — Сахалинское, 2 — Дальнее, 3 — Каскадное, 4 — Запорожское, 5 — Белокаменное, 6 — Финарское); III — проявления киновари и точки минерализации

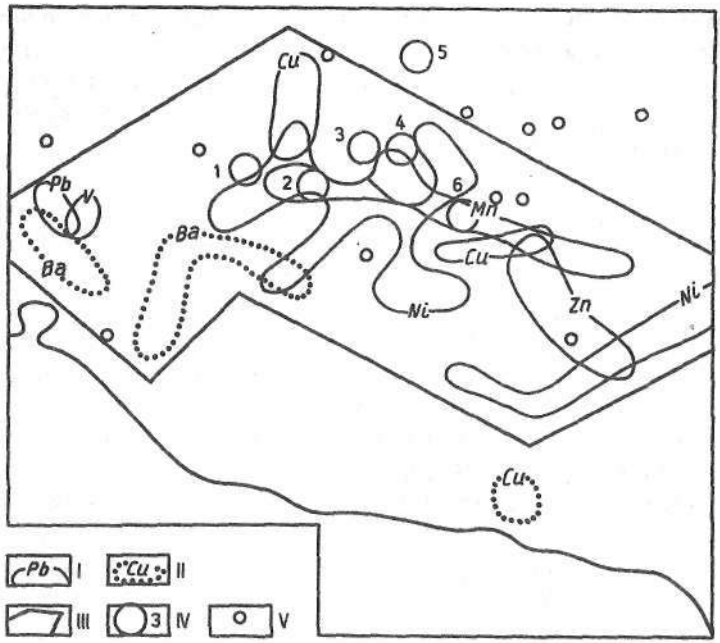


Рис. 4.19. Биогеохимическое поле рассеяния группы ртутных месторождений: I — биогеохимические аномалии в почвах; II — зоны повышенной концентрации металлов в растениях; III — контур биогеохимического поля рассеяния; IV — месторождения (1 — Сахалинское, 2 — Дальнее, 3 — Каскадное, 4 — Запорожское, 5 — Белокаменное, 6 — Финарское); V — проявления киновари и точки минерализации

винных геохимических полей концентрации и перераспределения, а с другой стороны — особенностями процессов миграции элементов в конкретных ландшафтно-геохимических условиях. Рассмотрим основные особенности вторичных полей:

• их размеры превышают размеры первичных полей и в изученных районах (Северный Кавказ) достигают 1500 км^2;

• соотношение между размерами вторичных полей различных видов не постоянно: над районами ртутных месторождений биогеохимические поля рассеяния значительно превышают литохимические, а над нефтегазоносными районами выявлена обратная картина;

• комплекс элементов-индикаторов в большинстве случаев подобен такому же комплексу первичных полей, однако он во многом зависит от вида поля рассеяния. Так, литохимическое поле ртутного Сахалинского района (на Западном Кавказе) кроме ртути об-

разуют Ba, Mn, Ti, Co, Pb, Cu, Zn и Ga, а биогеохимическое — Ha, Mn, Pb, Cu, Zn и Ni;

• элементы-индикаторы во вторичных геохимических полях расирсделены более равномерно, чем в первичных, однако зоны концентрации даже одного и того же элемента не представляют единого участка;

• различные элементы-индикаторы обычно концентрируются в различных частях поля рассеяния и лишь иногда такие участки частично перекрывают друг друга;

• содержание индикаторов в обогащенных зонах незначительно превышает фон (коэффициент аномальности мал);

• существенное влияние на распределение элементов во вторичных полях оказывают ландшафтно-геохимические особенности района, в связи с чем колебания фоновых содержаний элементов в почвах и растениях различных геохимических ландшафтов, слагающих поле рассеяния, иногда превышают разницу между фоновым и аномальным содержаниями этих же элементов в одном конкретном ландшафте.

Необходимо отметить, что вторичные лито- и биогеохимические поля образуются над месторождениями нефти и газа, находящимися в первых тысячах метров от дневной поверхности, а также над потенциально рудоносными структурами, расположенными на глубине до 1000 м от поверхности. Впервые вторичные лито- и биогеохимические поля рассеяния были предсказаны и выявлены автором данной книги в Северном Предкавказье и на Нижнем Дону (1979) и описаны в 1980 г. (В.А. Алексеенко и др.).

С точки зрения экологической геохимии, рассмотренные поля рассеяния представляют собой, в отличие от ранее рассмотренных месторождений полезных ископаемых, гораздо более крупные по площади выходов на поверхность, но малоконтрастные (с относительно невысоким содержанием элементов-индикаторов) аномалии в почвах, откуда элементы уже перешли в растения (биогеохимические аномалии) и, несомненно, попали в животные организмы. Влияние таких аномалий на развитие организмов практически не изучено.

4.6.4. Ассоциации химических элементов, находящихся в повышенных концентрациях

Довольно часто на участках земной коры в коренных породах, почвах, растениях, водах, атмосфере ряд химических элементов на-

капливается совместно. В таких случаях говорят об *ассоциациях элементов, находящихся в повышенных концентрациях,* или просто об *ассоциациях элементов,* подразумевая при этом, что их содержание превышает обычное, характерное для изучаемых объектов.

Совместное накопление элементов может объясняться общностью условий миграции и концентрации, обусловленных внутренними и внешними факторами. В тех случаях, когда на концентрацию определенных элементов решающее влияние оказывают сходные внутренние факторы, ассоциации элементов с повышенной концентрацией сохраняются в широком диапазоне различных геологических и ландшафтно-геохимических условий. Так, устойчивы ассоциации: уран—свинец—гелий, торий—свинец—гелий, калий—аргон, образование которых связано с радиоактивным распадом. Если же на образование ассоциаций основное влияние оказывают внешние факторы, то совместное нахождение элементов ограничено комплексом определенных условий. Ассоциация золото—медь—мышьяк—свинец—цинк—железо типична только для золотосульфидных руд, при выветривании которых могут возникнуть новые ассоциации: золото—мышьяк—железо, медь—мышьяк—цинк—золото—железо и т.д.

Ассоциации химических элементов, образующие повышенные концентрации в *коренных горных породах* на месторождениях рудных полезных ископаемых, приведены в табл. 4.15.

Таблица 4.15

Ассоциации химических элементов, находящихся в повышенных концентрациях на разных месторождениях

Месторождения полезных ископаемых	Ассоциации элементов
1	2
Магматические	
Хромитовые	Cr, Fe, Mg, (Pt, Al)
Платиновые	Cr, Fe, Pt, (Os, Ir), Mg
Титаномагнетитовые	Fe, Ti, V
Апатито-магнетитовые	Fe, F, P, Ca, (Zr)
Редких земель	Ti, Nb, Zr, Ta, Ge, P, Al, F, (TR), Na
Медно-никелевые (сульфидные)	Ni, Cu, (Pt, Pd, Co)
Алмазные (кимберлиты)	C, Cr
Апатитовые	P, Ti, Li, Zr, Th, Be, F, Cl, Sr, Nb, Ta, TR
Карбонатитовые	
Редких земель	Na, Ga, Ge, La, Nb, Ti, Ta, (TR), Mg, Zr, F, Ca
Апатитовые	P, Ca, Mg, F, Sr, Ba, TR, Ti, Zr, Nb, Ta, Cu, Mo

Продолжение табл. 4.15

1	2
Пегматитовые	
Вольфрамолитиевые	W, Li, Sn
Монацитовые	TR цериевой группы, Th
Берилло- и топазоносные	F, B, Cl, Li, Pb, Cs, Ti, Nb, Ta, TR
Скарновые	
Железорудные	Fe, Ca, Al, Si
Медные	Cu, Fe, Ca, Al, Si, (Mo, Co), (Pb, Zn)
Молибденово-вольфрамовые	Mo, W, Fe, Ca, Al, Si
Свинцово-цинковые	Pb, Zn, Fe, Cu, Ag, Bi, Al, Si
Оловорудные	Sn, Fe, Cu, (Mo, As, Zn, Pb, Bi, Ag, W), Si
Бериллиевые	Be, Fe, Mn, Si, Al, (Sc), W
Борные	B, Mg, Fe
Альбитит-грейзеновые	
Редких земель, альбититовые	Be, Li, Rb, Ta, Nb, Zr, TR иттриевые и цериевые, Na, K, Al, Si
Грейзеновые:	
• несульфидные	Sn, W, Li, Be, Si, Al; Sn, W, Mo; Mo, Be, Li; W, Mo, Be, F; Si
• сульфидные	Al, (Fe, Cu, As, Bi, Zn, Pb)
Гидротермальные	
Кварцевого парагенезиса	Au, As, Fe, Bi, Mo, W, U, Si, Cu
Сульфидного парагенезиса:	
• свинца и цинка	Pb, Ba, Zn, Cu, Fe, U, Mo
• пятиэлементной формации	Co, Bi, Ni, Ag, Ca, Ba, U, F, As, Fe, (Pb, Zn, Cu)
• касситерита	Sn, Pb, Zn, Fe, W
Карбонатного парагенезиса:	
• железа	Fe, Mg, Ca, (Cu, Pb)
• марганца	Mn, Mg, Ca, (Fe, Ba)
• магния	Mg, Ca
Колчеданные	Fe, Cu, S, Zn, Pb, (Au, Ba)
Графитсодержащие	C, Mg, Fe, Ti, Y, (Cu, Zn)
Стратифицированные	
Медные	Cu, Fe, (Pb, Zn, Ag)
Свинцово-цинковые	Pb, Zn, Ag, Fe, Mg, (Ba, F)
Осадочные	
Борные	B, Mg, K
Железорудные	Fe, Mn

Окончание табл. 4.15

1	2
Марганцевые	Mn, Fe
Алюминиевые	Al, Fe
Метаморфогенные	
Марганцевые	Mn
Железистые кварциты	Fe
Титановые	Ti, Fe
Месторождения выветривания	
Остаточные:	
• силикатно-никелевые	Ni, Mg, Al, (Co, Mn)
• железистые	Fe, Mg, Mn, Co, Ni, Cr
• алюминиевые	Al, Fe, Mn
Инфильтрационные урановые	U, Re, V, Cu

Практически эти же ассоциации характерны для рудных районов и узлов соответствующих месторождений в почвах.

Ассоциации химических элементов, образующих аномалии *в почвах на территории месторождений нефти и газа,* возникают из-за того, что в почвы периодически поступают газообразные продукты от углеводородных залежей. К ним в первую очередь относятся сами углеводороды, водород, углекислый газ, инертные газы. Их бактериальное разложение, сопровождающееся различными химическими реакциями, приводит к формированию в почвах над месторождениями многочисленных и разнообразных геохимических барьеров (сероводородного, кислого, щелочного, сорбционного, биогенного). Происходящие на таких участках окислительно-восстановительные реакции (с участием бактерий, разлагающих углеводороды) могут увеличить подвижность восстанавливающихся элементов переменной валентности, часто приводя к их «отгонке» из центральных частей участков. В результате всех указанных процессов в почве образуются *аномалии перераспределения,* отвечающие районам месторождений нефти и газа (рис. 4.20).

Аномалии отдельных элементов могут не совпадать и быть разобщенными, хотя вместе они (как видно на рисунке) образуют единое *вторичное литохимическое поле.* Ассоциации элементов, образующих аномалии в районах месторождений нефти и газа, определяются первичным наличием в почвах подвижных элементов,

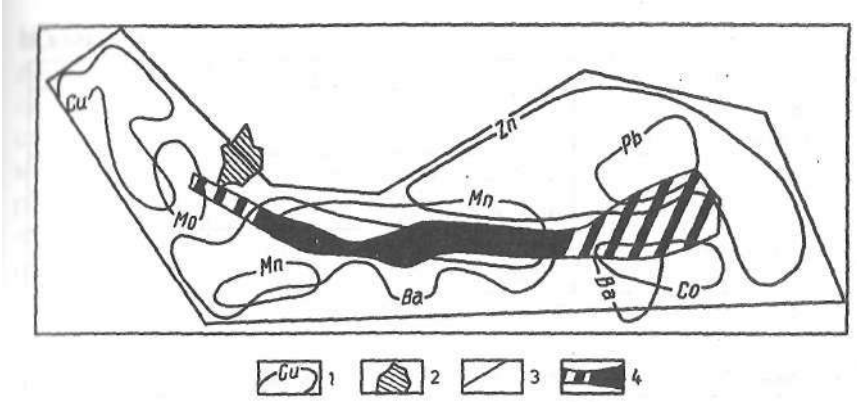


Рис. 4.20. Вторичное литохимическое поле над месторождением нефти и газа (Краснодарский край):
1 — литохимические аномалии в почвах; 2 — населенные пункты; 3 — граница поля рассеяния; 4 — проекция на дневную поверхность нефтяных и газовых месторождений

способных перемещаться и концентрироваться на соответствующих барьерах. Чаще всего к ним относятся Pb, Zn, Mn, Си, Ba, Co, Ni, Cr. Обычные размеры аномалий — п • 100 км^2. Ассоциации химических элементов, образующие повышенные концентрации *в подземных водах* на месторождениях различных типов, приведены в табл. 4.16. Как видно из таблицы, в подземных водах почти на всех типах месторождений отмечено повышенное содержание Си, Zn, Mo. Их часто называют «проходящими металлами».

Таблица 4.15

Ассоциации химических элементов, находящихся в повышенных содержаниях в подземных водах месторождений различных типов

Тип месторождений	Гидрохимические ассоциации элементов	Содержание, мг/л
1	2	3
Магматические: медно-никелевые	Cu, Ni, Co, Fe, Ag, Cr, Zn, Pb, Sb, Sn, Ti, V	0,01–100
хромитовые	Cr, Ni, Co	–
титано-магнетитовые	Ti, Fe, Ni, Co	–
Редкометалльные: алограниты	F, Li, Be, Nb	–
пегматиты	Li, Be, Nb	–
Пегматиты: олововольфрамовые	W, Sn, Bi, Ni, Zr, Sb, (Cu, Zn, Pb, Cr)	0,01–1,0
бериллиевые	Mo, Sn, W, Zn, Bi, Zr, (Cu, Pb, Ni)	0,01–0,1

Окончание табл. 4.16

1	2	3
Скарновые: железорудные	Fe, (Mn)	–
медные	Cu, Mo, (Zn, Pb, Co)	0,01–1,0
молибденовольфрамовые	Mo, Zn, W, Fe, (Pb, Sn)	–
свинцово-цинковые	Zn, Pb, Cu, Mo, (As, Ag, Mn, Ni, Ba, Co, Sr, Sn)	1–3000
борные	B, F Li; As, Cu, Zn, Hg, Pb	–
Грейзеновые: сульфидные	Mo, Cu, Mn, Ti, Sr, Ni, V, Zr, W, As, Co	–
кварц-вольфрамитовые	Mo, Mn, (Ti, Ni, V, Zr, Bi, Zn, Ag, Cu, Sr)	1–600
Гидротермальные: медно-молибденовые	Mo, Cu, Mn, Ti, Ni, V, Pb, Zn, Ag, Co	Следы; Mo: 1–10
медно-кобальтовые	Cu, Co, As, Fe, Ni, Zn, Ag	0,01–100,0
сурьмяные	Sb, As, Pb, Zn, Ag, Bi, Cu, Ni, Co	0,01–1,0
ртутные	Hg, Sb, As, Zn, Pb, Cu	0,01–0,1
свинцово-цинковые	Zn, Pb, Cu, Mo, Ag, (Cr, Cd, V, Bi, Sb)	0,1–10,0
оловорудные	Zn, Sn, Pb, Cu	–
золоторудные	As, Au, Bi, Pb, Cu, Zn, (Mo, Ag, Sb)	0,01–1,0
урановые	As, U, Cu, Zn, Pb, Ni, Mo	до 10,0
Медно-колчеданные	Cu, Zn, Pb, Mo, Fe, (As, Ag)	0,1–6000
Остаточные силикатно-никелевые	Ni, Co, Ti, Cu	–
Циркон-ильменитовые россыпи	Ti, Zr, Cr, V, (Sn, Ag, Ni, Co)	0,01–0,5
Касситерит-вольфрамитовые россыпи	Sn, W, Mo, Cu, Zn	$1 \cdot 10^{-4}$–$1 \cdot 10^{-3}$
Алмазоносные кимберлиты	Zn, Ni, Co, Cr, V, Ga, Cu	–
Пегматитовые берилл- и топазсодержащие	F, B	–
Магматические апатитовые	Cu, Zn, Ba	0,01–0,05
Залежи нефти	J, Cu, Mo, Ag, (диоксид углерода, сероводород, бензол)	–

В газах над урановыми месторождениями появляются радон-222, гелий и небольшие количества криптона-85 и ксенона-133. Продуктами распада тория являются торон-220 и гелий. В коренных породах и почвах над полиметаллическими и ртутными месторождениями наблюдаются повышенные концентрации $C0_2$,

I \, и паров Hg; над колчеданными — CO_a (иногда до 4%) и H_2; над золотосодержащими сульфидными рудами — CO_a и N_2. Образование своеобразных ассоциаций элементов, образующих аномалию на месторождениях в коренных породах, водах и почвах, привело к формированию над месторождениями биогеохимических аномалий. Образование последних обусловлено высокой *концентрацией металлов* в растениях. Обобщение уже довольно многочисленных данных позволило выявить ассоциации химических элементов, образующих такие биогеохимические аномалии (табл. 4.17).

Таблица 4.17

Ассоциации элементов, находящихся в повышенных концентрациях в растениях над различными типами месторождений

Тип месторождений	Ассоциации элементов
Редкометалльные пегматиты	Li, Cs, Ta, Nb, (Rb, Be)
Танталоносные апограниты	Rb, Li, (Sn)
Скарновые:	
медно-кобальтовые	Co, Ni, Cu, As, (Ag, Pb, Zn)
бериллиевые	Be
медные	Mo, Cu
молибдено-вольфрамовые	Mo, W, (Bi)
Грейзеновые:	
сульфидные	Be, Mo, Bi
редкометалльные	Be, F, Zr, (Cu, Mo, Pb)
Гидротермальные:	
золотокварцевые	Zn, Au, (Pb, Cu)
золотосульфидные	Au, Cu, As, (Ag, Pb, Mo)
урановые	U, (Mo, Pb, Zn), Th, TR
оловорудные	Sn, Pb, Cu, Zn
медные	Mo, Cu, Zn
молибденовые	Mo
полиметаллические	Zn, Pb, (Ti, Mn)
Колчеданно-полиметаллические	Pb, Zn, Mo, Ag, (Sn, Cu)
Медно-колчеданные	Mo, Cu, Zn, Co, (Ag)
Стратифицированные свинцово-цинковые	Pb, Zn, (Ag)
Никеленосные коры выветривания	Ni, (Co, Cu)
Алмазоносные кимберлиты	Ni, Cr, Ti
Эндогенные бороносные	B
Залежи нефти и газа	Pb, Zn, Co, Mn, Ni, Ba, Cr

Природным геохимическим аномалиям, которые представляют собой месторождения полезных ископаемых, их районы и узлы, а также ассоциации образующих их элементов, в этом учебнике уделено особое внимание по двум основным причинам. Во-первых, их можно рассматривать как своеобразные природные полигоны, на которых природа как бы проводила один из экспериментов по воздействию в пределах локальных участков многих химических элементов повышенной концентрации на организмы. Во-вторых, в последние годы многие исследователи рассматривают месторождения как аналога антропогенного загрязнения. Правомочность таких утверждений невозможно установить, не рассмотрев, хотя бы кратко, геохимические особенности месторождений, их районов и узлов. Сравнение месторождений и участков антропогенного загрязнения сделано в гл. 8.



МИГРАЦИЯ И КОНЦЕНТРАЦИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В БИОСФЕРЕ

ГЛАВА 5. МИГРАЦИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

5.1. Общие сведения. Геохимические циклы миграции

Как уже указывалось, все химические элементы, находящиеся в биосфере, образуют различные, относительно устойчивые системы, получившие название *«формы нахождения»*. Составляющие их элементы могут совместно перемещаться как в самой биосфере, так и выходить за ее пределы. Кроме того, относительная устойчивость форм нахождения предопределяет возможность их распада с объединением химических элементов в новые формы совместного нахождения.

Таким образом, можно считать, что химические элементы в биосфере находятся почти постоянно в состоянии движения, которое и является их *миграцией*. Перемещение элементов в биосфере можно представить в виде почти замкнутого цикла. При этом часть элементов не только постоянно поступает из мантии и космоса в биосферу, но и мигрирует из нее как в глубинные зоны земной коры, так и в космос (рис. 5.1).

Источники энергии. Любое перемещение какой-либо массы вещества происходит за счет затраченной энергии, формы которой могут быть довольно разнообразны: тепло, свет, электричество и т.д. Известные источники энергии, расходуемой на Земле, довольно малочисленны и, по А.А. Саукову, могут быть сведены в четыре основные группы: 1) энергия гравитационных сил; 2) космическая энергия; 3) энергия радиоактивного распада; 4) теплота глубин земного шара.

Энергия гравитационных сил проявляется в расслоении Земли на оболочки, когда преимущественно легкие атомы слагают верхние оболочки, а тяжелые — ядро. С этой энергией связано в большинстве случаев и механическое перемещение вещества на поверхности планеты.

Роль *космической энергии* трудно переоценить, рассматривая миграцию химических элементов в биосфере. Практически вся космическая лучистая энергия, попадающая на Землю, может быть сведена к энергии солнечных лучей. Ею в основном определяют-

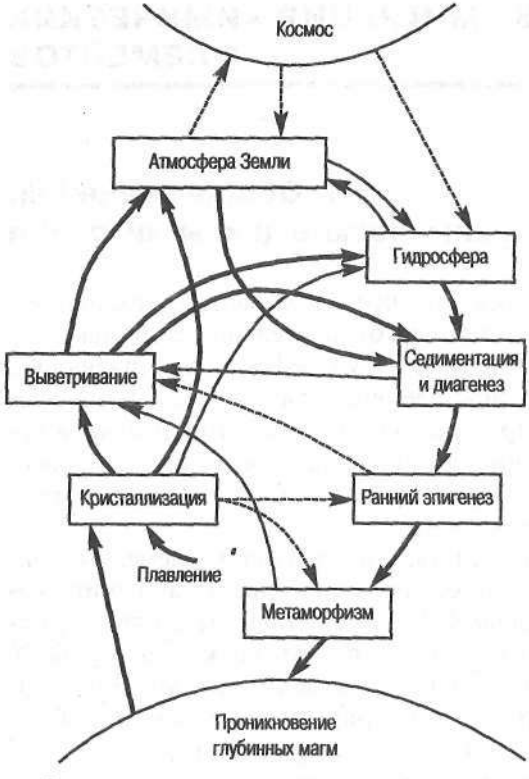


Рис. 5.1. Геохимический цикл миграции элементов

ся тепловые режимы Океана и атмосферы, а следовательно, и перемещения огромных масс воды и газовых смесей. С энергией солнечных лучей связан и процесс фотосинтеза. В результате взаимодействия космического излучения с газами атмосферы возникают нейтроны, участвующие в ядерных реакциях. Так, под влиянием космических лучей азот атмосферы превращается в углерод и радиоактивный изотоп водорода тритий (^{3}H или T). В процессе ядерных реакций, связанных с космическим излучением, образуются радиоактивные изотопы ^{10}Be, ^{22}Na, ^{26}A1, ^{38}C1.

С *энергией радиоактивного распада* многие ученые связывают большинство тектонических движений. В.И. Вернадский предполагал, что вся или почти вся внутренняя теплота Земли имеет радиоактивное происхождение. Несмотря на относительно небольшие количества существующих сейчас в горных породах радиоактивных элементов, суммарного количества выделенной ими энергии за геологическую историю Земли достаточно для расплавления массы горных пород.

Энергию остаточной теплоты глубин земного шара одни ученые связывают с радиоактивными процессами, другие — с остаточной теплотой звезды (АЛ. Сауков). Во всяком случае, верхние оболочки Земли получают тепловую энергию из глубин планеты,

и с нею связаны очень многие геологические процессы, приводящие к миграции химических элементов.

Некоторые исследователи отдельно выделяют энергию живого вещества, однако правильнее было бы говорить о проявлении ранее накопленной энергии живым веществом.

Геохимические циклы миграции химических элементов (их соединений). Из магматических расплавов при их кристаллизации часть элементов отделяется в виде газовых смесей и водных растворов. В дальнейшем эти элементы могут непосредственно перейти в атмосферу и гидросферу или образовать новые минералы, или же в виде изоморфных примесей и газово-жидких включений войти как в новые, так и в ранее существовавшие минералы.

В результате тектонических подвижек и эрозии образовавшиеся на глубине породы попадают в поверхностную обстановку биосферы, где составляющие их элементы и соединения перераспределяются агентами выветривания. При этом в результате жизнедеятельности и разложения организмов в атмосферу попадают диоксид углерода и метан, а за счет процессов фотосинтеза — кислород. Продолжающийся в поверхностных условиях процесс распада радиоактивных элементов приводит к поступлению в атмосферу гелия и аргона. Значительное перераспределение элементов в условиях развития процессов выветривания связано с относительной растворимостью соединений в воде. Легко растворимые соединения переходят в гидросферу, находясь в форме истинных и коллоидных растворов. Следует отметить, что в пределах континентов большая часть продуктов выветривания переходит в осадки в стадии седиментации и диагенеза, минуя растворение и переход в гидросферу.

Из атмосферы ряд компонентов удаляется в течение всего геологического времени. В первую очередь это — кислород (при процессах окисления железа, марганца, соединений серы; образовании воды и т.д.), диоксид углерода (образование угля, нефти, рассеянного в осадочных породах органического вещества, карбонатов), азот (за счет жизнедеятельности ряда бактерий и образований оксидов азота), водород и гелий (удаление из гравитационного поля Земли). Из атмосферы удаляются и коллоидные частицы (аэрозоли), попавшие в нее из космоса (космическая пыль), литосферы и гидросферы. Компоненты, удаленные из атмосферы, образуют соединения, являющиеся, как правило, составными частями осадочных пород.

В космическое пространство попадают в значительном количестве водород и гелий. Последнего, по данным Б. Мейсона, в ат« мосфере осталось меньше 0,1 его количества, выделившегося при радиоактивном распаде в течение геологического времени (10^9 лет). Из космоса в атмосферу, а затем и на земную поверхность попадают космическая пыль и метеориты. Масса всех химических элементов, поступающих из космоса за год, колеблется, по данным различных авторов, от 400 до 4000 т.

Вещества, поступившие в растворы при выветривании горных пород из атмосферы, космоса, при подводных извержениях и кристаллизации магматических расплавов, постепенно вместе с обломочным материалом переходят в осадки, образующие новые горные породы. Осадки отлагаются в открытых морских водоемах, озерах, а также выпадают из подземных вод. Наиболее интенсивное выпадение веществ в осадок наблюдается при смене геохимических условий. В случае диагенетических изменений идет не только уплотнение, но и перераспределение веществ, при котором может происходить как концентрация, так и рассеяние элементов.

Во вновь образовавшихся породах также продолжаются процессы миграции элементов, результатом которых являются такие эпигенетические изменения пород, как перекристаллизация, старение коллоидов, гидратация и дегидратация, рост конкреций, возникновение новых, уртойчивых в данных условиях минералов. Ранние эпигенетические изменения происходят под влиянием изменившихся термодинамических условий, а также под воздействием растворов и газов, проникающих в породы при кристаллизации магмы.

Дальнейшие изменения пород, вплоть до метаморфизма, могут происходить как без изменения валового химического состава пород, так и с привнесением вещества (обычно контактовый метаморфизм). При этом возможна как концентрация элементов, так и их рассеяние. Значительное повышение температуры и давления может вызвать плавление пород, с образованием при последующей кристаллизации расплавов, различных типов изверженных пород и газогидротермальных растворов. Переход пород в расплавленное состояние возможен и в результате их растворения во внедрившихся расплавах.

Рассмотренный геохимический цикл миграции элементов (кристаллизация расплавов -+ выветривание с поступлением части элементов в атмосферу и гидросферу *у*-\ седиментация и ди-

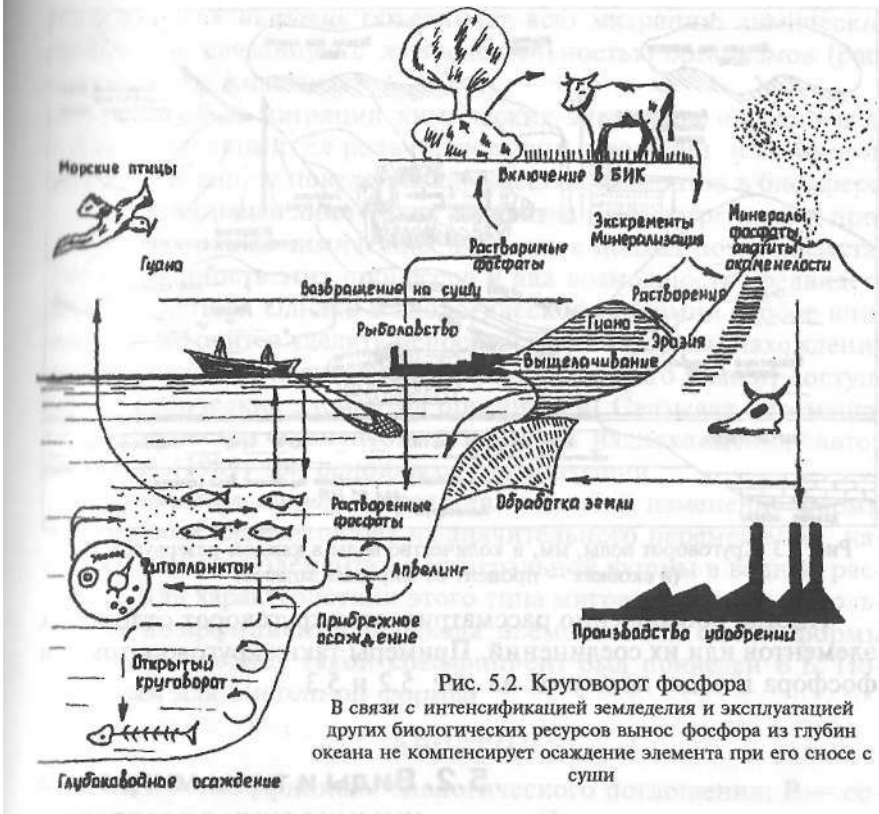


Рис. 5.2. Круговорот фосфора

В связи с интенсификацией земледелия и эксплуатацией других биологических ресурсов вынос фосфора из глубин океана не компенсирует осаждение элемента при его сносе с суши

агенез -* эпигенетические изменения, вплоть до плавления пород) можно считать основным, поскольку таким путем осуществляется круговорот большинства элементов в земной коре. Но в процессе миграции могут возникать и мелкие второстепенные циклы. Участвуя в них, часть элементов может миновать отдельные «ступени» основного цикла.

Такие возможные переходы показаны на рис. 5.1 тонкими линиями. Случаи миграции в одном из второстепенных циклов незначительного количества элементов на рисунке показаны штриховой линией.

Вспомним, что в соответствии с законом В.И. Вернадского о влиянии организмов на миграцию элементов в биосфере все элементы биосферы или «прошли» через живые'организмы, или перемещаются в среде, свойства которой обусловлены этими организмами. Именно это позволило особо выделять биологический круговорот элементов (см. гл. 2).

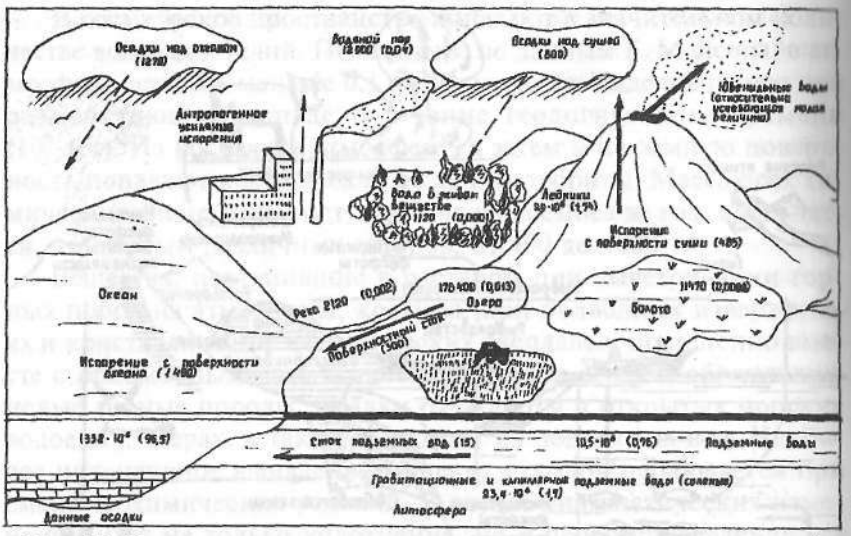


Рис. 5.3. Круговорот воды, мм, и количество воды в каждом резервуаре, км³ (в скобках — процент от мировых запасов)

Иногда обособленно рассматривается круговорот отдельных элементов или их соединений. Примеры таких круговоротов для фосфора и воды показаны на рис. 5.2 и 5.3.

5.2. Виды и типы миграции химических элементов

Виды миграции химических элементов. А.И. Перельман (1979) выделил четыре основных вида миграции химических элементов: 1) механическую; 2) физико-химическую; 3) биогенную; 4) техногенную, связанную с социальными процессами.

Механическая миграция (механогенез) подразумевает механическое перемещение химических элементов без изменения форм их нахождения. Так, например, перемещаются обломки минералов в поверхностных водах и атмосфере, воды рек, газы атмосферы и т.д.

Физико-химическая миграция включает миграцию и сопровождающие ее химические реакции для таких форм нахождения химических элементов, как водные растворы, газовые смеси. К ней же отнесены диффузия, процессы радиоактивного распада, явление изоморфизма, процессы сорбции.

Биогенная миграция объединяет всю миграцию химических "•ментов, связанную с жизнедеятельностью организмов (рас-гительных и животных).

Техногенная миграция химических элементов вызвана деям ш.иостью людей. Ее роль непрерывно возрастает, и во многом рна контролирует поведение химических элементов в биосфере.

Типы миграции химических элементов. Рассмотренный к процессам миграции химических элементов подход позволил установить сущность этих процессов и дал возможность предвидеть их последствия. Однако в экологической геохимии особое внимание приходится уделять непосредственно формам нахождения мигрирующих элементов, так как часто от этого зависит доступность химических элементов организмам. Связывая перемещение химических элементов с формами их нахождения, автор ныделяет (1989) три основных типа миграции.

Первый тип миграции представляет собой изменение формы нахождения элементов без их значительного перемещения, например переход элемента из минеральной формы в водные расткоры. Для характеристики этого типа миграции можно использовать коэффициенты перехода элементов из одной формы в другую. Впервые такой коэффициент был приведен Б.Б. Полыновым для биогенной формы:

$$КБП=Р/П,$$

где КБП — коэффициент биологического поглощения; Р — содержание элемента в золе растения; П — содержание этого же элемента в почвах (породах), на которых произрастает растение.

Рассматриваемый процесс (несмотря на практическое отсутствие перемещения) часто играет весьма значительную роль в природной и техногенной миграциях элементов. В случае, если **КБП** > 1, идет выборочное «перекачивание» элементов из почв. При последующем отмирании растений минеральная часть спада в подстилке лесов будет характеризоваться более высокой концентрацией этих элементов, чем нижележащие почвенные горизонты. Даже только в отдельных регионах эта разница может измеряться в миллионах тонн металлов.

После Чернобыльской катастрофы значительная часть радионуклидов перешла в биогенную форму (в растениях) непосредственно в районе аварии, тем самым уменьшилась дальность их миграции. На первом этапе это чрезвычайно благоприятно сказалось на локализации последствий катастрофы. Однако не бы-

ла учтена возможность еще одного скорого изменения форм нахождения радионуклидов, а они в результате начавшихся пожаров перешли в коллоидную форму (аэрозоли). При этом дальность и скорость миграции радионуклидов резко возросли, а сама миграция перешла в следующий тип.

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

Со вторым типом миграции химических элементов также бывают связаны экологические катастрофы. Так, в конце 1993 г. в Индии наступающее море затопило участок плодородной земли размером более 2000 га сроком на 15 часов. При этом не только были снесены дамбы и плодородный слой почв с урожаем пшеницы и хлопчатника, но перемещающиеся водные растворы солей (морская вода) заменили пресные почвенные растворы, вызвав засоление почв. Причинами этого наводнения Махир Бхат (1994) считает уничтожение прибрежных мангровых рощ пасущимся скотом, разработку на побережье песчаных карьеров, уничтожение малых рек.

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

Этот тип миграции химических элементов является преобладающим в биосфере. Его значение становится особо важным, когда хотят проследить достаточно долгий путь миграции химических элементов (их соединений). Такие построения справедливы и для прослеживания миграционных путей токсичных и радиоактивных веществ.

Так, в рассмотренном выше примере с миграцией радионуклидов в районе Чернобыля можно предположить, что произойдет их значительный атмосферный перенос и очередной переход в биогенную форму из коллоидной. При этом возможна непосредственная концентрация радионуклидов в организме человека (через легкие в кровь) либо накопление их в различных сельскохозяйственных продуктах, затем дальняя техногенная миграция (перевозка продуктов) и последующее поступление в организмы.

Весьма интересно проследить путь природной миграции тоги и — одного из двух относительно распространенных радиоакi ивных элементов в биосфере. Довольно часто встречающийся в природе минерал тория — монацит (Th, Ge, La)$P0_4$ может перемещаться в реках и практически недоступен для организмов на р.нхтоянии около 150 км (второй тип миграции) от содержащих его горных пород. Затем он начинает постепенно растворяться. В дальнейшем, при незначительных изменениях pH может прои t ходить гидролизация растворенных соединений тория (Th <OM)$^{3+}$, Th $(OH)_2^{r+}$, $Th(OH)_4^{\circ}$). Продукты гидролиза легко сор-(•ируются коллоидами глинистых минералов, гидроксидов Fe, Mg, Л1 (НА. Титаева, 1992). Концентрация Th во взвешенных частицах повышается по сравнению с речными водами в тысячи раз. Таким образом, при водной миграции Th от выветрившихся горных пород до Океана (при отсутствии антропогенной деятельности) несколько раз меняются форма нахождения и концентрация в миграционном потоке этого радиоактивного элемента. **При** этом лишь на небольшом расстоянии он перемещается и виде раствора, т.е. в форме, наиболее доступной для организмов. Концентрация его в данном случае будет минимальна: отп-1($Г^{1\circ}$доп-1($Г^{8}$г/л.

При рассмотрении миграции элементов необходимо установить причины, обуславливающие данный процесс, так как их различные комбинации могут привести к усиленной миграции одних элементов и концентрации других в пределах даже небольшого участка. Без знания причин миграции элементов часто невозможно объяснить образование повышенных содержаний элементов в горных породах, почвах, водах, растениях и животных. Все причины миграции А.Е. Ферсман условно разделил на внутренние, связанные со свойствами атомов и их соединений, и внешние, определяющие обстановку миграции.

5.3. Основные факторы миграции химических элементов в земной коре

5.3.1. Внутренние факторы

Электростатические (кристаллизационные) свойства ионов. Эту группу факторов необходимо учитывать только при мигра-

ции элементов в виде свободных ионов. Такая миграция характерна для различных форм нахождения элементов и типична для водных растворов, магматических расплавов, газовых смесей, живого вещества. Так как рассматриваемая группа факторов во многом определяется размерами ионных радиусов, ее следует относить не к точным физико-химическим константам, а к полуколичественным показателям.

Одним из таких показателей является *ионный потенциал Картледжа.* По его значению, определяемому отношением заряда иона (валентности) к его радиусу, умноженному на 10, если он выражается в нанометрах [$Z/(10R_i)$, где Z — заряд; R_i — радиус иона, нм], химические элементы (их ионы) объединяются в три группы с величиной потенциала: первая — до 3; вторая — от 3 до 12; третья — больше 12. Все они отличаются по способности образовывать комплексные соединения, истинные растворы, соединяться с молекулами воды, а в конечном счете — по доступности для большинства живых организмов (см. гл. 2, 3).

Последовательность кристаллизации минералов из растворов и расплавов, как правило, контролируется (в первом приближении) энергией их кристаллических решеток. Она, по А.Е. Ферсману, зависит от *энергетических коэффициентов ионов,* значение которых возрастает с увеличением валентности и уменьшением ионного радиуса. Ионы с большими значениями ЭК раньше выпадают из растворов и обычно первыми образуют соединения в ходе кристаллизации магмы. При процессах выветривания они, как менее" подвижные, чаще накапливаются в элювии.

При изучении зависимости миграции от *радиуса иона* было установлено, что при свободной миграции с увеличением радиуса дальность миграции возрастает, а при диффузии, наоборот, уменьшается.

В растворах значительная часть ионов может переноситься и в виде комплексных соединений. В этом случае они обычно недоступны многим живым организмам. Однако довольно скоро в природных условиях начинается первичная диссоциация, приводящая к появлению в растворе свободных ионов за счет их отрыва из внешней сфера комплекса. С изменением термодинамических и геохимических условий миграции, т.е. на геохимических барьерах (см. гл. 2, 6), будет происходить вторичная диссоциация комплексного иона, в результате которой в растворе появятся в виде самостоятельных ионов лиганды из внутренней сферы и сам комплексообразователь.

Нее изложенное позволяет считать, что даже при значительной роли комплексных соединений в водной миграции часть элементов всегда находится в виде простых ионов, а на определенных геохимических барьерах в такую форму переходит подавляющее большинство элементов. Дальнейшая миграция простых ионов (при неизменных внешних факторах) начинает подчиняться закономерностям, определяемым их электростатическими ОВОЙствами, а сами химические элементы становятся более доступными для всех организмов.

Рассмотрим последовательность отложения в таких условиях ионов элементов, наиболее часто поступающих сейчас техногенным путем в биосферу. Раньше других должны прекратить свободную миграцию ионы с малыми радиусами. Следовательно, располагая ионы по мере увеличения размеров их радиусов (п»10~[a] им), получим схематический ряд последовательности отложения элементов, мигрировавших в виде простых ионов (В.А. Алексеенко, 1974):

Ni^{3+} (0,35) → Cr^{6+} (0,52) → Cr^{3+} (0,64) → Co^{3+} (0,64) →
→W^{6+} (0,65) → Sn^{4+} (0,67) → Fe^{3+} (0,67) → Mo^{4+} (0,68) →
→As^{3+} (0,69) → Ni^{2+}(0,74) → Mg^{2+}(0,74) → Co^{2+} (0,78) →
→Fe^{2+} (0,8) → Cu^{2+} (0,8) → Zn^{2+} (0,83) → Sb^{3+} (0,9) →
→Cu^{+} (0,96) → Cd^{2+} (0,99) →Sn^{2+} (1,02) → Hg^{2+} (1,12) →
→Ag^{+} (1,13) → Bi^{3+} (1,2) → Pb^{2+} (1,26) → J^{-} (2,2).

Однако на миграцию ионов большое влияние оказывает и их энергетический коэффициент. При прочих равных условиях дальность миграции ионов, по А.Е. Ферсману (1958), должна быть обратно пропорциональна значению ЭК.

При рассмотрении ЭК ионов (табл. 5.1) в приведенном ряду можно выявить существенное несоответствие занимаемому положению для Sb^{3+}, Cu^{+}, Bi^{3+}, Pb^{2+}. Так как сурьма имеет большой ЭК (4,0), ее следует переместить влево, поставив между As^{3+} (R=0,69; ЭК=4,3) и Ni^{2+} (R=0,74; ЭК=2,18). Висмут также необходимо поместить между Fe^{2+} (R=0,8; ЭК=2,12) и Cu^{2+} (R=0,8; ЭК=2,10). На новом месте висмут будет расположен между элементами, радиус и ЭК которых на 1/3 меньше, чем у висмута. Если же основной считать роль ЭК, то висмут должен расположиться между сурьмой, занявшей новое место, и никелем. У двухвалентного свинца ЭК равен 1,65, однако повышенная активная поляризация иона $РЬ^{2+}$, по данным А.Е. Ферсмана, отвечает повышению этого коэффициента до 1,85. Это заставляет поставить

свинец между Cd^{2+} (R=0,99; ЭК=2,0) и Sn^{2+} (R=1,02; ЭК=1,8). Одновалентная медь, имеющая ЭК=0,7, должна переместиться вправо, заняв место между ртутью (ЭК=1,7) и серебром (ЭК=0,6). Ряд дальности миграции ионов, исправленный с учетом ЭК, представлен в табл. 5.1.

В выведенном ряду дальности миграции ионов встречается группа элементов, образующих ионы разной валентности: никель (Ni^{3+} и Ni^{2+}), хром (Cr^{6+} и Cr^{3+}), кобальт (Co^{3+} и Co^{2+}), олово (Sn^{*+} и Sn^{2+}), железо (Fe^{3+} и Fe^{2+}), висмут (Bi^{5+} и Bi^{3+}), медь ($Cи^{2+}$ и $Cи^{+}$). Ионы хрома обеих валентностей обладают малыми радиусами и большими ЭК. Это, а также преимущественное распространение его в комплексных ионах позволяет обоим ионам находиться практически вместе и стоять в начале ряда. У ионов олова в природных геохимических процессах преобладает валентность, равная четырем, и только в сравнительно редких минералах — герценбер-, гите (SnS) и тиллите (SnS • PbS) —• его валентность равна двум. Двух- и трехвалентное железо встречается практически одинаково часто; аналогичная картина наблюдается и для ионов меди.

У висмута все основные минералы содержат трехвалентный ион, а пятивалентный висмут может образовывать соединения крайне редко, в присутствии сильных окислителей. Точно так же, только в присутствии сильных окислителей, могут появляться соединения трехвалентного никеля, причем, как правило, Ni^{3+} встречается совместно с Co^{3+}. Такие условия в биосфере чаще возникают под воздействием антропогенных процессов.

При изучении последовательности отложения элементов в процессе их свободной миграции следует учитывать, что многие минералы образуются из ионов нескольких элементов. В этом случае «основной ион» как бы вызывает соосаждение других, дальность миграции которых в данных условиях большая или которые в небольших количествах еще находятся в растворах.

Так, образование сульфосолей меди одновалентной «прекращает» миграцию недиссоциированных молекул мышьяка и сурьмы ($Cu_{12}Sb_4S_{13}$ и др.), а при благоприятных условиях $Cи^{+}$ вызывает осаждение ионов висмута и олова ($CuBiS_2$, $Cu_6Bi_4S_9$; Cu_2FeSnS_4 и др.). Вместе со свинцом могут осаждаться висмут, олово, сурьма ($Pb_5Sb_4S_{1(}$; $Pb_{13}Sb_7S_{23}$; $Pb_2Bi_2S_5$; $Pb_6Bi_2S_9$; $Pb_5Sn_3Sb_2S_{14}$ и др.). Образованию совместных минералов способствует соседство в миграционном ряду меди, висмута, свинца и олова.

Большое число «чужих» ионов может изоморфно войти в кристаллические решетки образующихся минералов (например, се-

Таблица 5.1

Ряды последовательного осаждения ионов при их свободной миграции (В.А. Алексеенко, 1974)

Основной ряд	Ионы	Ni^{3+}	Cr^{6+}	Cr^{3+}	Co^{3+}	W^{6+}	Sn^{4+}	Mo^{4+}	Fe^{3+}	As^{3+}	Sb^{3+}	Bi^{3+}	Ni^{2+}	Mg^{2+}
	Ri	0,35	0,52	0,64	0,64	0,65	0,67	0,68	0,67	0,69	0,9	1,2	0,74	0,74
	ЭК						7,9	8,5	5,1	4,3	4,0	3,9	2,18	2,0
Побочный ряд			Mg	Fe	As, Fe, Ni				(Co)	Fe			Cu, As	Zn

Продолжение

Основной ряд	Ионы	Co^{2+}	Fe^{2+}	Bi^{3+}	Cu^{2+}	Zn^{2+}	Cd^{2+}	Pb^{2+}	Sn^{2+}	Hg^{2+}	Cu^{+}	Ag^{+}		J^{-}
	Ri	0,78	0,8	1,2	0,8	0,83	0,99	1,26	1,02	1,12	0,96	1,13		2,2
	ЭК	2,15	2,12	3,9	2,1	2,2	2,0	1,85 (1,65)	1,8	1,7	0,7	0,6		1,18
Побочный ряд		As	Co					Bi, Ag, Sn, Sb			Bi, As, Sn, Sb		Hg	

ребро в галенит), а часть — в кристаллические решетки уже сформировавшихся минералов. Ими могут быть широко распространенные породообразующие минералы, например доломит, в решетку которого может изоморфно войти Zn вместо Mg.

Особо следует отметить, что ртуть, занимающая в миграционном ряду место между оловом и медью, способна мигрировать в газообразной форме, поэтому она встречается в породах в повышенных содержаниях дальше, чем это показано в вертикальном миграционном ряду (см. табл. 5.1). Место в рассматриваемом ряду мышьяка и сурьмы также часто определяется летучестью соединений этих элементов.

Таким образом, кроме основного миграционного ряда, порядок осаждения ионов в котором закономерно связан с их ионными радиусами и ЭК, существует побочный ряд (В.А. Алексеенко, 1974). Положение элементов в нем обусловлено «соучастием» в составе минералов, изоморфным вхождением в образующиеся и ранее существовавшие минералы, а также летучестью (см. табл. 5.1). Выделенный ряд последовательного осаждения ионов определяет зональность концентрации элементов при их выпадении из растворов (расплавов) под влиянием электростатических свойств мигрирующих ионов.

Выявив зональную концентрацию элементов, отвечающую рассчитанному ряду, можно предположить, что отложение этих элементов происходило из ионных растворов (расплавов), а также установить направление движения миграционного потока и его размеры.

Следует еще раз подчеркнуть, что выведенный ряд миграции химических элементов может быть использован только в случае их свободного перемещения (инфильтрации) в виде ионов. При их свободном просачивании через почвы (а это чрезвычайно развитый в природе процесс) побочный ряд может включать большее число ионов. Их осаждение, отличающееся от основного ряда, объясняется главным образом процессами сорбции. Месторасположение этих ионов в побочном ряду в каждом конкретном случае может быть установлено с учетом сорбционных свойств почвенных коллоидов, преобладающих на данном участке.

Свойства связи соединений. Эти свойства характеризуют способность соединений противостоять усилиям, направленным на их разрушение. Чем ярче они выражены, тем устойчивее минералы и тем позже проявятся собственные миграционные осо-

бенности каждого из элементов, входящих в рассматриваемые соединения.

Связь элементов зависит от целого ряда факторов, к числу которых относятся *особенности внутреннего строения* соединений и *энергия его кристаллической решетки*. Свойства связи определяются податливостью минералов к химическому выветриванию, его механической прочностью. Наибольшей механической прочностью обычно обладают соединения с большой энергией кристаллической решетки, плохо выраженной *спайностью* и повышенной *твердостью*. Учитывая способности минералов противостоять механическому и химическому разрушениям, А.А. Кухаренко приводит относительный ряд дальности миграции минералов во фракции больше 0,1 мм (табл. 5.2).

Таблица 5.2

Относительный ряд дальности миграции минералов

Дальность миграции	Минералы
Малая	Киноварь, арсенопирит, вольфрамит, пирит, шеелит, оливин, авгит, гиперстен, барит, гроссуляр, андрадит, флюорит, роговая обманка, диопсид, колумбит, актинолит, эпидот
Умеренная	Магнетит, апатит, сфен, альмандин, ставролит, анатаз, монацит, дистен, касситерит, андалузит, золото, лимонит
Высокая	Хромшпинелиды, ильменит, гематит, лейкоксен, осьмистый иридий, топаз, рутил, турмалин, платина, циркон, корунд, алмаз

Использование этого ряда при рассмотрении обычного механического перемещения минералов позволяет судить об их относительной удаленности от коренного источника.

Отмечая, что связь элементов в соединении во многом контролируется температурой среды, А.А. Сауков все элементы разделил по *термическим свойствам* на шестырупп: 1 — летучие, легкомигрирующие газы (He, Ar, O и др.) с низкими температурами перехода из одной фазы в другую; 2 — подвижные металлоиды (P, CI, F, S, J), образующие легколетучие соединения с другими элементами; 3 — щелочные и шел очно-земельные металлы с труднолетучими оксидами и соединениями галогенов; 4 — летучие металлы (Hg, In, Tl, Bi); 5 — обычные металлы (Fe, Pb, Co, Ni и др.), нелетучие в условиях земной коры, но иногда образующие довольно легколетучие соединения с металлоидами; 6 — труднолетучие в свободном состоянии, но дающие некоторые летучие соединения (группа Pt, W).

Рассмотренная А.А. Сауковым связь миграционных свойсти химических элементов с температурами может использоваться при изучении не только природных, но и техногенных процессов. Ее следует использовать при прогнозе изменений в окружающей среде еще на стадии планирования промышленных предприятий.

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

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

Радиоактивный распад ядер атомов. Он приводит к образованию новых элементов, отличающихся друг от друга и от исходных элементов миграционными свойствами. В земной коре известно 17 долгоживущих радиоактивных изотопов. Из них наиболее распространен изотоп ^{87}Rb. Его среднее содержание в литосфере — $4{,}16\text{-}10^{-3}\%$ (кларк элемента Rb равняется $1{,}5 \cdot 10^{-2}\%$). За ним, по мере уменьшения среднего содержания, идут изотопы ^{232}Th ($1{,}3 \cdot 1(\Gamma^{3}\%)$, ^{40}K ($3 \cdot 1(\Gamma^{4}\%)$, ^{238}U ($2{,}5 \cdot 1(\Gamma^{4}\%)$. Природные промышленные рудные скопления образуют только ^{238}U и ^{232}Th.

В результате радиоактивного распада, во-первых, образуются новые радиоактивные изотопы, получившие название *промежуточных продуктов*. Так, при распаде ^{23a}U появляются радиоактивные изотопы Th , Ra, Rn, At, Bi и др. Во-вторых, образуются стабильные изотопы. Их называют *конечными продуктами распада*. В рядах природного распада ^{235}U, ^{238}U и ^{232}Th конечными продуктами являются радиоактивные изотопы свинца (^{206}РЬ, ^{207}РЬ, ^{208}РЬ) и гелия (^{4}He). Гелий быстро и на большие расстояния мигрирует в форме газовых смесей, а свинец в природных условиях относят к труднорастворимым металлам с относительно невысокой миграционной способностью.

Процессы радиоактивного распада оказывают влияние на многие химические элементы и их соединения, образующие различные формы нахождения, в том числе и биогенную. Однако в этом случае радиоактивный распад следует рассматривать уже как внешний фактор миграции химических элементов.

5.3.2. Внешние факторы

')ти факторы миграции обуславливаются средой, окружающей МН рирующие элементы. Рассмотрим основные из них.

Радиационные изменения среды. Отмечая огромный эффект, свя- Цнный с ничтожной массой вещества при радиационных изме- ниих, В.И. Вернадский еще в 1910 г. указывал на огромное вли- ие ттого явления на течение многих геологических процессов предсказывал появление новой науки — радиогеологии. Тог- м же он предсказал влияние этого явления на развитие обще- отиа и государственной жизни.

В биосфере радиоактивное излучение приводит к взаимодей- i i иию частиц или фотонов с атомами химических элементов, об- рмующих разнообразные формы нахождения. Течение этого процесса зависит, во-первых, от массы, заряда и энергии про- никающих частиц. Во-вторых, он (процесс) определяется плот- ностью, средним ионизационным потенциалом облучаемого Ве- rn ства и атомным номером составляющих его элементов (П.А. Титаева, 1992).

Тяжелые заряженные частицы (а-частицы — ядра гелия, про- тоны, дейтроны и т.д.), тормозясь в результате взаимодействия с электронными оболочками атомов облучаемого вещества, ио- низируют и возбуждают эти атомы и образуемые ими молекулы.

Электроны ионизирующих излучений (/3-частицы) испытывают рассеяние на электронах и ядрах облучаемого вещества. При этом они теряют свою энергию, ионизируют атомы и вызывают тор- мозное рентгеновское (электромагнитное) излучение.

Фотоны гамма- и рентгеновского излучения поглощаются за счет трех процессов в облучаемом веществе: фотоэлектрического эф- фекта, рассеяния на электронах и образования пар электрон-по- зитрон. Рассматриваемое явление сопровождается ионизацией.

Поток нейтронов взаимодействует с ядрами атомов, вызывая их деление и ядерные реакции.

Ядра отдачи (остатки атомов, образующиеся в результате радиоактивного распада) вызывают ионизацию и возбуждение молекул. При постепенном охлаждении могут вступать в обыч- ные химические реакции.

В связи с развитием атомной промышленности последствия радиоактивного излучения приобретают все большее значение и тре- буют более детального изучения в курсе экологической геохимии. Рассмотрим некоторые конкретные примеры действия радиоак-

тивного излучения. К важнейшим из них относится *радиолиз воды,* представляющий собой ее разложение на Н и О. Вернадский писал: «По-видимому, радиохимические изменения играют очень большую роль в структуре земной коры. Особенно важен процесс, связанный с распадением молекул воды, всюду проникающей в земную кору, всю ее твердую материю...».

Образовавшийся атомарный водород даже при комнатной температуре восстанавливает многие оксиды металлов, непосредственно соединяется с серой, азотом, фтором. Кислород, как известно, является сильным окислителем. Считается, что за счет кислорода, выделившегося при радиолизе, происходит существенное окисление нефти, идет гематитизация (образование Fe_20_3) горных пород. Кроме атомов кислорода и водорода, радиоактивное облучение воды приводит к образованию перекиси водорода (H_20_2), являющейся слабой двухосновной кислотой. Образуются также гидроксильные группы ($OH"$) и гидроксоний (H_30^+).

Таким образом, в результате радиолиза в природных водах возникает резко неравновесная обстановка с сильными окислителями и восстановителями. При этом в подземных водах образуются атомарные CI, Br, J. Растворенный в Них (водах) азот образует нитриты, нитраты, аммиак. В залежах калийных солей накапливается свободный водород.

Наибольший выход продуктов радиолиза происходит при высокой плотности ионизации. Обычно она связана с потоком а-частиц. По данным И.Ф. Вовка, получение значительных количеств продуктов радиолиза в подземных водах может произойти в районах урановых месторождений за сотни и тысячи лет.

Приведенные данные показывают, что радиолиз воды и связанные с ним процессы (в первую очередь изменение окислительно-восстановительных условий) относятся к важным внешним факторам миграции химических элементов.

Радиолиз органических соединений приводит к разрыву связей между углеродом (С—С), углеродом и водородом (С—Н), а также углеродом и функциональными группами. Обязательными продуктами этого процесса являются водород и метан. Сам метан (CH_4) под действием потока «-частиц полимеризуется с образованием сложных углеводородов. В природных залежах газа при облучении образуются $C0_2$ и такие токсичные вещества, как СО, формальдегид, синильная кислота. Из бензола образуется фенол.

Радиолиз органических соединений — процесс, достаточно широко развитый в биосфере. Расчеты И.Ф. Вовка показывают.

. например, в палеозойских отложениях Днепровско-Донец-
, „и ниадины преобразовано 5% органических веществ.

Радиационные процессы в минеральных образованиях связаны
, ионизацией и возбуждением молекул. В кристаллах происхо-
ИН нарушение структуры — образование дислокаций и вакантны ч мест внедрения. На локальных участках, охватывающих всею до 6000 атомов, проникающие частицы вызывают плавление минералов. В сумме под воздействием излучения увеличивается і і орость растворения минералов, возрастает их способность , щеорбции и образованию коллоидов. Все это оказывает непо-
. ргдетвенное влияние на миграцию элементов.

Воздействие ионизирующего излучения на живые организмы свя-
(Ывается с ионизацией и возбуждением атомов. В зависимости от дозы и длительности облучения выделяются острые поражения при однократном облучении дозами, превышающими 0,5 Зв (I зиверт равняется 100 бэр), и хронические. Последние связаны с длительным облучением дозами менее 0,5 Зв.

При острых поражениях возникает лучевая болезнь, приводящая к смертельному исходу, при хронических — также возможна мучевая болезнь и поражение отдельных органов. Особо выделяются отдаленные эффекты, проявляющиеся через продолжительное время после облучения. Поражение определяется суммарной накопленной дозой, независимо от того, за какой срок она получена: за сутки или десятилетия.

Отдельные изменения, происходящие в организме в результате воздействия малых доз облучений, получили название *стохастических* (вероятностных). По НА. Титаевой, среди них можно выделять соматические — злокачественные опухоли и генетические — врожденные уродства и нарушения, передаваемые по наследству. Сейчас считается, что при.длительном облучении людей дозами до 0,05 Зв в год соматические изменения отсутствуют.

К настоящему времени уже накоплен материал об изменениях сообществ организмов в ландшафтах, подверженных ионизирующему облучению. Основной особенностью этих изменений является различная чувствительность к облучению различных видов животных и растительных организмов (Р.М. Алексахин 1982). Так, папоротники, мхи, лишайники, почвенные грибы выдерживают дозы до 10 000 Гр (1 Грей-1 Дж/кг=100 рад), а древесная растительность (особенно хвойные) погибает при дозе 12 Гр.

Среди животных организмов большой устойчивостью к об» 1 лучению обладают насекомые. Мухи-дрозофилы выдерживаю! I дозы до 850 Гр, а важнейшие сельскохозяйственные животные 1 от 3 до 15 Гр, птицы — до 25—30 Гр. (Как бы бездумное исполь»! зование ядерной энергии не сделало Землю планетой насеко-1 мых!)

Различная устойчивость к облучению различных видов животных и растительных организмов приводит к тому, что при ядерных взрывах, крупных авариях на АЭС и т.д. определенные виды угнетаются и исчезают. Оставшиеся же виды могут начать бурно развиваться. Это объясняется, во-первых, уничтожением конкурентов, а во-вторых, тем, что у отдельных видов растений облучение в пределах определенных доз стимулирует ряд биохимических процессов.

Таким образом, радиоактивное облучение способно полностью изменить состав организмов в геохимических ландшафтах, а следовательно, изменить в них ход важнейшего вида миграции элементов — биологического круговорота.

Температура. С повышением температуры в биосфере увеличивается миграционная способность элементов, находящихся в растворах, повышается скорость течения химических реакций и взаимная растворимость элементов при изоморфных замещениях. Однако в отдельных случаях усиление миграции происходит только в определенном температурном интервале. К числу подобных явлений следует отнести в первую очередь биогенную миграцию.

Давление. Этот фактор оказывает значительное влияние на миграцию элементов в расплавах, растворах и газовых смесях. С изменением давления может происходить изменение фазового состояния вещества без изменения температуры; возможно также изменение скорости и даже направлений течения химических реакций. Повышение давления способствует изоморфному вхождению элементов в чужие кристаллические решетки. В принципе роль давления можно сформулировать так: повышение давления системы, находящейся в состоянии равновесия, приведет к смещению равновесия в сторону уменьшения объема. Необходимо помнить, что в пределах верхних частей земной коры (по крайней мере в биосфере) резкого и существенного изменения давления не происходит. Учитывать этот фактор миграции обычно следует при рассмотрении гидротермальных, магматических и метаморфических процессов.

(i i-нень электролитической диссоциации. Миграция элементов и и плавах и растворах во многих случаях обуславливается стещ.к) электролитической диссоциации вещества. Она зависит от и гв растворителя и растворяемого вещества, температуры расiipu и его концентрации. По мнению А.А. Саукова (1966), стеliei IЬЮ ионизации определяется последовательность выпадения Ж ществ в осадок (элементы, находящиеся в ионной форме, быгрее переходят в твердую фазу).

Концентрация водородных ионов. Этот фактор характеризует кислотность (щелочность) среды и во многих случаях контролирует осаждение из растворов химических соединений и коагуляцию коллоидов. Влияние pH на миграцию элементов довольно цетально изучено для зоны гипергенеза.

Изменение щелочности среды влияет и на поступление элементов в растения. С увеличением концентрации водородных ионов (кислая среда) уменьшается катионообменная емкость и попытается анионообменная. Установлено (Bear, 1954), что только от изменения щелочности среды может вдвое измениться содержание в растениях цинка.

Изменение концентрации водородных ионов влияет на подвижность многих металлов. Большинство их, растворяясь в кислых растворах, образуют катионы, но с повышением pH они обычно выпадают в осадок в форме гидроксидов или основных солей. С подобным явлением сталкиваются при миграции растворов от сульфидных рудных тел. В щелочной среде элементы, обладающие амфотерными свойствами, могут снова перейти в растворимое состояние и образовать комплексные анионы. Указать конкретные значения pH, при котором в природных условиях про-

Таблица 5.3

Значения pH осаждения гидроксидов некоторых элементов из разбавленных растворов (0,025–0,0025 М)

Элемент	pH	Элемент	pH	Элемент	pH	Элемент	pH
Fe^{3+}	2	Al^{3+}	4,1	Cd^{2+}	6,7	Pr^{3+}	7,1
Zr^{4+}	2	U^{6+}	4,2	Ni^{2+}	6,7	Hg^{2+}	7,3
Sn^{2+}	2	Cr^{3+}	5,3	Co^{2+}	6,8	Ce^{3+}	7,4
Ce^{4+}	2,7	Cu^{2+}	5,3	Y^{3+}	6,8	La^{3+}	8,4
Hg^{+}	3	Fe^{2+}	5,5	Sm^{3+}	6,8	Ag^{+}	7,5–8
In^{3+}	3,4	Be^{2+}	5,7	Zn^{2+}	7	Mn^{2+}	8,5–8,8
Th^{4+}	3,5	Pb^{2+}	6	Nd^{3+}	7	Mg^{2+}	10,5

исходит растворение или осаждение определенного элемента, невозможно, так как на этот процесс оказывают влияние много* ниеленнме меняющиеся факторы. Приближенные к природным условиям значения pH приведены в табл. 5.3.

Щелочностью среды во многом определяется миграция глинозема и кремнезема: при pH = 5–9 первый практически нерастворим, а второй становится подвижным. С изменением кислой среды на щелочную многие окислительно-восстановительные реакции меняют свое направление:

$$Fe^{3+} + V^{4+} \rightarrow Fe^{2+} + V^{5+};\ 2Fe^{2+} + U^{6+} \rightarrow 2Fe^{3+} + U^{4+}.$$

Окислительно-восстановительный потенциал. Все окислительно-восстановительные реакции характеризуются разностью потенциалов в цепи «окислитель—восстановитель». При решении вопросов, связанных с водной миграцией элементов, большое значение имеет знание окислительно-восстановительных условий этого процесса. Для их характеристики используется ряд параметров (соотношение различных форм серы, оксидов (II) и (III), количество остаточного органического вещества, комплекс минералов железа, электрометрические измерения).

По мнению М.Ф. Стащука (1968), изучавшего этот вопрос, наиболее полные данные об окислительно-восстановительных условиях осадкообразования можно получить при детальных минералого-петрографических исследованиях осадочных пород.

Поверхностные силы природных коллоидных систем. Эти силы имеют большое значение при миграции элементов в водной среде. Ими объясняется высокая сорбционная способность коллоидных систем. А одной из важнейших особенностей процесса сорбции является селективность: определенными коллоидами поглощаются преимущественно определенные ионы и молекулы. Более детально процессы сорбции рассмотрены в гл. 3.

Окислительно-восстановительная обстановка. Миграция многих элементов зависит от окислительно-восстановительной обстановки, определяемой режимом серы и кислорода. *Окислительная* (кислородная) обстановка способствует накоплению катионогенных элементов переменной валентности (Fe, Mn, Co) и увеличению растворимости анионогенных (V, Mo, Se, S, U, Re). В бескислородной *глеввой* обстановке ускоряется разложение минеральной части почв: алюмо- и ферросиликатов; увеличивается миграционная способность катионогенных и уменьшается — анионогенных элементов. В восстановительной *сероводородной* об-

(Кнопке H_2S вступает в реакцию с металлами, обычно вызывая
1ждение из растворов.

[1] >• обо следует отметить, что часто происходит смена обста-
i no вертикальному профилю почв. В целом изменение ре-
•мма кислорода-серы приводит к образованию геохимических ба-
он (кислородного, глеевого, сероводородного).

Жизнедеятельность организмов. Миграция элементов в зоне ги-
... нгемеза тесно связана с жизнедеятельностью организмов, в ре-
негате которой освобождаются из соединений кислород, азот,
т. же ид углерода, влияющие на миграцию многих элементов, вклю-
• металлы. Органические кислоты, выделяемые корнями рас-
1. пий, разрушают кристаллические решетки многих минералов (даже глин), способствуя переходу элементов из минеральной формы и растворы. Кроме того, различные растения выборочно аккумулируют элементы, которые затем при опаде накапливаются и гумусовом горизонте. В результате биогеохимических процессов может происходить разделение изотопов, накопление и рассеяние многих элементов.

Особое влияние на миграцию элементов оказывают микроорганизмы с разным воздействием на различные соединения. Так, (тктерии рода Ferrobacillus способны переводить ионы Fe (II) в ионы Fe (III), а выпадающие из раствора гидроксиды Fe **(III)** уменьшают в нем (за счет процессов сорбции) содержание As, Sb, V и других элементов. Бактерии рода Thiobacillus окисляют сульфиды многих металлов.

Как видно из табл. 3.10, в случае бактериального воздействия при окислении сульфидных руд количество металлов, переходящих в раствор, может возрасти в несколько тысяч раз.

Исследования П.Трудингера (P.Trudinger, 1971) показали, что бактериальное окисление сульфидов ряда цветных металлов часто зависит от содержания в руде пирита. Например, в присутствии пирита высвобождение цинка из сфалерита (ZnS) и молибдена из молибденита (MoS_2) увеличивается почти в 10 раз.

Природа процесса бактериального разложения соединений пока еще слабо изучена, но установлено, что его скорость зависит от температуры, быстроты перемещения и размеров минеральных частиц, а также от щелочно-кислотных и кислородных условий среды.

Комплекс типоморфных элементов или ионов в почвах и водах. **К** типоморфным, по А.И. Перельману (1975), относятся «распространенные элементы, наиболее интенсивно мигрирующие и на-

капливающиеся в ландшафте». Набор определенных типоморфных элементов определяет многие условия миграции и оказывает непосредственное влияние на концентрацию ряда металлов,

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

5.4. Некоторые особенности миграции элементов в биосфере

5.4.1. Особенности, связанные с биохимическими процессами

Формирование специфической обстановки. Основной особенностью миграции химических элементов в биосфере можно считать наличие ее биогенной формы. Она определяет биологический круговорот элементов, процессы фотосинтеза и обуславливаемое ими накопление свободного кислорода в атмосфере (включая почвенную) и гидросфере (с ее значительной подземной частью). В результате создается окислительная кислородная обстановка. Разложение организмов (вторая составная часть БИК), наоборот, приводит к поглощению свободного кислорода и формированию в пределах биосферы восстановительных обстановок (глеевой и сероводородной).

Указанные процессы и постоянная смена отмерших организмов новыми растущими влияют на ход миграции химических элементов в биосфере. В результате, в соответствии с законом В.И. Вернадского (см. 3.8.6), любое перемещение химических элементов происходит либо при непосредственном участии живого вещества, либо в среде, геохимические особенности которой обусловлены этим живым веществом.

Ходом биологического круговорота химических элементов в земной коре обуславливается своеобразная вертикальная зональность окислительно-восстановительных обстановок. Ее следует относить к числу важнейших геохимических характеристик биосфе-

(IM. Окислительная обстановки и почвах ландшафтов суши чисто с глубиной сменяется i пссвой и, как правило, резм| носстановительной в подомных водах (рис. 5.4).

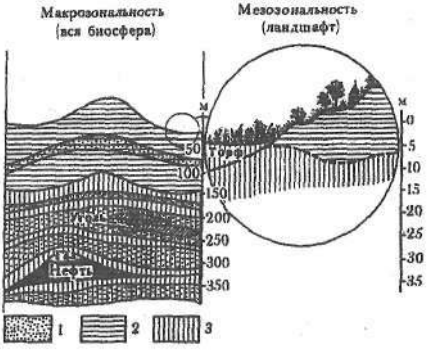


Рис. 5.4. Окислительно-восстановительная зональность в ландшафте в целом:
1 — минералы глин; 2 — минералы песков и обломки пород; 3 — прочие компоненты

В аквальных ландшафтах (прудах, заливах, озерах, водохранилищах) водные растения, выделяя в результате фотосинтеза 0_2, насыщают верхние горизонты воды свободным (растворенным) кислородом и формируют в них окислительную обстановку. В нижних частях этих ландшафтов разлагающееся на дне органическое вещество потребляет кислород, часто создавая в илах восстановительную глеевую или сероводородную обстановку.

Тенденция, установленная для отдельных ландшафтов, в принципе характерна и для биосферы в целом. В ее верхних частях, где за счет фотосинтеза накопился кислород, преобладает окислительная кислородная обстановка. В нижних же частях, где происходит захоронение органического вещества и развиваются анаэробные процессы, создается резко восстановительная среда с сульфидами, H_2S, CH_4 и т.д. (см. рис. 5.4).

Анализируя описанную зональность, А.И. Перельман вывел следующее правило:

геохимическая работа живого вещества создала преобладание резко окислительной обстановки на земной поверхности, сменяющейся с глубиной на восстановительную.

Изучением различных особенностей биологического круговорота элементов занимались многие ученые. В их числе В.И. Вернадский, В.В. Докучаев, Б.Б. Полынов, В.Р. Вильяме. Используя данные их исследований, Перельман сформулировал закон биологического круговорота, который по праву следует назвать его именем:

в ходе биологического круговорота атомы поглощаются живым веществом и заряжаются энергией. Покидая живое существо, они отдают накопленную энергию окружающей среде.

Накопление органических веществ. За счет фотосинтеза (см. разд. 3.8) в подавляющей части ландшафтов суши, а также в аквальных ландшафтах идет образование основной массы живого вещества, его разложение и минерализация. При этом часть органических веществ сохраняется и захоронятся.

На участках, где фотосинтез отсутствует (глубоководные илы, подземные воды), образование живого вещества может продолжаться. В этих условиях оно создается за счет либо отмершего органического вещества, либо других организмов. На таких участках, как правило, минерализация преобладает над образованием живого вещества. Однако и в этих условиях не все органическое вещество разлагается, часть его сохраняется и захоронятся.

Захоронающееся органическое вещество, в соответствии с законом биологического круговорота, можно рассматривать как геохимический аккумулятор солнечной энергии. Выше уже указывалось, что общее количество органического вещества, накапливающегося в осадочных отложениях, составляет около $3{,}8 \cdot 10^{15}$ т (Л.Г. Уиксон, 1958; Э. Дегенс, 1965). Для наглядности Дегенс приводит такие данные: если осадочный слой равномерно распределить по поверхности Земли, то его мощность составит 1000 м. При этом 20 м указанного слоя будет представлено органическим веществом; из них около 5 см — углем, чуть больше 1 мм — нефтью. Основная часть органического вещества тонко рассеяна в глинах, известняках и песчаниках.

Значительная часть органических веществ, содержащихся в осадочных горных породах, первично накапливалась в почвах — в основном в виде гумуса. На его долю приходится 85—90% общего запаса органических веществ почв. В состав гумуса входят гуминовые кислоты, фульвовые кислоты и гуматы. При этом 10—15% органических веществ почв составляют белки, аминокислоты, углеводы, органические кислоты, жиры, смолы, лигнин, пигменты (В.Е. Артемьев, 1993). От количества органических веществ во многом зависит плодородие почв. Кроме того, с ними образуют довольно устойчивые соединения и совместно мигрируют тяжелые металлы.

По данным радиоуглеродного датирования среднее время пребывания гуминовых кислот в почвах колеблется от сотен до тысяч лет. Больше всего гумуса содержится в черноземах. В их метровом слое на 1 га его содержание доходит до 700 т. В моря органические вещества из почв выносятся в основном реками, где их растворенная часть составляет 60—90% общего количества.

Пи пути миграции часть растворенного гумуса служит питанием ! 11 водных организмов (A. Spitzy, V. Jtterkot, 1991). Массовое осаж-
иие растворенного и взвешенного органического вещества начинается на геохимических барьерах в зоне смешивания пресных К у| континента с морскими. На этих же барьерах отмечается кон-
..... рация Си, Zn, Ni, Cr, Pb. Данный фактор послужил основой для предположения о преимущественной миграции с кон-
і и центов металлов в виде комплексных соединений с органиче-
• і им веществом. В целом же значительная часть органических Веществ, сносимых реками с континентов, становится основой будущей нефти.

Заканчивая краткое рассмотрение особенностей биогенной ми-
і рлции химических элементов, можно отдельно выделить перевод химических элементов из «косной материи» в живой организм и, наоборот, из биогенной формы нахождения в разнообразные косные (см. гл. 3). Все это первый тип миграции. Изучение данного явления — одна из основных задач в биогеохимии И жологической геохимии. Значительное внимание ему уделяется и во многих других науках: общей геохимии, агрохимии, почноведении и т.д. В геохимии и экологической геохимии закономерности накопления элементов организмами рассматриваются как особенности биогенных (биогеохимических) барьеров (см. гл. 6).

Часто самостоятельно изучается перемещение элементов н живых организмах и их (элементов) концентрация в определенных частях этих организмов. Поставленные вопросы решаются с позиций разных наук: геохимии, биохимии, медицины, ветеринарии и т.д. Проблемой перемещения химических элементов имеете с составляющим их животным организмом занимаются различные науки и в первую очередь геохимия и экологическая геохимия.

5.4.2. Особенности механической миграции

Рассмотренные выше особенности миграции химических элементов касались в значительной мере только свободного перемещения истинных растворов. Это связано с тем, что миграция в такой форме оказывает важнейшее влияние на поглощение химических элементов животными и растительными организмами. Однако и в геохимическом цикле миграции веществ в целом, и в перемещении атомов в пределах биосферы инфильтрационное перемещение по массе элементов не является основным.

Перенос с поверхностными водами. Рассматриваемый миграционный процесс связан в основном с постоянными водотоками или, в конечном счете, с реками. Сравнительная характеристика форм переноса различных веществ в реках приведена на 1
рис. 5.5. Как видно, в поверхностных водных потоках преобладает второй тип миграции — перемещение (волочение по дну) обломков минералов и взвеси без изменения форм нахождения. Особо велика роль миграции в виде взвеси (мельчайших обломков и уже осевших коллоидов). Отметим, что в поверхностных водных потоках в виде механической взвеси переносится, по данным большинства исследователей, основная часть тяжелых металлов. Их осаждение происходит на механических барьерах и контролируется, как правило, геоморфологическими особенностями пути миграции. Перемещение в поверхностных водах коллоидов в основном (по массе осаждающихся элементов) контролируется щелочностью вод.

Особенности миграции в реке тяжелых металлов, находящихся в высоких концентрациях, можно рассмотреть на конкретном примере (В.А. Алексеенко, В.В. Данчев В.В. Флеров В.Е., 1973). Река Каратал, впадающая с юга в озеро Балхаш, в верхнем течении пересекает свинцово-цинковые месторождения и рудопроявления Джунгарского Алатау. Там же на ее берегах расположены рудник Текели и обогатительная фабрика. Все это обусловило резкое обогащение вод в верховьях реки Pb, Zn, Fe. Количество растворенного свинца в этом районе превысило его среднее содержание в Океане в 10 000 раз; pH вод при этом колебался от 6,4 до 7. (Такие высокие концентрации свинца по данным N. Jkeda отмечались только в водах горячих минеральных источников Японии.) Однако ниже по течению на расстоянии 7 км от зоны обогащения содержание растворенного РЬ уменьшилось в 1000 раз без увеличения расхода воды и при тех же значениях pH. Еще ниже по течению концентрация РЬ ни разу не превысила величины $5 \cdot 10^{-4}$ мг/л. Таким образом, даже при чрезвычайно высоких концентрациях металла в растворе уже на первых километрах он выпадает в осадок, что вполне согласуется с выводами Н.М. Страхова.

Относительно крупные обломки минералов Pb, Zn и Fe в зоне обогащения составляют 46% веса шлиховой пробы из речки. Обычно такие их концентрации встречаются в пределах рудных тел. На последующую миграцию этих обломков большое влияние оказали процессы растворения и истирания. Минералы Zn исчезают сразу же за зоной поступления (обогащения) обломков

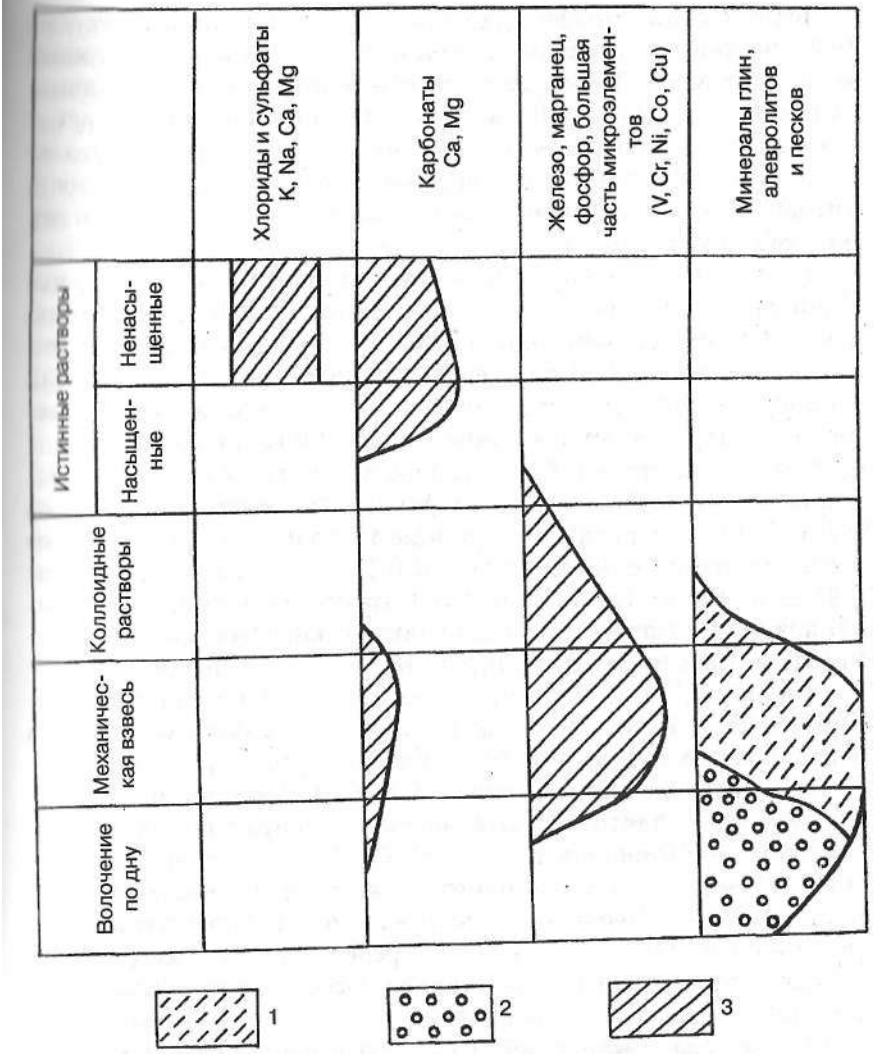


Рис. 5.5. Формы переноса основных компонентов осадков (по Н.М. Страхову):
1 — минералы глин; 2— минералы глин и обломки пород; 3 — прочие компоненты

в речку. Минералы Fe (пирит, лимонит и др.) уже на расстоянии 150 км от зоны поступления лишь изредка встречаются в шлиховых пробах — в виде единичных зерен. Обломки минералов Pb (галенит, церуссит, англезит) исчезают в шлихах примерно на расстоянии 200 км от зоны поступления.

Вертикальный профиль реки неоднороден. В пределах первых 30 км от зоны обогащения в горном районе Тянь-Шаня перепад высот составляет 1030 м; далее, в равнинной части Прибалхашья, на расстоянии более 300 км он составляет всего 460 м. Значи» тельная часть обломков рассматриваемых минералов оседает сразу после изменения уклона реки. Таким образом, дальность миграции обломков во многом зависит не только от их состава, но и рельефа местности.

Изучение тонкой фракции донных осадков показало, что наиболее обогащены РЬ и Zn фракции от 0,5 до 0,25 мм и мень* ше — 0,07 мм. Образование первой из них связано в основном с измельчением обломков рудных минералов. В образовании второй, вероятно, существенную роль сыграло осаждение металлов из раствора. Средняя концентрация РЬ во фракции меньше 0,07 мм колеблется от 0,7 в зоне поступления до $7 \cdot 10^{-3}$% у впадения реки в озеро, для Zn эти величины соответственно равны 1,75 и $5 \cdot 10^{-2}$%. Среднее содержание РЬ во фракции 0,25—0,5 мм также соответственно меняется от 0,14 до $1,3 \cdot 10^{-2}$%, а Zn — от 0,95 до $4 \cdot 10^{-2}$%. Так же, как и для грубообломочного материала, для тонких фракций чрезвычайно важны геоморфологические особенности пути их миграции.

Таким образом, даже при чрезвычайно сильном обогащении вод РЬ и Zn вынос металлов в бассейн связан в основном с переносом мелкообломочного материала и тонкой взвеси.

Н.М. Страхов считает, что V, Cr, Ni, Co, Be, Ga и Zn в поверхностных водотоках практически не образуют растворов. У таких элементов, как Fe, Mn, P, Pb, Ba, Cu, Sr, роль растворов в переносе реками увеличивается с уменьшением расчлененности рельефа. Кроме того, соотношение в водном потоке растворенной и взвешенной частей определяется для каждого элемента составом горных пород и почв бассейна водосбора, а также климатическими условиями.

Аэрозольный перенос. Как уже указывалось, аэрозольный перенос относится к числу важнейших биосферных процессов миграции. По предварительным подсчетам В.В. Добровольского (1983), в воздухе (без техногенной составляющей) находятся тысячи тонн таких металлов, как Zn, Cu, Mn, Cr, Pb, V, Ni, а также особо токсичного As; сотни тонн — Se, Hg, Sb. Практически все они связаны с аэрозолями. Как уже указывалось, основной источник природных аэрозолей — континенты, а точнее — почвы.

[1] >'иовная часть аэрозолей находится на высоте до 2 км над ....i рхиостью Земли. Считается, что пыль в среднем держится в ат-....|ic.ре 4—7 суток, а вообще продолжительность нахождения большинства аэрозолей колеблется по данным ряда исследователей i до 40 суток (Абрамовский и др., 1876; Fransis, 1970).

11сбольшое количество аэрозолей, поднявшихся на высоты бо-ЙРР 7 км, попадает в струйные воздушные потоки, которые пе-I»-тк-ят частицы на расстояния свыше 5тыс. км. Коллоиды, поч шише в стратосферу, могут не осаждаться на поверхности Земли до 14 лет. Однако количество таких аэрозолей сравнительно Шло. По данным А.И. Лисицина (1978), их осаждающаяся мас-СЙ и северном полушарии оценивается величиной от 2—32 мг/см^2 *т* 100 лет.

В соответствии с правилом Перельмана накопление в био-I фере коллоидов пропорционально интенсивности и длительно-• ги протекания в геохимических ландшафтах биологического i руговорота химических элементов. В результате в ландшафтах цнлых стадий влажных тропиков почти 100% почв и кор выветривания состоят из коллоидов и метаколлоидных минералов. Однако из ландшафтов влажных тропиков вынос коллоидов в атмосферу минимален. В пустынях же, где вынос аэрозолей мог бы быть очень большим, коллоидов меньше. Таким образом, их природное поступление с разных частей континентов не является слишком контрастным. Хотя следует отметить, что в результате пыльных бурь из пустынь выносится довольно большое количество эолового материала. Н.М. Страхов (1963) приводит в качестве примера Канарские острова, на которых в 1863 г. выпало 3 944 000 м^3 пыли, перенесенной из пустыни Сахары. Значительную часть этой пыли составляли коллоиды. Но соизмеримые количества аэрозолей выносились в 70-х годах нашего века далеко не из пустынных регионов (Краснодарский и Ставропольский края, Ростовская область).

И все же, несмотря на общую относительную равномерность глобального природного процесса переноса коллоидных частиц в атмосфере над континентами, выделяются участки преимущественного отложения эолового материала, представленного пылевидными глинистыми частицами. Именно эти частицы и составляют основу аэрозолей природного генезиса. Протяженность участков отложения таких аэрозолей может достигать сотен километров при мощности эоловых толщ десятки метров. Это позволяет говорить о том, что в отдельных районах роль эоло-

вого переноса веществ (соответственно и отложения) станов и і ся ведущей в природном процессе миграции элементов.

5.4.3. Диффузия

Диффузионная миграция — это перемещение частиц (колло« идов, молекул, атомов и ионов) в земной коре и биосфере в направлении убывания их концентрации. Особый интерес при развитии антропогенных процессов представляет диффузии в твердых телах. Во многом это связано с созданием поверхностных и особенно подземных накопителей различных загрязняющих и в первую очередь жидких веществ.

В твердых телах обычно выделяют три вида диффузии: 1) поверхностную, 2) вдоль внутренних граней и 3) сквозь кристаллические решетки. Первый вид обычно сопровождает инфильтрацию, которая протекает более быстро и превосходит диффузию по массе мигрирующих веществ. Сама диффузия в этом случае во многом зависит от сорбции минералами веществ из мигрирующего потока, от «рельефа кристаллов». Ее значение в природной и техногенной миграциях относительно невелико. Диффузия вдоль внутренних граней, по мнению Н.И. Сафронова (1963), связана с «волосно-пленочными» водами и происходит при высоких давлениях. В природных условиях биосферы она встречается не так уж часто, но с увеличением роли техногенеза значение данного вида миграции может возрасти. При этом скорость и дальность перемещения будут больше у элементов с малыми размерами радиусов. Диффузия сквозь кристаллические решетки возможна в том случае, если решетки имеют дефекты, а также при наличии элементов с малыми радиусами.

В целом роль диффузии в миграции элементов возрастает при высоких температурах и давлениях. В природных условиях литосферы большое влияние на рассматриваемый процесс оказывают структурно-тектонические особенности (кливаж, рассланцевание, слоистость и т.п.) горных пород, в которых происходит миграция. Так, по сланцеватости скорость диффузии на порядок выше, чем вкрест ее. Однако если диффундирующий раствор взаимодействует со средой, происходит (независимо от повышения температуры) уменьшение скорости диффузии. Вообще же она мала и экспериментальные данные (СВ. Григорян, Е.М. Янишевский, 1968) позволяют считать, что, например, для диффузион-

>" HI>оникновения свинца из горячих вод в породы на расстои десятки метров потребуются десятки тысячелетий.

5.4.4. Электрохимические процессы при миграции элементов

Электрохимические процессы получили довольно широкое разШ i не в природе, в частности в биосфере. Они происходят в илах, ушшжиенных почвах, горных породах. Их роль резко возросла в райl.l\ захоронения бытовых и промышленных отходов, где без привычения понятий об электрохимических процессах невозможно объяснить особенности миграции и перехода в растворы многих металлов.

К. настоящему времени природные электрохимические явлении наиболее изучены для участков, содержащих сульфиды. Пи примере таких участков и рассмотрим суть электрохимических процессов. Один из сульфидов (ряд исследователей счита« i, что электрохимическое растворение характерно и для минеї'.I нов, не обладающих электропроводимостью в водной среде) становится катодом, а другой — анодом. За счет разницы потенциалов в системе сульфид I — сульфид II (обязательно в присутствии подземных вод) происходит перенос электронов с анода на катод:

На аноде: $MeS - 2e \rightarrow Me^{2+} + S^0$;
На катоде: $MeS + 2e \rightarrow Me^0 + S^{2-}$.

При этом в кислых водах (при pH < 5) анионы серы, соединяясь с водородом, образуют сероводород, который при наличии в воде растворенного кислорода становится источником серной кислоты. В восстановительной обстановке (при pH >10) образуется анион (HS^-), который также может стать источником серной кислоты. Ионы и нейтральные атомы металлов, появившиеся в результате электрохимических реакций, могут поступать в раствор или оставаться на катоде. Обычно идет интенсивное растворение анода, а катод восстанавливается до металлического состояния.

По данным Г.Б. Свешникова (1958, 1967, 1982), С.Л. Шварцева (1963), Л.К. Яхонтовой и А.П. Грудева (1978), процессы электрохимического растворения могут оказывать существенное влияние на содержание микрокомпонентов в водах, протекающих через сульфидсодержащие горные породы, илы.

5.4.5. Ведущие элементы. Второе правило А.И. Перельмана

В числе внешних факторов миграции химических элементоп рассматривался комплекс типоморфных элементов, соединений и ионов в почвах и водах. Эти элементы (их называют также «ведущими») определяют условия миграции и концентрации подан ляющего большинства других элементов в различных геохимических системах самых разных уровней. Так, геохимическое разнообразие биосферы в целом определяется кислородом, углекислым газом и серой. В океане типоморфными являются О, растворенный в воде, Na^+, СГ; в таежных болотах — Fe^{2+}, H^+, $Мп^{2+}$; в зонах засоления, связанных с орошением земель, — Ca^{2+}, Na^+, СГ, $S0_4^{2}$~ и т.д.

Требования, предъявляемые к ведущим элементам, определяющим геохимическое своеобразие отдельных природных и техногенных геохимических систем, определяются вторым правилом А.И. Перельмана:

> геохимическая особенность системы определяется ведущими элементами, имеющими высокие кларки, активно мигрирующими и накапливающимися в этой системе.

5.5. Об особенностях эволюции процессов миграции химических элементов

На протяжении истории Земли шла постепенная эволюция процессов миграции химических элементов. Во многом она связана с изменением роли отдельных внешних факторов. Так, в первую очередь следует отметить изменение роли радиоактивного распада, являющегося одним из важнейших энергетических факторов миграции химических элементов. Общее количество теплоты, выделяемое при радиоактивном распаде, постепенно уменьшается — в основном за счет распада части ^{235}U и ^{40}K. Ряд радиоактивных изотопов к настоящему времени относится к «вымершим». За 4,6 млрд лет количество ^{235}U уменьшилось в 30 раз, а ^{40}K — в 12. Предполагается, что на Земле существовали ряды радиоактивного распада, родоначальниками которых были нептуний (Np) и эйнштейний (Es).

Рядом исследователей были сделаны теоретические предпо-
п 11 и возможности существования природных ядерных реакций,
при которых могло выделяться громадное количество тепла.
И ног в 1972 г. на урановом месторождении Окло (Экваториаль-
м и я Африка) по аномальным соотношениям изотопов ^{235}U и ^{238}U
И продуктам ядерной реакции (изотопам Xe, Nd, Sm, Ru) было
установлено, что около 2 млрд лет назад в урановых рудах нача-
лись природная ядерная реакция. Это явление можно рассмат-
ривать как работу природного ядерного реактора. Она продол-
жилась около 500 тыс. лет и предположительно протекала без взры-
вов. Сам феномен «природного реактора» еще полностью не
объяснен. По данным Ю.А. Шуколюкова, он выделил столько же
к-ила, сколько получается его за год на современной мощной АЭС.
I колько было подобных «природных реакторов» в истории Земни, пока остается загадкой.

Большое влияние на миграцию химических элементов ока-
чали появившиеся на Земле живые организмы и процессы фо-
тосинтеза. Они привели к образованию в верхних оболочках та-
кого сильного окислителя, как свободный кислород, и к изме-
нению в атмосфере содержания $C0_2$. В последнее столетие в чис-
ло важнейших факторов перемещения химических элементов
на поверхность Земли вошла антропогенная деятельность.

Рассмотрим кратко, как под действием изменяющихся фак-
торов шла эволюция процессов миграции химических элементов
и какое влияние это могло оказать на развитие организмов.

К одному из первых процессов перемещения элементов
в Земле относится их вертикальная дифференциация в зависи-
мости от массы. По мнению многих исследователей, именно
она привела к формированию ядра и оболочек, обволакиваю-
щих друг друга. Их плотность увеличивается с глубиной. В ре-
зультате такой дифференциации в магматических породах зем-
ной коры возникли: 1) резкое преобладание легких химичес-
ких элементов; 2) большой абсолютный разброс содержаний
Th, Ba, U, Pb, Cr, Ni, Sr; 3) малый разброс содержаний S, Se,
J, Bi, Hg, As, Ge; 4) повышенные концентрации радиоактив-
ных элементов, а следовательно, повышенная температура на
поверхности Земли.

Полагая вслед за В.И. Вернадским, что жизнь появилась
практически одновременно с формированием планеты, можно
считать следующее: *первые живые организмы развивались и приспо-
сабливались к условиям с преобладанием легких элементов*. Повы-

токсичны. *Особое влияние на последующее развитие жизни оказали те элементы, разброс содержаний которых был мал в магматических образованиях.* Рассматриваемые условия на поверхности Земли соответствуют в целом ее развитию в катархее (4,3-3,5 млрд лет назад).

Становление Океана (существенное уменьшение кислотности вод), образование вместо резко восстановительной слабокислородной атмосферы и довольно быстрое развитие живых организмов привели к развитию таких факторов миграции, как водная растворимость, атмосферный и водный перенос. Резко возросла роль биогенных факторов. В сумме все это привело к возникновению кор выветривания, донных осадков, первых почв. При этом в пределах поверхности Земли возросли абсолютный и относительный разбросы химических элементов (см. гл. 4), особенно таких, как Cl, B, Mo, Br, J. Это могло стать одной из причин эволюции организмов и, возможно, в первую очередь — водных. С образованием карбонатных и глинистых пород на поверхности Земли увеличился разброс содержаний в континентальной части биосферы O, C, H, S, Se, J, N, Hg. Эти изменения геохимической обстановки и перечисленные химические элементы могли играть важную роль в эволюции организмов в архее (3,5—2,5 млрд лет назад).

Считается, что в протерозое (2,5—1,7 млрд лет назад) начался один из важнейших для биосферы процессов миграции — фотосинтез, приведший, по мнению ряда исследователей, в рифее (1,7—0,7 млрд лет назад) к созданию кислородной атмосферы. Вероятно, во многом под воздействием меняющейся геохимической обстановки в рифее появились животные.

На протяжении истории Земли вполне вероятными были ее столкновения с крупными космическими телами. Их результатом должно было стать резкое, скачкообразное увеличение роли второго типа миграции (атмосферный перенос химических элементов в минеральной и коллоидной формах). При этом вся атмосфера могла представлять собой единое пылевое облако. Оно существенно уменьшало проникновение на земную поверхность солнечных лучей. Это, в свою очередь, должно было привести к понижению температуры, вплоть до наступления оледенения. В таких условиях происходит уменьшение скорости течения химических реакций и, что особенно важно для биосферы, интенсивности процесса фотосинтеза (первый тип миграции).

Указанные изменения приоритетов в типах и видах миграции «нших элементов могли приводить к относительно медленному (миллионы лет) вымиранию и мутациям флоры и фауны. Они должны были практически одновременно захватить всю гжосферу, но степень их проявления в разных частях поверхно- - i и 5емли могла быть различной.

Если состав метеоритов резко отличался от состава земной корм, особенно если в нем преобладали химические элементы с малым абсолютным разбросом в коре, то скорость вымирания И мутация определенных видов должны были возрастать, как от получения ядов в больших количествах.

Все перечисленное дает основание считаться с гипотезой II Альвареса и других исследователей о «великом меловом вымирании» (в том числе динозавров) в результате столкновения 1смли с гигантским метеоритом, содержание иридия в котором и тысячи раз превосходит содержание его в литосфере. Об этом свидетельствует увеличение обогащения иридием в десятки и сотни раз осадков, формировавшихся в это время. К сожалению, нет и а иных для расчета средних (кларковых) содержаний иридия и различных типах горных пород.

По данным Перельмана, иридиевые аномалии образовались им границе венда и кембрия (570 млн лет назад), перми и триаса (248 млн лет назад), в туроне (90 млн лет назад), эоцене (40 млн лет назад). Если учесть, что в каменных метеоритах иридия содержится в несколько тысяч раз больше, чем в литосфере, то становится возможным связать эти аномалии с крупными космическими катастрофами. Последствиями таких катастроф могли быть изменения в развитии животных и растительных организмов, аналогичные изменениям, отмечаемым в пределах аномалий, отвечающих рудным районам, месторождениям и отдельным рудным телам. Это, в зависимости от размеров катастрофы, а следовательно, и размеров геохимических аномалий, могли быть исчезновения отдельных видов организмов (иногда только локальные), их мутации, появление организмов-концентраторов и деконцентраторов определенных химических элементов.

XX век нашей эры и особенно его последние десятилетия ознаменовались резко возросшей техногенной (социальной) миграцией химических элементов. Она стала соизмеримой с другими видами миграции, происходящими в биосфере. К ее последствиям следует отнести также образование локальных геохими-

ческих аномалий с концентрациями определенных химических элементов, в тысячу раз превышающими их кларковое содержание, и региональных геохимических аномалий, захватывающих сотни тысяч квадратных километров (например, сельскохозяйственные угодья). В региональных аномалиях (а их можно рассматривать и как региональное антропогенное увеличение фоновых содержаний в техногенных и отчасти в природных геохимических ландшафтах) содержание химических элементов гораздо ниже и пока лишь не более чем вдвое превосходит фон, Последствия антропогенной миграции химических элементов с учетом изложенного приближаются к последствиям космических катастроф.

Таким образом, можно считать, что эволюция процессов миграции на протяжении истории Земли в итоге оказала и продолжает оказывать весьма существенное влияние на эволюцию организмов.

ГЛАШКА. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ БАРЬЕРЫ И КОНЦЕНТРАЦИЯ ХИМИЧЕСКИХ

wJI*Ш*^IV! *Ш*ъfa r1t^U

6.1'. Общие сведения

Термин «геохимические барьеры» был предложен А.И. Пе-|»і п.маном в 1961 г. (см. гл. 2). В пределах большинства барьеров и сходит довольно резкое изменение типа миграции химических элементов, а затем связанные с ним изменения интенсивно- • in миграции и осаждение (концентрация) определенных хими- •п" :сих элементов или их соединений.

Геохимические барьеры биосферы разделяются на два основ-Ных типа — *природные* и *техногенные*. И те, и другие располагают-' Я на участках изменения факторов миграции. В первом случае сме; На факторов, а соответственно и смена одной геохимической об-і шиовки другой обуславливаются природными особенностями Конкретного участка биосферы. Во втором -- такая смена геохимических обстановок происходит в результате антропогенной децтельности.

Оба типа геохимических барьеров подразделяются Перельма-КОМ на три основных класса: *физико-химические, биогеохимические* и *механические*. Первый из них связан с изменением физико-химической обстановки. К настоящему времени детальная классификация разработана только для этого класса барьеров, а точнее, дня случая осаждения химических элементов, мигрирующих в ионной форме в водах с различными окислительно-восстановительными и щелочно-кислотными условиями. Вариант этой классификации приведен в табл. 2.7.

Механические барьеры представляют собой участки резкого уменьшения интенсивности механической миграции. Они в основном связаны со вторым типом миграции химических элементов, а в пределах биосферы — чаще всего с миграцией элементов в минеральной или коллоидной форме. Перемещение коллоидов и минералов может происходить в воздушной и водной средах, а также на границе сред (скатывание обломков по склонам).

Биогеохимические барьеры, в отличие от многих других, связаны в основном с первым типом миграции химических элемен-

тов. По своей сути они представляют собой накопление химических элементов растительными и животными организмами. Эти геохимические барьеры относятся к числу наиболее распространенных в биосфере. Концентрация химических элементов на биогеохимических барьерах непосредственно является частью биологического круговорота этих элементов.

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

Геохимические барьеры могут существенно отличаться друг от друга не только концентрациями определенных элементов и их общим количеством на барьере, но и величиной самих барьеров. По этому критерию А.И. Перельман выделил *макро-, мезо- и микробарьеры*. К первым из них он отнес геохимические барьеры шириной до первых километров и длиной тысячи километров. Примером таких барьеров являются современные и древние зоны смешивания пресных речных вод с солеными морскими.

Протяженность мезобарьеров доходит до десятков километров при ширине до сотен метров. Их примером являются краевые зоны болот, где отлагаются многие элементы, сносимые с водоразделов.

Размеры микробарьеров колеблются от нескольких миллиметров до первых метров. Своеобразные микробарьеры возникают на отдельно разлагающихся на дне водоема раковинах или рыбах, Их также можно наблюдать в родниках, на месте выхода на дневную поверхность глеевых вод, из которых в присутствии свободного кислорода воздуха отлагается окислившееся трехвалентное железо $Fe(OH)_3$.

Иногда к одному и тому же барьеру поступают химические элементы (соединения) из разных миграционных потоков. В этих случаях возникают *многосторонние барьеры*. Довольно часто при поступлении нескольких миграционных потоков в одно место геохимический барьер образуется именно за счет слияния этих по-

• i.'H В таких случаях возможно образование не только много-
i"i" in них, но и *комплексных барьеров*. Последние представляют со-
ЮЙ пространственное наложение друг на друга нескольких раз-
ный геохимических барьеров.

Иногда барьеры разделяются в зависимости от положения
'ространстве поступающих к ним миграционных потоков. Ес-
ли они продвигаются в субгоризонтальном направлении, напри-
Иер но границе почв и подстилающих их горных пород, то гово-
ри i о *латеральных геохимических барьерах*. При вертикальном и сла-
Гюнаклонном продвижении миграционного потока (независимо от
пн о, сверху вниз или снизу вверх) формируются *вертикальные, или ра-
диальные барьеры*.

Само положение барьера относительно поступающего к нему миграционного потока может изменяться. Если барьер перемеща-
I гея в направлении водного потока, но медленнее фильтрации вод,
ТО перед барьером в водах повышается концентрация химических
члементов (В.С. Голубев, А.И. Перельман). Сам же миграционный поток также может передвигаться, обычно перпендикулярно или под углом к геохимическому барьеру. С подобным явлением приходится часто встречаться, когда русла рек постепенно меняют свое положение при впадении в моря и озера. При этом на барьерах формируется своеобразная зональность распределения химических элементов (В.А. Алексеенко, 1992).

Вообще же понятие о геохимических барьерах относится к числу важнейших в геохимии. Изучение таких барьеров началось сравнительно недавно, и многие особенности накопления на них химических "элементов еще не выявлены.

Количественные характеристики геохимических барьеров. К числу важнейших количественных параметров (рис. 6.1) относится *градиент барьера*. Он определяется I формуле (А.И. Перельман, 1989)

$$G=dm/dl \text{ или } G=(m_1 - m_2)/L,$$

где m, ->- числовое выражение величины одного из показате-
Лей, ОПредеЛЯЮЩИХ Изменение ГеОХИМИЧеСКОЙ Обстановки На ба-
барьере, установленное В МИГраЦИОННОМ ПОТОКе Перед барьером.
тж _ г 11*
Им могут быть величины pH, t,

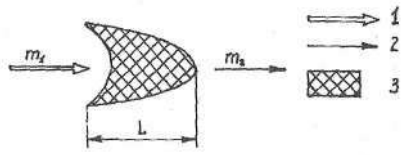


Рис. 6.1. Параметры геохимических барьеров (по А. Перельману);
1, 2 - направление миграции химических элементов соответственно до и после барьера; 3 — область концентрации элементов на барьере; L - длина барьера; т, и т з — геохимические характеристики среды соответственно до и после барьера
v

P, Eh, количество растворенного в воде кислорода, или сероводорода и т.д.;

$т_2$ — числовое выражение величины этого же показателя в миграционном потоке сразу же после барьера;

L — мощность (ширина) барьера.

Величина градиента барьеров может быть выражена в градусах/м; pH/м; Eh/м и др.

Еще одной количественной характеристикой геохимических барьеров является *контрастность барьера* S (А.И. Перельман), определяемая по формуле

$$S=m_1/m_2.$$

Так как в итоге на геохимическом барьере в большинстве случаев формируются геохимические аномалии, то о контрастности барьера можно судить и по *контрастности образовавшихся геохимических аномалий* (см. разд. 4.4):

$$K=C_a/C_ф,$$

где C_a — среднее содержание рассматриваемого компонента в аномалии; Сф — фоновое содержание в ландшафте (определенном типе горных пород, почв, осадков, вод, растений и т.д.), аналогичном ландшафту, в котором расположен рассматриваемый барьер.

Обычно интенсивность накопления химических элементов (их соединений) усиливается с возрастанием градиента и контрастности геохимических барьеров.

Для расчета *концентрации элементов на барьере* (h) была выведена следующая формула:

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

где K — коэффициент, зависящий от «инертной» массы (почв, осадков, живого вещества и т.д.), на которой происходит накопление рассматриваемого вещества; C_1; C_2 — содержание рассматриваемого вещества в миграционном потоке соответственно до и после барьера; $a_и$ a_2 — общее содержание всех веществ, мигрирующих в потоке соответственно до и после барьера.

Из приведенной формулы видно, что для концентрации какого-нибудь элемента на барьере не обязательно его высокое содержание в мигрирующих потоках. Если данный участок является барьером только для одного или немногих элементов (соединений), а у большинства остальных элементов (соединений) на этом уча-

С интенсивность миграции не изменяется, то даже при низкой и грации рассматриваемого элемента в мигрирующем пото- !lt) концентрация на барьере может со временем стать очень и ой, вплоть до образования рудных тел.

Указанной особенностью геохимических барьеров необходимо чаще пользоваться при формировании техногенных барьеров. Ikoooc внимание следует при этом уделять формам нахождения Hi l пческих элементов в миграционном потоке, их относительно- i оличеству и особенностям самой среды миграции, так как именно они во многом определяют процесс осаждения элементов (co- rn немий) на различных геохимических барьерах.

Принцип торможения химических реакций (принцип Перель- l ша). В миграционных потоках, как и в других природных геіхимических системах, содержится ряд геохимических элемен- ров, способных вступать в химические реакции между собой и осаждаться на образующихся геохимических барьерах. Некоторых элементов в системе может быть настолько много, что их хватает имя реализации всех возможных реакций. Эти элементы в данной системе являются *избыточными.* Например, на поверхности Земли таким элементом является кислород. Его содержание НС лимитирует протекание реакций окисления, и он продолжает оставаться одним из основных газов в атмосфере. В системах кислых магм избыточен SiO_z. Его хватает для реализации всех реакций и после этого он еще остается, выделяясь в виде кварца. К *дефицитным* в данной системе *элементом* относятся те, низкое содержание которых не позволяет реализовать все термодинамически возможные реакции. Элементы, избыточные в одной природной системе, могут быть недостаточными в другой. Так, и глубинах Земли становится дефицитным 0_2, а в основных магмах — $Si0_2$.

В 1941 г. Перельман сформулировал принцип торможения химических реакций, учитывающий наличие в системе избыточных и недостаточных химических элементов:

если в системе один из реагентов присутствует в количестве, **недостаточном для реализации всех возможных реакций, то осуществляются лишь те реакции, для которых характерно максимальное химическое сродство.**

Сущность принципа его автор иллюстрирует примером, хорошо известным из курса химии. Если к раствору с равными концентрациями СГ и J" добавлять по каплям $AgN0_3$ (в данной си-

стеме он будет дефицитным реагентом), то сначала начнет осаждаться AgJ. Это связано с его более низкой растворимостью по сравнению с AgCl.

На первом этапе реакция осаждения AgJ «тормозит» осаждение AgCl, так как при отсутствии J шло бы осаждение AgCl. В дальнейшем, по мере расходования J, концентрация Ag^+ в растворе начинает расти (растворимость AgJ — величина постоянная). Наступит момент, когда вместе с AgJ станет осаждаться AgCl. После того, как будет израсходован весь J" (ионы перейдут в осадок), начнется осаждение чистого AgCl.

В отличие от лабораторного эксперимента в природных условиях процесс полного расходования ионов в системе практически не происходит — их новые порции поступают извне. Создаеваемая в этих условиях обстановка для продолжительного проявления принципа торможения более благоприятная, чем в лаборатории при исследовании рассмотренного выше дробного осаждения.

Вероятно, с действием принципа торможения связаны некоторые парагенные ассоциации на многосторонних барьерах.

6.2. Физико-химические барьеры

6.2.1. Сероводородные барьеры

При резком понижении величины Eh возникают восстановительные геохимические барьеры. Если на таких барьерах осаждение химических элементов происходит с участием H_2S (в виде газа или водного раствора), то барьер считается сероводородным. В табл. 2.7 показано, что на сероводородном барьере происходит осаждение химических элементов, поступающих с кислородными и глеевыми водами, имеющими разные кислотно-щелочные характеристики. В биосфере такие воды находятся в изобилии, а следовательно, появление сероводородных барьеров лимитируется наличием самого сероводорода.

Обычно сероводород получают действием разбавленных кислот на сульфиды:

$$FeS + 2HCl = FeCl_2 + H_2S\uparrow.$$

Сам H_2S чрезвычайно ядовитый бесцветный газ с характерным запахом гниющего белка. Он намного тяжелее воздуха, горит голубым пламенем:

$$2H_2S + 3O_2 = 2H_2O + 2SO_2.$$

1п> раствор в воде обладает свойствами кислоты, Сероводо- • >жет находиться в природных водах в свободном состоянии, и ни но раствора и диссоциированном состоянии. Обычно диссо- ЩИЯ идет по следующей схеме:

$$H_2S \Leftrightarrow H^+ + HS^-.$$

Г кс диссоциация идет до образования ионов серы:

$$HS^- \Leftrightarrow H^+ + S^{2-}.$$

В сильнокислых водах чаще преобладает $H_г8$, в нейтральных И і набощелочных (pH — 6,5—8,5) — HS", а в сильнощелочных (▷П "8,5) — ион S^{2}". В результате взаимодействия растворенных волей металлов с сероводородом часто образуются труднораство- м ые сульфиды. В принципе на этих реакциях в основном ба~ трустся рассматриваемый барьер:

$$CuSO_4 + H_2S = CuS\downarrow + H_2SO_4.$$

Сульфиды образуются и при взаимодействии сероводорода (растворенного и газообразного) с самородными металлами, например с Си ИЛИ Ag. Реакция протекает в присутствии растворенного или газообразного кислорода:

$$4Ag + 2H_2S + O_2 = 2Ag_2S + 2H_2O.$$

Сероводород может образовываться и в результате непосредственного взаимодействия водорода и серы, однако реакция идет Только при высоких температурах:

$$H_2 + S = H_2S.$$

При понижении температуры (как пример можно рассмотреть лаповые озера вулканов) и в присутствии $S0_2$ происходит реакция разложения сероводорода с осаждением самородной серы. Этот процесс можно рассматривать как осаждение серы на сероводородном барьере:

$$2H_2S + SO_2 \Leftrightarrow 3S(тв) + 2H_2O.$$

Диоксид серы, необходимый для этой реакции, также может образовываться из сероводорода в присутствии паров воды (С.Матсуо):

$$H_2S + 2H_2O \Leftrightarrow 3H_2 + SO_2.$$

Сероводород, образовавшийся при высоких температурах в **глув** бинах Земли, также может участвовать в создании сероводородных барьеров биосферы. Об этом можно судить по тому, **чтя** в гранитной и базальтовой оболочках его содержание (вместе с SO_2) составляет $200 \cdot 10^{12}$ т, а в мантии достигает $210\,000 \cdot 10^{a}$ Я (В.А. Соколов). В этих зонах выход H_2S на поверхность возможен по разрывным нарушениям. Какое-то количество H_2S глубинного происхождения выделяется в биосфере из включений в разрушающихся на поверхности минералах магматических пород.

При температурах 150—200° С углеводороды, сохранившиеся в уже сформировавшихся породах, могли вступать в реакции (окисляться) с такими мягкими окислителями, как сульфаты, привносимые горячими парами-растворами (гидротермами), по следующей схеме (Э.М. Галимов, Л.А. Банникова):

$$CH_4 + SO_4^{2-} + 2H^+ = CO_2 + 2H_2O + H_2S.$$

Образовавшийся H_2S мог вызывать осаждение металлов из гйдротерм. Анализ газа, выделившегося из пород, подвергшихся и не подвергшихся гидротермальной проработке, на одних и тех же участках ряда месторождений Каратау, Джунгарского Алатау, Якутии показал, что при проработке резко уменьшается содержание углеводородов, а часто — воды во включениях и H_2 (В.А. Алексеенко, 1981). Это вполне согласуется с предположениями Э.М. Галимова о возникновении сероводородного барьера за счет окисления углеводородов в присутствии сульфат-ионов. Такие барьеры могли быть основой при формировании многих месторождений, относимых к гидротермальным.

В целом же значение описанных барьеров, так же как и роль H_2S, поступающего из глубинных слоев Земли, невелико. Гораздо большее значение в биосфере имеют барьеры, связанные с процессами жизнедеятельности сульфатредуцирующих бактерий. Такие бактерии, разлагая органическое вещество и сульфаты (они являются основным источником S для сероводорода), выделяют углекислый газ и сероводород. При этом они отбирают у сульфатов кислород (он идет на окисление органики), а выделяющаяся энергия идет на поддержание жизнедеятельности бактерий:

$$3Na_2SO_4 + C_6H_{12}O_6 \rightarrow 3Na_2CO_3 + 3H_2O + 3CO_2 + 3H_2S + Q \text{ (кДж)}.$$

В зонах сероводородного заражения (а H_2S может находиться в них в виде раствора и газа) происходит реакция взаимодейст-

ия H_2S с растворенными солями и металлами в самородном состоянии. Ее результатом является образование труднорастворимых сульфидов. Так формируются сероводородные барьеры. Глобальное распространение и генетическое разнообразие таких барьеров и биосфере позволяет, в дополнение к ранее рассмотренным (см. разд. 6.1), объединять сероводородные барьеры по отношению к породам (осадкам), в которых они образуются и где происходит отложение сульфидов. При таком подходе в биосфере можно выделить осадочно-диагенетические сероводородные и эпигенетические барьеры. Кроме них можно говорить о магматическом барьере, выходящем за пределы биосферы. Такое подразделение имеет и определенный геохимический смысл: есть некоторые различия в изотопном составе серы сульфидов, образующихся на этих барьерах.

Осадочно-диагенетические сероводородные барьеры возникают в осадках при бактериальном разложении в них органического вещества. Процесс бактериального восстановления сопровождается изотопным эффектом: скорость восстановления легкого изотопа S^{32} в ионном комплексе SO_4^{2-} выше на 2—4%, чем тяжелого S^{34}. В результате сульфидная сера обогащается (по отношению к сере исходного сульфата) легким изотопом S^{32}, а исходный сульфат — тяжелым изотопом S^{34} (В.И. Виноградов, 1973).

. Развитие рассматриваемого процесса в верхнем слое океанических (морских) осадков приводит к тому, что изотопный состав океанической серы оказывается утяжеленным на 20% по отношению к среднему составу серы в Земле. Довольно быстрое перемешивание океанических вод выравнивает изотопный состав сульфатной серы по всему Океану. Сульфиды, образующиеся в верхнем слое осадка, обогащены легким изотопом серы в пределах —(10—30)‰. Сохранившийся на некоторой глубине от поверхности сульфатный раствор, по В.И. Виноградову, обогащен тяжелым изотопом серы. Продолжающаяся здесь сульфатредукция приводит к образованию на сероводородном барьере сульфидов с более тяжелой серой. Однако доля таких позднедиагенетических сульфидов в общей массе осадочно-диагенетических мала.

Эпигенетические сероводородные барьеры возникают в уже сформировавшихся горных породах и отличаются генетическим разнообразием, хотя все формируются благодаря жизнедеятельности сульфатредуцирующих бактерий. Основным источником серы для этих барьеров продолжают оставаться растворенные сульфаты.

В горных породах они появляются за счет растворения гипсовых (ангидритовых) отложений, окисления сульфидной серы пород, остаточных растворов и просачивающихся поверхностных (грунтовых) вод.

О довольно широком развитии сероводородных бассейнов в горных породах на континентах можно судить по распространению H_2S-содержащих подземных вод на европейской части территории бывшего СССР (рис. 6.2).

Особенности образования эпигенетического сероводорода из сульфатов подземных вод за счет рассеянного органического вещества рассмотрены в работах А.К. Лисицина и В.М. Белого. Обобщенные данные об изотопном составе на эпигенетических барьерах показывают, что он в зависимости от конкретных гидрогеохимических и биогеохимических условий может изменяться в широких пределах даже на относительно небольших участках. При этом для отдельных площадей он может быть облегченным (от —30 до -50‰) и довольно однородным. В целом же, по данным В.И. Виноградова, колебания в изотопном составе S из сульфидов на эпигенетических барьерах выше, чем на осадочно-диагенетических барьерах.

Особым случаем образования H_2S на эпигенетических барьерах является термическое разложение (при температурах более 100 °С) углеводородов (в частности, метана) в присутствии сульфатов:

$$CaSO_4 + CH_4 \rightarrow CaCO_3 + H_2O + H_2S\uparrow.$$

Магматический сероводородный барьер находится за пределами биосферы, и мы можем изучать лишь образовавшиеся на нем сульфиды. В зависимости от генезиса магмы и источников в ней серы, изотопный состав серы в сульфидах бывает различным, и все же в подавляющем большинстве случаев он близок к среднему для Земли или относится к слегка утяжеленному — от 4 до *6‰* (В.И. Виноградов).

Таким образом, данные изотопного анализа серы позволяют говорить об особенностях геохимических сероводородных барьеров, на которых отлагались минералы серы. Особо следует отметить, что сероводородный барьер является одним из основных барьеров, на которых формируются разные месторождения, т.е. участки с аномально высокими концентрациями и большими запасами Pb, Zn, Cu, Cd, Ag, Mo, Hg, As, Sb, Bi, Ni. Концентрации рассматриваемых металлов в этих случаях являются токсичными для большинства организмов.

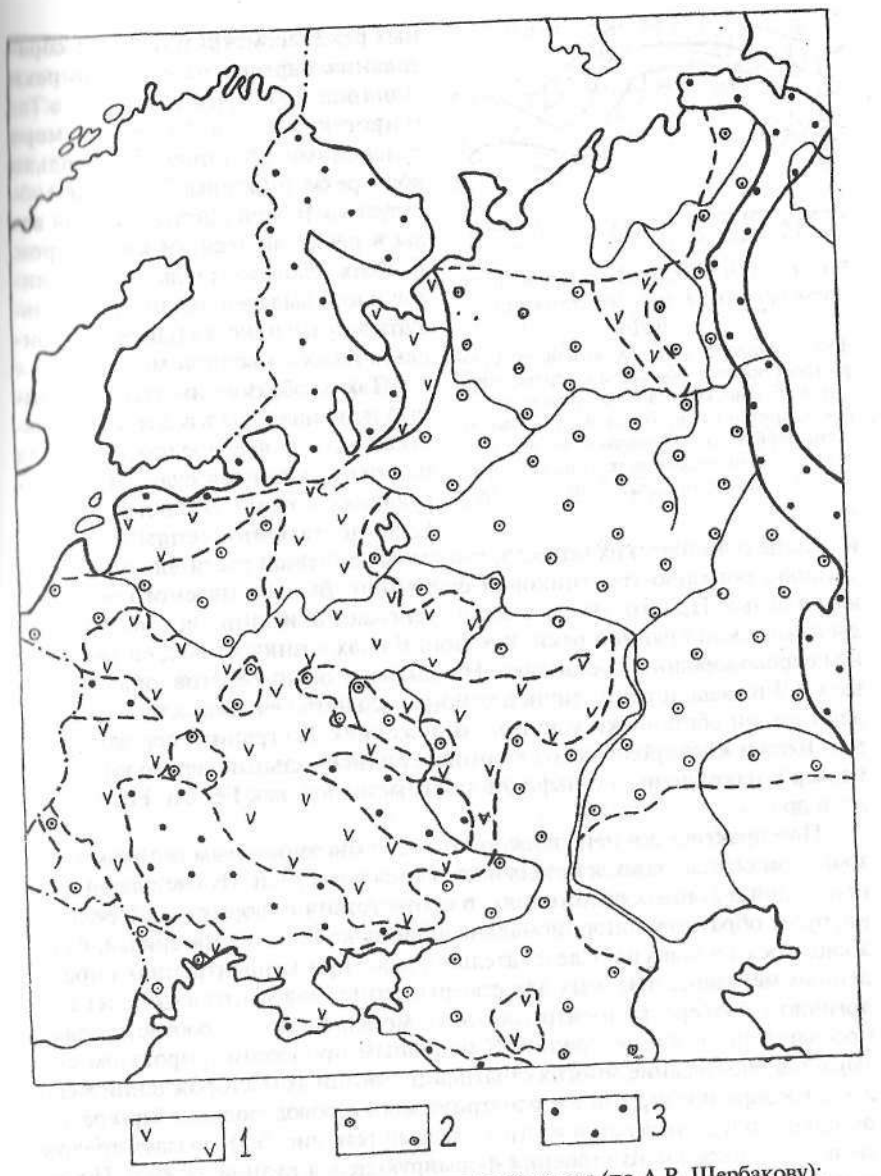


Рис. 6.2. Карта распространения подземных вод (по А.В. Щербакову):
1 — кислородные; 2 — азотные; 3 — сероводородные

Примеры сероводородных геохимических барьеров:

1. Довольно крупные природные сероводородные геохимические барьеры формировались и формируются в настоящее время в дельтах круп-

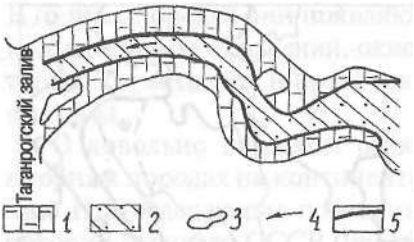


Рис. 6.3. Сероводородные геохимические барьеры в донных отложениях реки Дон:
1–3 — ландшафты (1 — камышово-рогозово-тростниковой формации с сероводородной обстановкой в донных отложениях, 2 — планктонных водорослей с глеевой обстановкой в донных отложениях, 3 — островов); 4 — направление течения реки в воде; 5 — сероводородный барьер в плане

ных рек. Рассмотрим процесс образования барьера на примере реки Дон (рис. 6.3). При впадении ее в Таганрогский залив Азовского моря сульфатами обогащены не только воды реки, но и илы. Этому способствует «ветровой нагон» морской воды в речку на десятки километров. В таких условиях (по данным анализов илов) выделен ландшафт с сульфатно-сульфидно-кальциево-натриевым классом водной миграции.

Таким образом, имеется постоянный источник серы в водах и илах участка. Есть и все предпосылки для широкого развития сульфатредуцирующих бактерий. Это в первую очередь достаточно теплый климат и обилие органических веществ, связанных с буйной растительностью камышово-рогозово-тростниковой формации. Вырабатываемого бактериями в дельте H_2S столько, что его не успевают окислить кислородные воды даже такой крупной реки, как Дон. В илах возникает восстановительная сероводородная обстановка. Начинаясь у обоих берегов, она охватывает 2/3 площади реки, лишь в районе сильного течения остается место для глеевой обстановки в донных отложениях. На границе сероводородных илов и кислородных вод формируется нормальный сероводородный барьер с накоплением сульфидов таких металлов, как Fe, Cu, Pb, Zn, Cd, AgHflp.

При практически неподвижном барьере миграционным потоком и источником осаждающихся металлов являются воды реки. Их (металлов) концентрация в донных отложениях, в соответствии с формулой Перельмана, будет обратно пропорциональна общему количеству материала, отложившегося на барьере. Следовательно, даже при концентрациях определенных металлов, обычных для поверхностных вод континентов, на аналогичном барьере концентрация этих металлов может соответствовать промышленной концентрации. С подобным процессом в прошлом связывается образование многих стратифицированных месторождений меди.

Своеобразное строение рассматриваемого сероводородного барьера, переходящего в центральной части в глеевый (см. рис. 6.3), создает предпосылки для зонального строения формирующейся рудной залежи. Постепенное горизонтальное передвижение дельты (обычное явление для многих рек) осложняет рудную зональность и в итоге может привести к зональности, соответствующей наблюдаемой на известных месторождениях.

В рассматриваемом примере на природном геохимическом барьере постоянно отлагается довольно много материала, переносимого в реке.

! in нитрация тяжелых металлов

• 'мних отложениях в большой ме-
і ивисит от содержания их в водах
п, ;і следовательно, от количест-
И промышленных сбросов в реку. Та-
uIM <>ираэом, в данном случае мы име-
#м дело с формированием на природ-
ном сероводородном барьере антро-
к ^ f r r
І в и сі и (ых геохимических аномалий та-
і І ПЫХ Металлов.

2. Выше ПО Течению ТОЙ Же ре-
І и) (ОН МЫ Имеем Дело не С Природ-

ИЫМ, а ТеХНОГеННЫМ СерОВОДОрОД-
НЫМ барьером, ПОДОбнЫМ ранее ОПИ-
І .июму (рИС. 6.4). Источниками се-
ВЫ В ЭТОМ случае ЯВЛЯЮТСЯ СуЛьфа-
J -г
ГЫ, Поступающие В реку С нагОННЫ-
ми течениями из Азовского моря
И СО Сбросами ПрОМЫШЛеННЫХ Пред-
„ т, » тт

Ростов-на-Дону дАЙ

Ч / - л ^ ^ ^ ^ < ^ ^ й Й Н ^ _ г , л
/ ^ 2 S ^ ^ ^ ^ ^ ^ ^ ^ ^ ^ ^ ^ ^ ^ v
у р ^ " " ^ ^ ^§§0^
7 ТЕ2Й Г ПРЗ ЕЕсЬ с2эг Р"^3
г ^ h g=g^ ggg6 <^i
еи? ёш та

Рис. 6.4. Сероводородные техногенные геохимические барьеры в донных отложениях реки Дон:
1-7 — ландшафты (1 — планктонных водорослей, 2 — прибрежно-водной растительности, 3 — пойменных лесов, 4 — пойменных лугов, 5 — пойменных болот, 6 — камышово-рогозово-тростниковой формации соответственно с сероводородной обстановкой в донных отложениях и глеевой обстановкой в илах, 6 — населенных пунктов, 7 — островов); 8 — направление течения реки; 9 — сероводородный барьер в плане

Рис. 6.4. Сероводородные техногенные геохимические барьеры в донных отложениях реки Дон:
1-7 — ландшафты (1 — планктонных водорослей, 2 — прибрежно-водной растительности, 3 — пойменных лесов, 4 — пойменных лугов, 5 — пойменных болот, 6 — камышово-рогозово-тростниковой формации соответственно с сероводородной обстановкой в донных отложениях и глеевой обстановкой в илах, 6 — населенных пунктов, 7 — островов); 8 — направление течения реки; 9 - сероводородный барьер в плане

приятии Ростова и Аксая. Природные сообщества планктонных водорослей (а именно они развиты в этой части реки) не создают достаточного количества органических соединений для жизнедеятельности большого числа бактерий, и основной объем органики поступает с бытовыми стоками городов Аксай и Ростов.

В этих условиях формируется сероводородный барьер. Концентрирующиеся на нем металлы имеют в основном тоже техногенное происхождение. Образование таких барьеров в реках у крупных населенных пунктов — явление аномальное и опасное. Во-первых, сам H_2S, накапливающийся в илах,— это сильный яд для большинства живых организмов. Во-вторых, тяжелые металлы, осевшие из вод в илы, постепенно поступают в растительные и животные организмы (включая человека), вызывая их отравление.

3. Значительная часть рудных месторождений, особенно цветных металлов, относится к гидротермальным. В них среди рудных минералов обычно преобладают сульфиды. Это дает основание связывать формирование таких месторождений с сероводородными барьерами. К настоящему времени в нескольких местах на земном шаре выявлены термальные воды, являющиеся источником выпадающих в осадок сульфидов Fe, Cu, Pb, Zn, Ag. Их изучение позволило ряду исследователей (Л.М. Лебедев, Дж. Бишофф и др.) создать еще одну модель сероводородного барьера, возникающего в районе смешивания термального металлоносного потока и сероводородного, практически не содержащего металлов. Как правило, оба потока поднимаются под довольно крутыми углами к поверхности. Современным примером такого формирования месторождений может быть

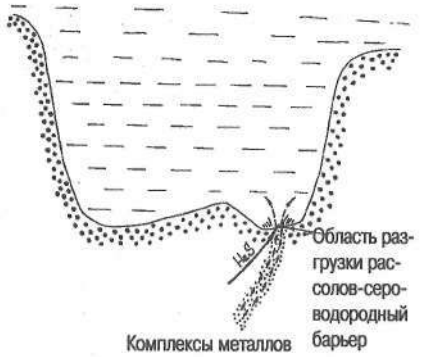


Рис. 6.5. Схема образования сероводородных природных барьеров во впадинах морей

рудоотложение на полуострове Челекен. Данные изотопных анализов позволяют считать, что сера, входящая в состав сероводорода, имеет в данном случае бактериальное происхождение. Предполагается, что она связана с глубоко расположенными залежами нефти (В.А. Будько).

По мнению Дж. Бишоффа (1974), при смешивании двух рассолов, один из которых был обогащен H_2S , могла возникнуть часть сероводородных барьеров в Красном море (рис. 6.5). На этих барьерах продолжается современное образование стратифицированных полиметаллических месторождений.

4. Около впадин Красного моря в илах отмечены площади сероводородного заражения, обусловленного процессами жизнедеятельности бактерий, т.е. сероводородные геохимические барьеры. Здесь в настоящее время происходит современное отложение сульфидов из металлоносных вод, заполняющих впадины и переливающихся через их край (рис. 6.6). Имеющиеся на этом геохимическом барьере осадки являются по сути бедными стратифицированными рудами. Они могут считаться аналогами древних стратифицированных руд, сконцентрированных в породах с законсервированным в составляющих их осадочных мине-

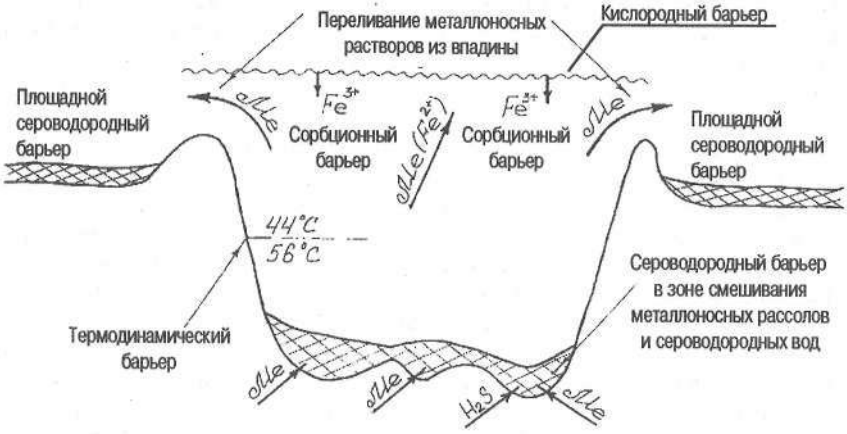


Рис. 6.6. Схема образования комплексных геохимических барьеров во впадинах Красного моря (по данным Д.Л. Бишоффа)

ралах сероводородом H_2S, и остатками рыб, замещенных PbS, ZnS, i uPeS_2 (В.А. Алексеенко, 1981).

Можно предположить, что подобным образом (за счет поступления На сероводородный осадочно-диагенетический барьер вод, несколько обогащенных металлами и с малым количеством терригенного материма) образовались в нижнем палеозое-докембрии черные углеродистые сланцы, обогащенные Си, Ni, Мо, Au. Содержание этих металлов в сланцах > относительно низкое, но общие запасы грандиозны. Часто такие углеродистые сланцы называют *рудами будущего*.

5. Сероводородный геохимический барьер (подобный рассмотренному выше по способу формирования зоны сероводородного заражения) существует в илах соляных озер степей и пустынь. В них создаются усло-»ия, благоприятные для развития сульфатредуцирующих бактерий: есть органика (остатки различных водорослей и мелких животных) и сульфаты, а свободного кислорода для окисления органики не хватает. Отсутствует только металлоносный поток. На таких барьерах концентрируется черный коллоидный минерал железа — гидротроилит $Fe(HS)_2 \cdot nH_20$. Он придает илам специфический цвет, а не прореагировавший H_2S — запах. Железа для образования таких количеств гидротроилита практически всегда достаточно в природных водах и горных породах.

Сероводородные илы получили довольно широкую известность и часто используются под названием «лечебные грязи» для лечения целого ряда заболеваний. К числу наиболее известных курортов с сероводородными илами относятся Оксукол в Таджикистане, Одесса, Сочи и др.

6. Громадным природным сероводородным барьером является Черное море. Его можно рассматривать как большую котловину, которая заполнена водой и имеет ограниченный обмен ею (водой) с другими бассейнами и Океаном в целом (рис. 6.7). На глубинах более 150—170 м морские воды существенно обеднены свободным кислородом (менее 15% нормального содержания). Начиная примерно с глубины 200 м ниже этой зоны в водах появляется сероводород. Его образование связано с жизнедеятельностью бактерий и уже рассматривалось выше.

В подобных котловинах (а аналогичные барьеры известны в Норвежских фиордах), при наличии только выносящих течений, содержание H_2S в придонных слоях увеличивается и доходит до 6 см7л, как и в Черном море. Если существует двусторонний ток воды, то максимальная концентрация H_2S характерна для срединных частей бассейна (рис. 6.7).



Рис. 6.7. Схема сероводородного заражения в Черном море (А) и Норвежских фиордах (Б) (по Н.М. Страхову):
I — кислородная зона; II — сероводородная зона

7. Еще одним примером образования сероводородного барье-

ра может служить поступление термальных сероводородных вод из глу«]
боких горизонтов. На континентах такие гидротермы обычно встречают
ся в передовых прогибах, артезианских бассейнах на участках антикли
нальных складок с нефтью и газом. К ним относятся термальные источ-
ники Копетдага, Тбилисские термы, источники Горячего Ключа, Пяти
горска и Мацесты.

При низких температурах источником H_2S являются процессы, связанные с бактериальным разложением сульфатов, при высоких — взаимодействие углеводородов и сульфатов термальных вод (Э.М. Галимон, Л.А. Банникова). Часто такие сероводородные источники используются в лечебных целях. В зонах их разгрузки идет отложение сульфидов, чаще всего пирита FeS_2, что объясняется наличием в водах биосферы повышенных концентраций Fe.

Известны случаи выхода сероводородных гидротерм на дне океанов, в рифтовых зонах. При этом иногда образуются так называемые «черные курильщики» — конусы высотой в десятки и диаметром в сотни метров, состоящие из сульфидов, аналогичных по составу полиметаллическим рудам. Их более древними аналогами считаются сульфидные месторождения острова Кипр, образовавшиеся в позднемеловое время.

Иногда в зонах выхода сероводородных вод на поверхность, где в атмосфере избыток кислорода, H_2S окисляется до свободной серы. Но в этом случае в местах разгрузки и окисления сероводородных вод мы имеем дело уже с кислородным барьером.

6.2.2. Кислородные барьеры

К числу получивших наибольшее распространение в биосфере относятся и кислородные геохимические барьеры. Объясняется это тем, что такие барьеры образуются каждый раз, как только миграционные потоки с бескислородными водами (глеевыми или сероводородными) попадают в зоны со свободным кислородом. Поскольку такими зонами являются практически вся атмосфера (в том числе значительная часть почвенной атмосферы) и верхние горизонты большинства поверхностных вод (включая воды Океана), то формирование кислородных барьеров на земной поверхности лимитируется в основном наличием миграционного потока бескислородных вод.

Окислительный барьер может также возникнуть при смене резковосстановительных условий слабовосстановительными и слабоокислительных — резкоокислительными. В этих случаях резко увеличивается значение Eh.

К настоящему времени в пределах биосферы среди кислородных барьеров преобладают природные.

И» металлов на кислородных барьерах осаждаются Fe и Мп с пе-
Н иной валентностью и совместно с ними, но гораздо реже Со. Jfcpiiirio концентрируется на подавляющем большинстве барьеров 111 неевых вод и редко — из сильнокислых (pH<3) сероводород-
Н последнем случае оно является второстепенным, сопровож-#йи)|щим осаждение серы. Если в пределах кислородного барьера и модах появляется свободный 0_2, но величина Eh недостаточна ! pi осаждения марганца, то $Мп^{2+}$ продолжает миграцию, а Fe^{3+} концентрируется.

И кислых глеевых водах Fe и Мп мигрируют, как правило, Ц виде $Fe(Mn)(HC0_3)_2$ и органоминеральных соединениях (Н.С.Каримов и др., 1982). При попадании таких вод в обстановку со свободным кислородом происходит совместное осаждение минералов I с и Мп: гематита Fe_20_3, гидрогематита (Fe_20_3 • aq), гетита ($HFe0_2$), гидрогетита ($HFe0_2$-aq), пиролюзита ($Мп0_2$), вернадита ($Мп0_2$- $пH_rO$) и т.д. Иногда на рассматриваемых барьерах совме-I 1 но с минералами Fe встречается асболан ($m(CoNi)0 • Мп0_2 • пH_20$) и еще реже стениерит ($HCo0_2$). В глеевых нейтральных и щелочных водах Fe малоподвижно, а Мп хорошо мигрирует. Из таких вод па кислородном барьере осаждаются в основном минералы Мп: пиролюзит ($Мп0_2$), псиломелан ($mMnO • МпО_r • пH_20$), манганит ($Мп^{2+}Мп^{4+}0_2[OH]_2$)идр.

Кроме трех перечисленных металлов на кислородных барьерах могут концентрироваться сера и селен. Это происходит в тех случаях, когда к кислородному барьеру подходит поток сероводородных вод.

Примеры кислородных геохимических барьеров.

1. На многих сероводородных источниках видны образование и осаждение своеобразных «хлопьев» серы. Это явление связано с окислением (часто с участием серобактерий) сероводорода до свободной серы:

$$2H_2S + 0_2 = 2H_20 + 2S.$$

Данный процесс можно представлять как аналог формирования более древних месторождений серы (рис. 6.8). Примером таких месторождений является Шорсу в Ферганской долине. Изредка на рассматриваемых барьерах совместно с серой и селеном может концентрироваться железо.

2. Один из наиболее распространенных кислородных барьеров — барьер, образуемый в результате окисления глеевых вод, поступающих на поверхность по разрывным нарушениям (рис. 6.9). На поверхности такие барьеры представляют собой железные шляпы, состоящие в основном из гематита и гидрогетита (лимонита). Особенно много аналогичных образований встречается в районах с породами, обогащенными органическим веществом и железом. В таких случаях на глубине создаются условия для формирования глеевых вод, обогащенных Fe^{2+}.

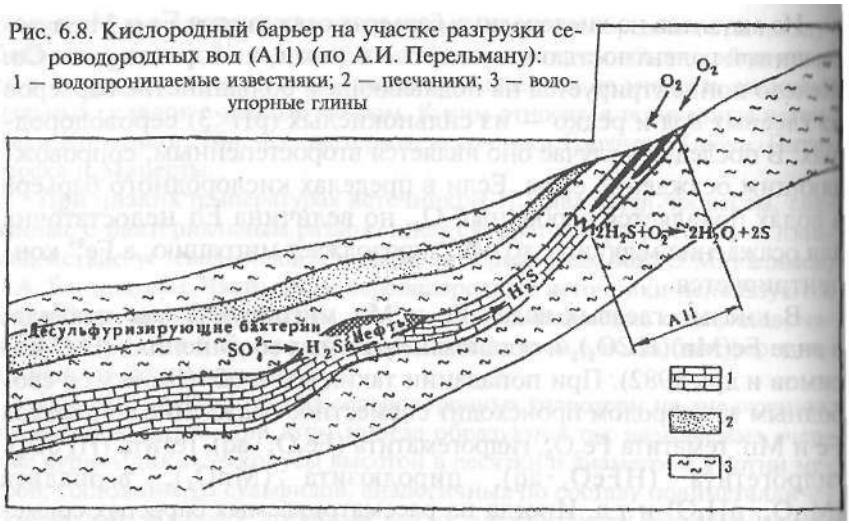


Рис. 6.8. Кислородный барьер на участке разгрузки сероводородных вод (А11) (по А.И. Перельману):
1 — водопроницаемые известняки; 2 — песчаники; 3 — водоупорные глины

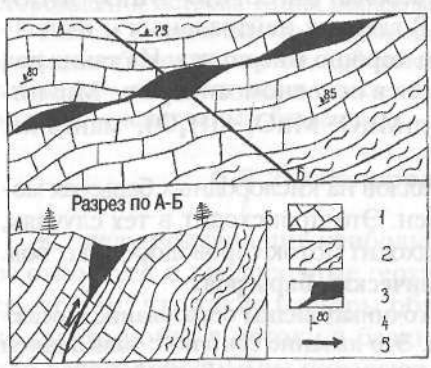


Рис. 6.9. Кислородный барьер — подъем глеевых вод (план и разрез):
1 — известняки; 2 — углистые сланцы; 3 — разрывное нарушение и железная шляпа, образовавшаяся на кислородном барьере (по В.А. Алексеенко); 4 — элементы залегания; 5 — направление движения потока глеевых вод

Одним из районов широкого распространения железных шляп, приуроченных к кислородным барьерам, является Джунгарский Алатау (Южный Казахстан). Железные шляпы встречаются по зонам нарушения в углистых сланцах и известняках (см. рис. 6.9), часто содержащих рассеянный пирит (FeS_2). Во всех этих шляпах за счет высокой сорбционной способности гидроксидов железа повышено содержание еще целого ряда металлов. Поэтому они рассматриваются как небольшие рудопроявления (Вершинное, Солдатсай, Солдатсай Западный и Восточный, Сууксу). В плане рассматриваемые железные шляпы представляют собой линзообразные тела размером до 10х100 м, обычно вытянутые вдоль зон разломов (см. рис. 6.9).

3. К кислородным барьерам можно отнести и многочисленные родники с выходами на поверхность глеевых вод. Дно таких родников обычно сплошь покрыто оседающими рыхлыми гидроксидами железа, из-за чего сами воды часто получают название «железистых» или «железных вод».

і И* числу относят известные «железные воды» на курорте Горячий
1 ((ппадный Кавказ).

і і иоеобразные кислородные микробарьеры в луговых и болотных
.ииx были изучены В.В. Добровольским (1966). Он описал трубчатые
|ѳ>т> жстые стяжения в почвах Европейской части страны. Их диаметр ко-
і на от 0,5 до 3 см при длине 3,8 см. Такие стяжения формируются
| и р\| отмерших корней растений, по которым атмосферный кислород
пикал в оглеенные горизонты.

Аналогичные образования встречаются в лесных почвах Западной Ев-
iii.i и известны под названием «роренштейны».

3. Глеевые горизонты болотных почв отличаются высокой подвиж-
.....к) железа (Fe^{2+}) и марганца ($Мп^{а+}$). При их поступлении на днев-
I и I I кшерхность также формируются кислородные барьеры, на которых
. .пик-нтрируются оба окислившихся металла. При сильном заболачива-
нии они (особенно Fe^{3+}) накапливаются в верхнем горизонте почв, об-
pttiyn «железистые солончаки».

6. Кислородные барьеры, возникающие в зоне капиллярного подня-
тии глеевых вод из песчаных водоносных горизонтов до уровня кисло-
родных вод, описаны А.И. Перельманом. В этом случае желтые ожелез-
нсппые песчаники кислородного барьера резко переходят вниз в белесые
HI исенные. С подобным явлением мы иногда встречаемся в корах выве-
фиивания.

7. Для складчатых областей чрезвычайно характерен процесс ожелез-
Нсиия, т.е. образования в трещинах горных пород пленки гидроксидов же-
леза. По мнению Перельмана, горные породы в таких областях в свое вре-
мя были насыщены глеевыми водами, затем тектонические поднятия пе-
ревели их в кислородную зону. При этом находящееся в водах двухвалент-
ное железо довольно быстро окислялось и осаждалось в виде пленок на
крупных (мезо- и макро-) кислородных геохимических барьерах.

8. В иле на дне озер, водохранилищ, в дельтовых частях рек часто воз-
пикает глеевая обстановка (см. рис. 6.3), вызванная расходованием сво-
бодного кислорода на окисление накопившихся в нем (иле) многочис-
ленных органических соединений. Вся площадь контакта такого ила
с глеевой обстановкой и вышерасположенных вод со свободным кисло-
родом также представляет собой кислородный барьер. Подобным кисло-
родным барьером являются и краевые части болот, где глеевая обстанов-
ка сменяется кислородной и идет накопление Fe^{3+}.

9. Весьма своеобразный кислородный барьер образуется при разгрузке
по ослабленным зонам глеевых рассолов в морские бассейны. Один такой
барьер — во впадине Атлантис II в Красном море — изучен Дж. Бишоф-
фом. Процесс осаждения железа представлен им следующим уравнением:

$$2Fe^{2+} + 1/2O_2 + 5H_2O \rightarrow 2Fe(OH)_3 + 4H^+.$$

Кислород, необходимый для осуществления такой реакции, поступа-
ет из вышележащей толщи нормальной морской воды. Высвободившие-

ся при реакции ионы водорода вызывают понижение pH в местах выпи дения в осадок гидроксидов железа. В результате последующих преобрвч зований часть аморфных гидроксидов железа переходит в гетит, а в **илш** образуется гетитаморфная фация. Последняя была выявлена и в **сосем** ней впадине Дискавери, и в илах Красного моря на расстоянии 100 миль южнее впадины. Это свидетельствует о довольно широком распро странении рассматриваемых кислородных барьеров, которые, вероятно, существовали и прежде.

6.2.3. Глеевые барьеры

Глеевые барьеры возникают в тех случаях, когда на участки с восстановительной бессероводородной обстановкой попадает поток кислородных или глеевых вод. При этом щелочно-кислотное состояние этих вод может быть различным. Если на барьер поступают глеевые воды, слабоглеевая обстановка должна сменяться сильноглеевой. Это происходит при понижении величины Eh. К настоящему времени теоретически обосновано появление таких глеевых барьеров в биосфере (А.И. Перельман), но пока они в природных условиях практически не изучены.

Глеевые условия обычно возникают на участках разложения органических веществ без доступа кислорода или при его недостаточном поступлении, а также в зонах поступления водорода по разломам из глубинных слоев. Показателями глеевой обстановки может служить наличие углеводородов (чаще всего CH_4), а в водных потоках, кроме того, растворенных органических соединений, Fe^{2+}, H_2. Горные породы глеевой обстановки имеют белую, сизую, серую и зеленую окраски. При переходе Fe^{2+} в Fe^{3+} окраска резко меняется, становясь ржаво-бурой.

Примеры глеевых барьеров.

1. К числу наиболее распространенных глеевых барьеров относятся краевые части болот. Из поверхностных кислородных вод в этих частях, при смене окислительной обстановки глеевой начинается осаждение таких элементов, как Си, Mo, U, Ag, Cr, V, As.

На глеевых барьерах, как правило, четко выражена их *двусторонность*. Кроме рассмотренного потока кислородных вод, из глеевой зоны идет встречная миграция элементов, подвижных в бескислородной обстановке. К их числу относится Со, концентрирующийся за пределами глеевой зоны на кислородном барьере.

2. Своеобразные глеевые барьеры встречаются в западинах с солодями в лесотепях. Сами барьеры в таких условиях (осолоделые горизонты А, и Дг отличаются большой степенью выщелачивания высокодисперсных и водорастворимых компонентов, которые аккумулируются в лежа-

шин ниже горизонтах вмывания) обычно расположены в нижней части ^MV'оного горизонта. На рассматриваемых барьерах наиболее энергична накапливается Мо. Его содержание на барьере может быть в 8—10 раз пне, чем в лежащих выше («кислородных») почвах.

1lри поисках месторождений полезных ископаемых геохимическими Мїі одами без детальных ландшафтно-геохимических исследований такие tn.itокне концентрации Мо представляют собой контрастные ложные Аномалии (В.А. Алексеенко, 1989).

3. Глеевые барьеры, подобные уже описанным, встречаются и среаи луговых почв солонцов и солодей (Н.С. Касимов, 1974, 1982). Так, в Южных Мугоджарах в нижних горизонтах почв за счет увлажнения, связанною с подъемом трещинно-грунтовых вод, создается глеевая обстановки. 1la таких участках концентрация Мо от верхнего гумусового горизонта к глеевому возрастает, а количество водно-растворимой его части, что особо важно, при этом уменьшается с 14 до 2% валового содержания мешллав почве.

6.2.4. Щелочные барьеры

На участках, где кислая среда сменяется щелочной, слабощелочная — резкощелочной или сильнокислая — слабокислой, начинают формироваться щелочные геохимические барьеры. Другими словами, геохимические барьеры возникают при резком скачкообразном увеличении значений pH. В этих условиях из иодных растворов на щелочных барьерах осаждаются многие минералы, относящиеся к карбонатам, гидроксидам, фосфатам, арсенатам, ванадатам.

Примеры щелочных геохимических барьеров.

1. Формирование природных кислых растворов часто связано с окислением сульфидных руд. Величина pH таких вод, по данным многочисленных исследований, может уменьшаться до 2,6-3,0. Если же недалеко от рудных тел есть карбонатные породы, то в результате их взаимодействия pH растворов, мигрирующих от сульфидных руд, резко повышается. На небольшом расстоянии кислые воды (pH=2,6) становятся нейтральными (pH=7,0) и даже слабощелочными.

Кислые воды сульфидных полиметаллических месторождений, как правило, обогащены Си, Zn, Fe, Pb. Так, в водах полиметаллических месторождений Джунгарского Алатау концентрации РЬ и Zn достигают 90—100 мкг/л. При поступлении таких вод в карбонатные породы и смешивании их с так называемыми «фоновыми водами» на щелочных барьерах происходит отложение сульфатов Zn, Fe, Pb. На этих же участках в донных осадках накапливаются Си, Cd, Ga, Сг, A1 и другие рудные элементы. Правда, часть из них осаждается в результате сорбции образующимися сульфатами.

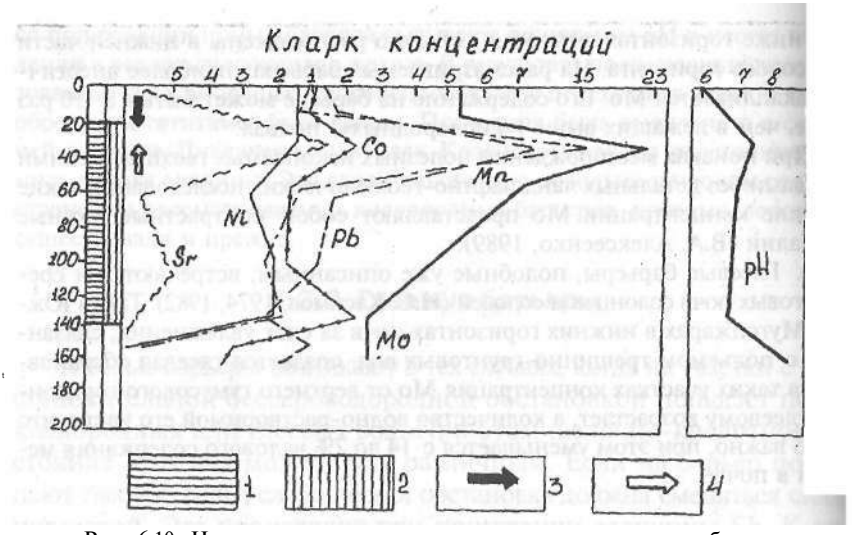


Рис. 6.10. Накопление химических элементов на щелочном барьере (по Н.С. Касимову):
1 — карбонатизация; *2* — огипсование; 3 — направление движения кислых и слабокислых растворов; 4 — направление движения слабощелочных растворов

2. Щелочные геохимические барьеры, образовавшиеся в результат встречного движения потоков кислых и слабощелочных вод, изучены Н.С.Ка симовым и другими исследователями (1982) на месторождении Большо! Карабас. Как видно из рис. 6.10, из кислых вод, проникающих сверху, в кар бонатном горизонте (в месте встречи двух потоков с результирующей ве личиной pH=8) концентрируются Mo, Mn, Co, Pb, Sr.

3. Щелочные барьеры образуются и на контакте ультраосновных по род с известняками в результате боковой миграции кислых вод (рис. 6.11) Так как кислые водные потоки, мигрирующие из ультраосновных пород обогащены Ni и Co, концентрации этих металлов на щелочном барьер могли стать основой некоторых гипергенных месторождений.

4. Глеевые кислые воды, попадая в щелочную обстановку, такж «сбрасывают груз» на рассматриваемых барьерах. Под воздействием бак терий, особенно на водонефтяном контакте, образуются органические кис лоты. Их может быть настолько много, что кислые воды, мигрирующи от этого контакта, начинают растворять карбонаты. В условиях продол жающейся миграции водного потока и повышения значения pH на воз никающих щелочных барьерах начинаются процессы каолинйзаци и вторичной карбонатизации. Судя по минералогическим особенное™ новообразований, их осаждение на рассматриваемых щелочных барьера происходило в глеевой обстановке.

5. Своеобразный щелочной техногенный геохимический барьер бы создан Н.Ф.Мырляном и Н.К.Бургеля (1982) из песчано-карбонатной сме

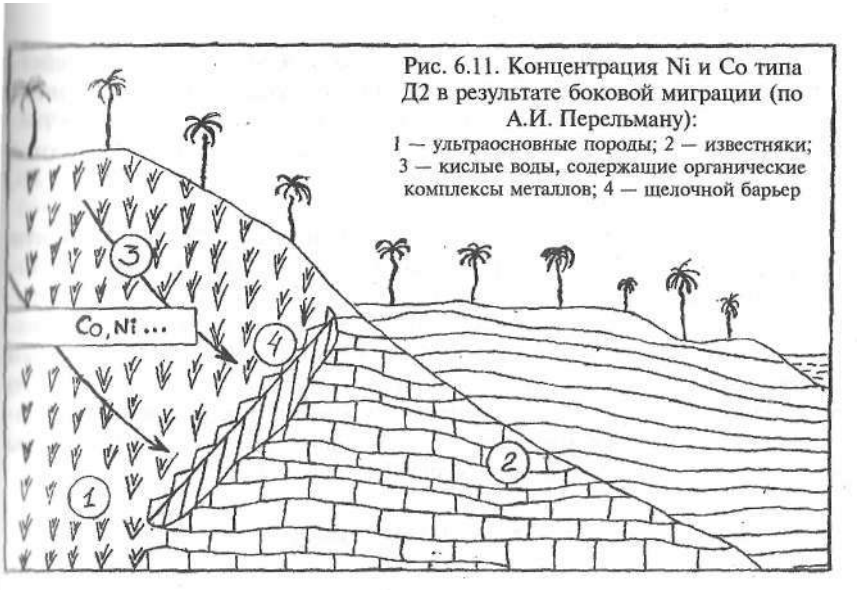


Рис. 6.11. Концентрация Ni и Co типа Д2 в результате боковой миграции (по А.И. Перельману):
1 — ультраосновные породы; 2 — известняки; 3 — кислые воды, содержащие органические комплексы металлов; 4 — щелочной барьер

си. Ею заполняются траншеи, расположенные на склонах ниже участков (обычно виноградников), обрабатываемых медьсодержащими препаратами. Медь, попадая на такой барьер, осаждается в виде малахита.

Учитывая, что в Молдавии на обработку садов и виноградников ежегодно используются десятки тысяч тонн меди, создание техногенных щелочных барьеров, несомненно, способствует улучшению экологической обстановки в ландшафтах, соседствующих с садами и виноградниками.

6. Довольно часто щелочные геохимические барьеры формируются в районах с шахтной отработкой месторождений полезных ископаемых. Подавляющее большинство шахтных вод имеет кислую реакцию. Это может быть связано с разложением сульфидов и в первую очередь с окислением широко развитого в земной коре сульфида железа:

$$2FeS_2 + 7O_2 + 2H_2O \rightarrow 2FeSO_4 + 2H_2SO_4,$$
$$4FeSO_4 + O_2 + 10H_2O \rightarrow 4Fe[OH]_3 + 4H_2SO_4.$$

Кислота получается и при окислении карбонатов:

$$4FeCO_3 + O_2 + 4H_2O - 2Fe_2O_3 + 4H_2CO_3.$$

В шахтных водах кислоты образуются при окислении и самородных металлов, и силикатов, и сульфидов (см. 3.4.3), а также при бактериальном разложении органических веществ. В последнем случае образуются органические кислоты.

Откачиваемые из штолен и шахт воды представляют собою техногенный поток кислых растворов целого ряда химических элементов. При смешивании этих растворов с нейтральными и слабощелочными поверхно-

стными и подземными водами биосферы, а особенно при взаимодейс вии шахтных вод с карбонатными породами образуются многочислепш щелочные барьеры. На них, в зависимости от минералогических и ге химических особенностей отрабатываемых месторождений, осаждают многие тяжелые металлы, особо токсичные в высоких концентрациях: *V* Cd, Zn, Hg, As, Co и др.

Так как кислые воды оказывают угнетающее воздействие на многи растительные и животные организмы, а осаждающиеся на барьерах та желые металлы токсичны для организмов, целесообразно на пути потс ков шахтных вод создавать техногенные щелочные геохимические барі еры. По механизму образования они могут быть подобны рассмотренны выше техногенным барьерам у садов и виноградников. Учитывая, что *v* потока кислых шахтных вод многие особо ценные металлы могут кошда трироваться на карбонатных породах, составляющих барьер, эти пород через определенное время можно использовать как руды.

6.2.5. Кислые барьеры

Кислые геохимические барьеры формируются в тех случаях, KOI , да нейтральные и щелочные условия скачкообразно меняются н слабокислые и кислые, а также при довольно резкой смене ела бокислой обстановки на сильнокислую или даже при резкой сме не,сильнощелочных условий слабощелочными. Другими словами можно сказать, что кислые геохимические барьеры возникав: при резком уменьшении величины pH. ,.

На кислых барьерах чаще концентрируются анионогенные химические элементы, как, например, Si, Ge, Mo и др. Такие барьеры характерны как для условий биосферы, так и для гидротермальных систем. Роль кислого барьера в формировании контрастных геохимических аномалий и руд считается меньшей, чем щелочного.

Примеры кислых геохимических барьеров.

1, Довольно часто небольшие по размерам кислые барьеры образуются в почвах с внутрипочвенной щелочно-кислотной дифференциацией. Как пример, можно рассмотреть почвенный профиль колочных солодей Северного Казахстана. Величина pH в нем до глубины 30—40 см равняется 5-6, а на глубине более 40 см повышается до 8-9. Продвижение к поверхности элементов, растворимых в щелочной среде, происходит до появления кислой обстановки. Затем начинается их осаждение на кислом барьере. Н.С. Касимовым (1982) в таких условиях наблюдались концентрация Y, Se, Be, Zr и образование их ложных геохимических аномалий в верхнем почвенном горизонте.

2. На многих кислых барьерах химические элементы осаждаются из потока содовых вод. Такие воды чаще всего образуются за счет обмен-

ных реакций и выветривания натриевых силикатов. В рассматриваемых ЮДНЫХ потоках легко растворяются и часто находятся в повышенной • описнтрашш Mo, V, Se, U, Si, Y, Zr, Ag, Sc, Be, Cu, Al, Cr.

Своеобразным кислым барьером на пути содовых вод могут стать даЖг стволы деревьев в аллювиальных отложениях. На участках гниения деI" ni.cn вода подкисляется, и возникают локальные кислые микробарье|н,1, на которых осаждается $Si0_2$. При этом осаждающийся кремнезем меi.ii оматически замещает древесину.

Иногда на аналогичных барьерах (при смене сильнощелочной обстановки на слабощелочную) совместно с $Si0_2$ происходит отложение Сг и Al. Оби эти элемента в содовых водах могут мигрировать в виде $A10_2$~ | ($1r0_4^r$~ (А.И. Перельман).

3. Своеобразное сочетание кислого и восстановительного барьеров может возникнуть за счет деятельности сульфатредуцирующих бактерий на иодонефтяном контакте. Поступающий в воду углекислый газ способствует понижению величины pH и формированию кислого барьера. Мри этом в результате осаждения SiO_z происходит окремнение пород (ча.|ц известняков); может происходить также концентрация Mo и U.

4. На кислых барьерах при переходе от резкощелочной обстановки • слабощелочной и нейтральной, по мнению ряда исследователей (Корцошский Д.С., Барсуков В.Л., Лаверов Н.П. и др.), возможны промышленные концентрации из гидротерм Sn, Zr, Th, Be, Ta, Nb, Li, W.

6.2.6. Испарительные барьеры

Испарительные геохимические барьеры представляют собой участки, на которых увеличение концентрации химических элементов происходит в результате процессов испарения. Наиболее распространены они в регионах с засушливым климатом (пустынях, сухих степях и саваннах), но встречаются и в черноземных степях и даже лесостепях. В сухие периоды их временное появление возможно даже в тайге и тундре. Однако в этом случае в дождливый период идет промывание почв и аномальные концентрации химических элементов на испарительных барьерах могут исчезнуть.

Испарительные геохимические барьеры могут образовываться в различных окислительно-восстановительных условиях. Если в почве имеется глеевый горизонт, происходит глеевое засоление. При наличии черного, гидротроилитового ($FeS \cdot nH_20$) горизонта, характеризующегося также сероводородным запахом, можно говорить о восстановительном сероводородном засолении. Но гораздо чаще встречаются испарительные барьеры, сформировавшиеся (и формирующиеся) в условиях кислородной окислительной обстановки.

В результате проведения специальных ландшафтно-геохими ческих исследований в Казахстане (В.П. Иванчиков, Н.С. Каем мов, А. И. Перельман) была выявлена вертикальная зональность и охимических барьеров. В сероводородных солончаках металл! концентрируются не у дневной поверхности, а на некоторой глу бине в гидротроилитовом горизонте. В условиях жаркого сухого климата, при относительно низком уровне грунтовых вод по вер тикали возможно формирование двух испарительных барьеров. Верх ний барьер образуется, как правило, на поверхности, нижний - непосредственно над уровнем грунтовых вод. Его образование связывается с началом испарения вод.

Если грунтовые воды располагаются достаточно глубоко и их уровень не подвержен большим колебаниям, возникает своеобраз ная солевая зональность (В.А. Ковда). Наиболее труднораствори мые соли концентрируются в нижних частях барьера, а легкора створимые — в верхних. В результате образуются следующие го ризонты испарительного барьера (снизу вверх): 1) карбонатный; 2) сульфатный, гипсовый; 3) хлоридно-сульфатный. На первом от лагаются труднорастворимые карбонаты, на втором — вместе с гипсом осаждаются Sr и Mo; на третьем — Mo, Zn, Cu, Pb, Ba, Sr. При близком к поверхности залегании грунтовых вод воз можно совмещение всех трех горизонтов.

Большой хозяйственный ущерб наносится в результате обра зования испарительных барьеров на сельскохозяйственных угодь ях. По имеющимся данным к настоящему времени из-за засоле ния полностью потеряно для сельского хозяйства около 20—25 млн га плодородных земель. На десятках миллионов гектаров в резуль тате засоления значительно понижены урожаи.

Особые бедствия связаны с содовым засолением, которое переходит в ранг мировых проблем. Это связано с тем, что сода (Na_2C0_3 и $NaHC0_3$), концентрирующаяся на так называемых содовых испарительных барьерах, вызывает многочисленные из менения в структуре и составе минеральной и органической ча стей почв. Величина pH может достигать значения 11. Возника ющие при этом условия приближаются к абиотическим.

Примеры испарительных геохимических барьеров.

1. Наиболее простым и очень распространенным примером образо вания испарительного геохимического барьера может быть засоление почв в результате поднятия грунтовых вод выше уровня их капиллярно го подъема на поверхность (рис. 6.12). При поднявшемся уровне грунто вых вод часть их вместе с растворенными в них солями по капиллярам

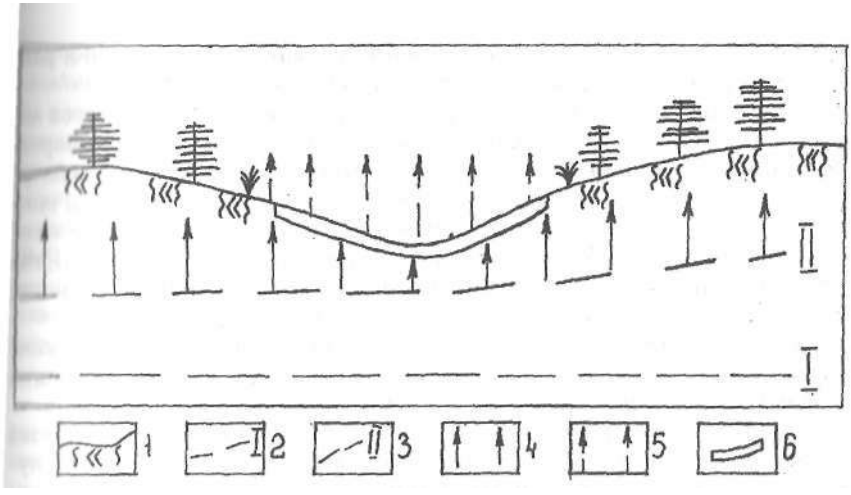


Рис. 6.12.Формирование испарительного геохимического барьера в результате подъема уровня грунтовых вод (по В.А. Алексеенко):
I — почвы; 2 — первоначальный уровень грунтовых вод; 3 — уровень грунтовых вод, при котором началось засоление; 4 — высота капиллярного подъема вод; 5 — атмосферное испарение воды с поверхности; 6 — зона испарительного геохимического барьера

достигает поверхности почв. С поверхности идет атмосферное испарение ЙОД, а растворенные соли накапливаются в почвах. Так происходит формирование испарительного геохимического барьера. Чем выше концен- i рация растворимых в воде солей, тем более мощной будет зона барьера и быстрее произойдет засоление почв.

Глубина, с которой возможно капиллярное поднятие вод к поверхности, а следовательно, и засоление почв, получила название *критического уровня залегания грунтовых вод* (Б.Б. Полынов). В.А.Ковда на основании обработки большого статистического материала установил приближенную математическую зависимость критической глубины уровня залегания грунтовых вод от среднегодовой температуры. От нее зависят продолжительность и интенсивность формирования испарительного барьера. Установленная зависимость имеет вид:

$$У = 170 + 8t \pm 15,$$

где У — критический уровень залегания грунтовых вод, см; t — число, соответствующее среднегодовой температуре, °С. Обычно в засушливых районах критический уровень колеблется от 2 до 3 см.

Поднятие уровня грунтовых вод может быть как природным, так и антропогенным. В последнем случае сформировавшиеся барьеры относятся к техногенным. Чаще всего техногенные испарительные барьеры образуются в результате чрезмерного орошения почв, вызывающего подъем уровня грунтовых вод выше критического. Техногенный подъем уров-

ня вод может быть связан с созданием водохранилищ, особенно в равнинных регионах, а также со сбросами сточных вод.

Еще одной природной разновидностью рассматриваемых барьеров является засоление почв под влиянием солевого состава осадочных пород. Так, толщи осадочных пород, развитых в пустынях Средней Азии, содержат довольно много солей, особенно гипса ($CaS0_4 \cdot 2H_20$). Подъем и концентрация солей на испарительных барьерах привели к широкому засолению почв региона. В отличие от него, в пустыне Гоби (Монголия), где более развиты изверженные и метаморфические породы, интенсивность соленакопления невелика.

Орошение в Краснодарском крае участков с развитием глин майкопского возраста (нижний олигоцен — средний миоцен), содержащих в своем составе соду, приводит к развитию содового засоления почв.

2. Медленная, способствующая постепенному испарению, разгрузка глубинных вод по разломам приводит к образованию линейно-вытянутых испарительных барьеров. Их протяженность в пределах Джунгарского Алатау и в Центральном Казахстане иногда измеряется километрами при ширине в несколько десятков метров. В рудных районах на таких барьерах происходит концентрация наиболее распространенных металлов, обычно Pb, Zn, Си. Их высокое содержание переходит в растения. По результатам биогеохимического опробования над рассматриваемыми барьерами выделяют линейные биогеохимические аномалии даже при мощности перекрывающих рыхлых образований до 20-80 м (рис. 6.13). Связь таких испарительных барьеров с разломами даже при аномально больших мощностях перекрывающих рыхлых образований (в отдельных случаях более 100 м) доказана специально проводимым бурением довольно многочисленных скважин.

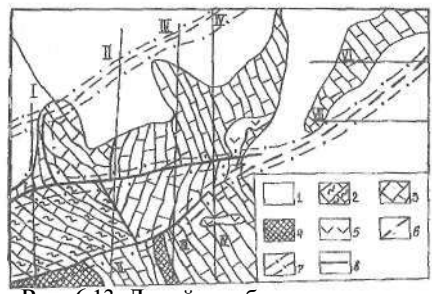


Рис. 6.13. Линейные биогеохимические аномалии над разрывными нарушениями на участке Кусак (Джунгарский Алатау):

1 — рыхлые отложения мощностью 20 м; 2 — известково-глинистые сланцы; 3 - известняки; 4 — доломиты; 5 — диоритовые порфириты; 6 — разрывные нарушения; 7 - биогеохимические свинцовые и цинковые аномалии; 8 — профиль отбора пробы и его номер

Особо следует отметить, что образующиеся на поверхности Земли испарительные барьеры даже при такой большой мощности рыхлых образований представляют практически вертикальную проекцию разрывных нарушений. Следовательно, миграция растворов, содержащих металлы, происходила по вертикали.

[3] Своеобразные техногенные испарительные барьеры сформировались на рисовых оросительных системах Северного Кавказа, Сарпинской низменности, Казахстана. Причиной вторичного [го] засоления почв в этих случаях является восходящее движение

пнн-ализованных вод. Оно обу-
1 шливается разностью напоров во-
и,| II каналах, в высоких и низких ри-
• • -ni.ix чеках. Наиболее интенсивно
нн'оление происходит в зоне, распо-
цоженной вдоль оросительных во-
Юканалов, а также на низких чеках
і II '!>. Вальков). При этом в почвах со-
ним к)вых комплексов часто идет со-
ll июе засоление в количестве, превы-
шающем порог токсичности средтустойчивых культур.

4. Образование испарительных і еохимических барьеров может быть пшзано с влиянием глубинных напорных вод, участвующих в питании Фунтовых вод. С таким явлением исследователи встретились в Голодной степи и Араратской долине (Армения) (В.А. Ковда, А.И. Перельман). В последнем случае содовые напорные воды способствуют формированию на испарительных барьерах содовых солончаков.

5. Испарительные техногенные барьеры с чрезвычайно опасными концентрациями многих тяжелых металлов образуются около промышленных отстойников, в которые сбрасывают жидкие отходы предприятия химической промышленности. К сожалению, большинство отстойников расположено в поймах рек. На таких участках в периоды паводков и дождей происходит растворение солей на барьерах и вынос токсичных веществ в реки.

Один из подобных отстойников сделан в старице реки Северский Донец (рис. 6.14, 6.15). Уровенырунтовых вод, связанных со старицей (озеро Атаманское), высокий, что и привело к образованию испарительного геохимического барьера. Постоянная же подпитка из старицы,

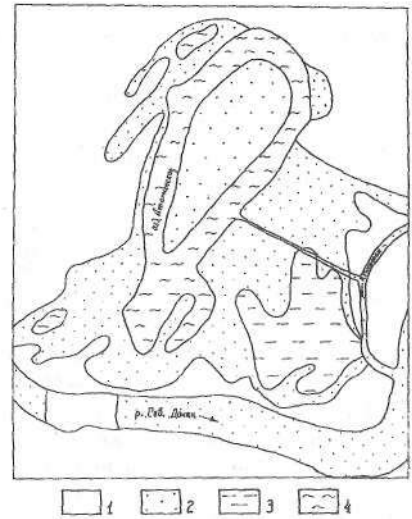


Рис. 6.14. Распределение цинка в почвах и донных отложениях. Концентрация цинка, $n \cdot 10^{-1}$%: 1 — от 8 до 20; 2 — от 20 до 100; 3 — от 100 до 1000

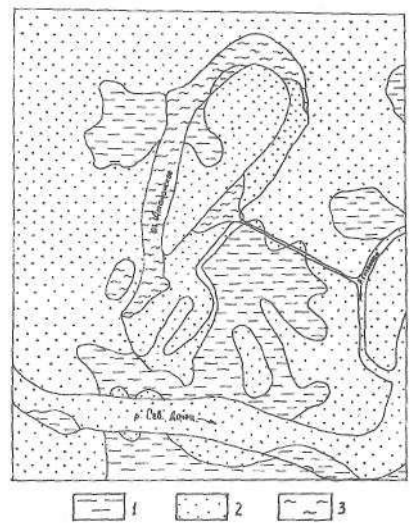


Рис. 6.15. Распределение свинца в почвах и донных отложениях. Концентрация свинца, $n \cdot 10^{-1}$%: 1 — от 1 до 3; 2 — от 3 до 10; 3 — более 10

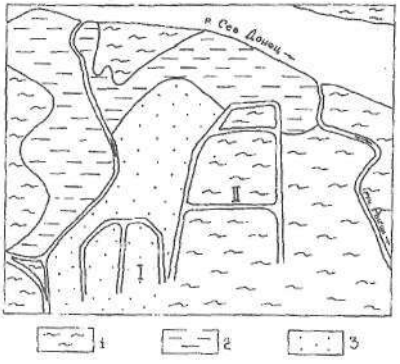


Рис. 6.16. Распределение цинка в почвах и донных отложениях в районе отстойника шлаконакопителя (I) и золонакопителя (II).
Концентрация цинка, $n \cdot 10^{-3}$%: 1 — от 8 до 20; 2 — от 20 до 100; 3 — от 100 до 1000

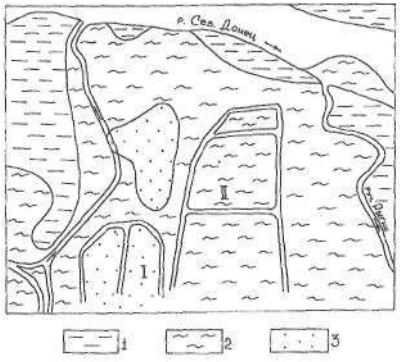


Рис. 6.17. Распределение свинца в почвах и донных отложениях в районе отстойника шлаконакопителя (I) и золонакопителя (II).
Концентрация свинца, $n \cdot 10^{-3}$%: 1 — от 1 до 3; 2 — от 3 до 10; 3 — более 10

ставшей отстойником, способствоип ла повышению концентрации в грунтовых водах целого ряда тяжелых металлов, в том числе свинци и цинка. Отложение металлов в поч вах на испарительном барьере привело к образованию (в направлении I продвижения грунтовых вод от озера-отстойника к реке) крупных ано-1 малий металлов. Так, размер контрастной аномалии Zn превышает 1,5 км^2, а РЬ - 0 , 5 км^2.

Особо следует отметить, что со- I держания металлов в почвах этих техногенных аномалий вполне сопоставимы с промышленными содер- I жаниями в рудах (см. рис. 6.14, 6.15), хотя в периоды таяния снега и половодья почвы ежегодно подвергаются интенсивнейшему природному промыванию. Столь высокое содержание металлов в почвах способствовало их резкоповышенному накоплению в растениях, включая различные сельскохозяйственные культуры. Это в свою очередь вызвало резкое увеличение заболеваемости населения в районе.

В случаях, когда для накопления токсичных отходов производства создаются отстойники-накопители, но недостаточная степень их изоляции допускает (хотя и отдельные) прорывы загрязняющих отходов в фунтовые воды, размеры аномалий на испарительных барьерах уменьшаются по сравнению с описанными ранее. Однако и в этих случаях (рис. 6.16, 6.17) их площадь остается довольно большой. Аномалия Zn на испарительном барьере около такого отстойника в летний период достигала 0,35 км^2, а РЬ — 0,05 км^2. Содержание металлов в верхнем почвенном горизонте оставалось по-прежнему очень высоким (см. рис. 6.16, 6.17).

6. К числу распространенных испарительных барьеров относятся и формирующиеся за счет непосредственного испарения растворов, на-

IHIIIIXCЯ на поверхности. Как правило, для функционирования таких рои необходимо в первую очередь наличие водоупоров, препятст- i x более быстрому, чем испарение, просачиванию. В природных ус- такими водоупорами обычно являются глины и сланцы. При со- пи пи техногенных барьеров для формирования водоупоров часто так- И1 пользуются сланцы и глины (для этих целей их обычно дополни- ! и.по утрамбовывают), а также асфальт, цемент и различные синтети- [Низкие материалы.

<1>ормирование (и действие) описываемых барьеров можно рассмат- ,нищ, при испарении растворов и отложении солей в отшнурованных ла- морей, а в миниатюре — при высыхании луж на плотных глинах. II ре 1\/льтате подобного испарения происходит образование так называ- • MUX соляных озер. В периоды дождей и таяния снегов они представля- ли гобой насыщенные растворы, а в засушливые периоды — залежи со- II й и бессточных котловинах. Таких озер много в Северо-Восточном Ка- «нхстане, в Алкамергенской зоне.

Вероятно, к числу первых техногенных геохимических барьеров сле- г отнести и участки, на которых испаряли морские воды с целью по- учения солей. Практически без изменений эти барьеры действуют в при- брежных районах с жарким, засушливым климатом и сейчас.

Первые опыты по определению порядка кристаллизации солей из мор- i кой воды были поставлены итальянским химиком Узилио. Упрощенную i чему осаждения солей при естественном «солнечном» испарении мор- i ких вод можно представить по Н.С. Курнакову в следующем виде: 1) гипс — i $aS0_4 \cdot 2H_20$; 2) галит — NaCl; 3) эпсомит — $MgS0_4 \cdot 7H_20$; 4) сульфаты калия и магния — $MgS0_4 \cdot K_2S0_4 \cdot 6H_20$; 5) карналлит — $KC1 \cdot MgCI_2 \cdot 6H_20$; 6) бишофит - $MgCl_2 \cdot 6H_20$.

6.2.7. Сорбционные барьеры

Сорбционные геохимические барьеры формируются на участках встречи водного или газового потока с сорбентами. Основные особенности поведения сорбентов рассмотрены в разд. 3.6. До последнего времени сорбционные барьеры выделялись только при миграции в водных потоках. Изучение миграции поллютантов техногенного происхождения показало большую роль сорбционных барьеров в концентрации в ландшафтах загрязняющих веществ при аэрозольном переносе (В.А. Алексеенко, 1994). Правда, в большинстве подобных случаев мы имеем дело с комплексными (обычно сорбционными и механическими) барьерами.

Примеры **сорбционных геохимических барьеров.**

1. Наиболее часто встречающимися сорбционными барьерами являются участки, на которых водные растворы, как правило, с концентрацией ионов, далеко не достигающей насыщения (в этих случаях не идет

осаждение их собственных минералов), встречаются с природными сорбентами. Среди последних резко преобладают глины, гумусовые вещества и гидроксиды Fe и Мп.

Рассматриваемые барьеры характерны для краевых зон болот (сорбентом является торф), гумусовых и глинистых горизонтов почв, кор выветривания. Гумус и глинистые частицы в основном определяют содержание в почвах сорбированных элементов. А оно (содержание) часто бывает чрезвычайно высоким. Так, в каолините концентрация сорбированной меди может доходить до 0,8% (см. 3.6.3).

2. Сорбционные процессы, происходящие в Океане и речных водах (по данным А.П. Лисицина, они относятся к числу основных процессов, очищающих воды от многих токсичных элементов), также можно рассматривать как формирование громадного сорбционного макробарьера.

3. Сорбционные барьеры таких же громадных размеров, как рассматриваемые выше в Океане, формируются и в атмосфере. Многочисленные аэрозоли природного и техногенного происхождения сорбируют молекулы определенных газов. В результате миграция этих газов существенно ограничивается, так как контролируется перемещением сорбировавших их аэрозолей и временем нахождения последних в атмосфере. Таким образом, идет формирование подвижного сорбционного барьера для целого ряда газов.

В свою очередь сорбированные молекулы газов создают вокруг аэрозолей своеобразную воздушную адсорбционную оболочку. Это позволяет аэрозолям (включая тонкую пыль), адсорбировавшим газы, находиться в воздухе не 5 суток, как обычно, а 40 суток (Б.П.Абрамовский и др., 1976; C.W.Fransis, 1970). Увеличение срока нахождения в атмосфере пыли способствует увеличению дальности ее переноса от места поступления до места концентрации на механических барьерах. В итоге могут появиться геохимические аномалии (и в первую очередь техногенные), оторванные от источников загрязнения (В.А. Алексеенко, 1994).

4. В атмосфере одновременно с процессами сорбции происходит сталкивание и соединение разноименно заряженных частиц. Эти процессы также приводят к образованию в атмосфере сорбционных макробарьеров. Однако в отличие от барьеров, связанных с сорбцией газов, дальность миграции частиц в атмосфере в этом случае не увеличивается, а резко уменьшается, так как происходит укрупнение частиц и увеличение их массы. Расчеты показывают, что скорость осаждения колло идных частиц в воздухе в 600 раз больше, чем в воде. Следовательно, укрупнение аэрозолей приводит к их более локальному осаждению в ландшафтах суши. При этом происходит сближение (пространственное и генетическое) сорбционного и механического барьеров.

Заряд частиц, попавших в атмосферу, может быть изначальным или приобретенным. Обычно (см. 3.6.3) основные вещества (CaO, ZnO, MgO и т.д.) заряжены отрицательно, а угольная пыль (дым) и кислые вещества (SiO_z, P_2O_s и т.д.) — положительно. Чем больше разноименно заря-

женных частиц будет находиться в определенной части атмосферы (над городом или даже над отдельными предприятиями), тем чаще они сталкиваются, соединяются и оседают.

Таким образом, чем больше разнообразных предприятий — источников разнозаряженных аэрозолей — находится рядом, тем меньше становится дальность переноса аэрозолей. Это, с одной стороны, уменьшает глобальные (с точки зрения пространственного распространения) последствия аэрозольного переноса техногенной природы, так как уменьшается дальность переноса.

С другой стороны, на небольшой площади территории, обычно с максимальной плотностью населения, оседает максимум загрязняющих веществ. Их относительное рассеяние становится незначительным, но токсичное воздействие резко возрастает. Это, а также общее большое количество промышленных центров с разнообразными предприятиями позволяет относить последствия формирования рассматриваемого техногенного сорбционного барьера к глобальным техногенным явлениям в биосфере.

6.2.8. Термодинамические геохимические барьеры

Формирование термодинамических барьеров происходит при довольно резком изменении давления и температуры в конкретных геохимических системах. К настоящему времени в биосфере природные термодинамические барьеры преобладают над техногенными. Последние, как правило, возникают в процессе выполнения отдельных технологических операций и пока существенного влияния на общее состояние биосферы не оказывают.

Примеры термодинамических геохимических барьеров.

1. Наиболее иллюстративным является образование из растворов, продвигающихся по трещинам в горных породах, травертина (карбонат кальция). Процесс проходит при быстром падении давления, связанном с раскрытием трещин или приближением (выходом) на поверхность подземных гидрокарбонатно-кальциевых вод. Реакция осаждения кальцита может быть представлена следующей схемой:

$$\underset{\text{раствор}}{Ca^{2+} + 2HCO_3} = \underset{\text{минерал}}{CaCO_3} + H_2O + \underset{\text{газ}}{CO_2}.$$

Наибольшую известность получили травертины, образовавшиеся на термодинамических барьерах крупнейших курортов, связанных с минеральными водами (районы Эльбруса и Казбека, горы Горячей в Пятигорске, Карловых Вар).

Если формирование описываемых барьеров происходило в рудных районах, то продвигающиеся растворы обогащались рудными элементами, являющимися индикаторами оруднения в этих районах. При отложении на поверхности травертина вместе с ним выпадали из растворов и соот-

ветствующие металлы. Так, травертины Коксу-Текелийского полиметаллического района обогащены РЬ и Zn. Современное отложение кальцита на термодинамическом барьере хорошо видно в районе Пятигорска.

2. Действие термодинамического барьера, связанное с остыванием термальных минерализованных вод, разгружающихся во впадине Красного моря, показано на рис. 6.6. Предполагается, что в результате падения давления и остывания происходят распад комплексных соединений и осаждение Pb, Zn, Si, Ca.

На барьерах, подобных описанному, но развивающихся на суше, происходит осаждение из гидротермальных растворов целого ряда металлов. Если концентрация достигает промышленной величины, образуются так называемые низкотемпературные (100-200 °С) месторождения полезных ископаемых. Детальное изучение газов жидких включений в минералах позволило Г.Б.Наумову считать, что в растворах было много $C0_2$. В результате быстрого падения давления содержание углекислого газа уменьшалось, комплексы разрушались, шло отложение кальцита и рудных минералов.

6.3. Механические барьеры

6.3.1. Общие сведения

Механические барьеры формируются в условиях резкого уменьшения интенсивности механической миграции веществ. Классификация этих барьеров пока еще не разработана. Так как сами барьеры всегда представляют механическую преграду для веществ, перемещающихся в миграционном потоке, то их удобно разделять в зависимости от форм нахождения мигрирующих веществ и элементов потока, в котором эти вещества перемещаются (табл. 6.1).

Таблица 6.1

Классификация механических барьеров

Характеристика миграционного потока (среды миграции)	Характеристика веществ, перемещающихся в миграционном потоке				
	Минералы, изоморфные примеси в минералах	Растворенные газовые смеси и пары	Коллоиды и сорбированные ими вещества	Животные и растительные организмы	Техногенные соединения
Водные растворы (I)	I_{1+++}	–	I_{3+}	I_{4+}	I_{5++}
Газовые смеси (К)	K_{1++}	K_{2++}	K_{3+++}	K_{4+}	K_{5++}

Условные обозначения: «–» – барьер практически не получил развития; «+» – роль барьера незначительна; «++» – барьер получил широкое развитие в биосфере; «+++» – один из основных механических барьеров.

6.3.2. Барьеры для веществ, перемещающихся в водных потоках

На механических барьерах осаждаются переносимые водными потоками минералы с находящимися в них изоморфными примесями (барьер I,), коллоиды с сорбированными ими веществами (барьер 1_3), живые и отмершие животные и растительные организмы (1_4), техногенные соединения, не имеющие природных аналогов (1_5).

Осаждение минералов происходит практически на всем протяжении водных потоков, постоянных и временных, которые могут быть на суше (реки, ручьи и т.д.) и в Океане (течения, волноприбойная деятельность). На природных барьерах идет дифференциация в зависимости от массы перемещаемых обломков. Если же рассматривать обломки одного размера, то дифференциация будет происходить от удельного веса. При этом большое влияние могут оказывать ландшафтно-геохимические особенности места расположения механического барьера.

За счет дифференциации на природных барьерах I, могут формироваться высокие концентрации отдельных минералов. В случае их промышленных запасов образуются россыпные месторождения самородных Аи и Pt, алмазов, гранатов, цирконов и т.д. Иногда промышленную ценность представляют изоморфные примеси, содержащиеся в основных минералах россыпей (примером может служить Hf, извлекаемый из циркона). Следует отметить, что большая часть Аи добывается у нас в стране из россыпных месторождений.

Протяженные россыпи образуются в прибрежных зонах морей благодаря гидродинамической деятельности морских вод. Многие из таких россыпей имеют большое промышленное значение. Размеры барьеров различные (от микро- до макро-).

Как правило, природные концентрации химических элементов на механических барьерах I, не представляют опасности для живых организмов, так как находятся в труднорастворимых минералах. Техногенные барьеры I, в основном связаны с гидротехническими сооружениями. На континентах это чаще всего плотины, перегораживающие реки. Поскольку они преграждают путь как мелким, так и крупным обломкам, то дифференциация веществ на этих техногенных барьерах гораздо меньше, чем на природных. Промышленных скоплений каких-либо химических элементов на техногенных барьерах I, пока не выявлено. При большой ско-

рости отложения обломочного материала происходит быстрое заполнение водохранилищ терригенным материалом, поэтому теряет смысл построение плотин.

Строительство плотин в нижних частях рек и возникновение на них механических барьеров препятствуют выносу терригенного материала в моря. Это в свою очередь может приводить к разрушению пляжей. Так как практически все крупные реки северо-западной части бассейна Черного моря перегорожены плотинами, для предотвращения разрыва пляжей в прибрежных ландшафтах этой части моря создаются (с учетом морских течений) специальные железобетонные сооружения, которые не только предотвращают размыв, но и способствуют восстановлению пляжей. Таким образом, создаются новые механические техногенные барьеры I,.

Осаждение коллоидов из водных потоков на природных механических барьерах 1_3 не получило широкого распространения, хотя, по мнению ряда исследователей, именно таким путем сформировались мощные толщи лёсса не только в поймах рек, но и в предгорьях. На техногенных барьерах, связанных с плотинами, происходит довольно интенсивное отложение глинистых коллоидных частиц. Особенно широкое развитие этот процесс получил в водохранилищах, созданных в равнинных условиях.

Концентрация животных и растительных организмов, переносимых водными потоками, на механических барьерах 1_4 относительно невелика. Гораздо больше на механических барьерах отлагается отмерших организмов. Довольно значительное распространение это явление получило в процессе формирования ряда морских пляжей.

Механические барьеры 1_5 начали развиваться только в последнее время, когда значительная масса твердых техногенных соединений стала попадать в водные потоки. Концентрация таких соединений, не имеющих природных аналогов, происходит как на техногенных, так и на природных механических барьерах. Поскольку размеры и масса отдельных обломков и изделий колеблются в очень больших пределах (от обломков различных механизмов и автомобильных покрышек до пробок от бутылок и синтетических кульков), они осаждаются на различных по значимости барьерах практически по всей протяженности загрязненных постоянных и временных потоков, а также на пляжах. К сожалению, масса веществ, накапливающихся на механических барьерах 1_5, возрастает, и проблема их ликвидации вскоре может стать одной из основных при решении многих экологических задач.

6.3.3. Барьеры для веществ, перемещающихся в воздушных потоках

Из воздушных потоков на механических барьерах осаждаются обломки минералов (барьер K,), растворенные газовые смеси и пары (барьер K_2), твердые коллоидные частицы (K_3), животные и растительные организмы (K_4), техногенные соединения (барьер K_s). Как правило, эти барьеры относятся к природным.

Осаждение обломков минералов (песка), переносимых в воздушных потоках, часто происходит на мезобарьерах. Одним из примеров такого, но перемещающегося барьера являются дюны. Скорость их передвижения в разных районах обычно колеблется от 18 до 35 м в год (А.А. Иностранцев, 1889). Обломки минералов переносятся и в агроландшафтах во время сильных пыльных бурь. В этом случае (при достаточном уменьшении силы ветра) началом формирующегося механического барьера могут становиться деревья, кусты и даже телеграфные столбы.

При переносе в воздушных потоках паров воды барьерами обычно служат горные системы. Классическим примером является район города Рио-де-Жанейро (Бразилия), зажатый между горами и Атлантическим океаном. Выпадение на барьере из облаков осадков в виде дождя приводит к экологическим бедствиям. Катастрофические наводнения в этом районе, связанные с продолжительными ливнями, происходят довольно часто. Последние из них были в 1966 и 1988 гг. Подобных барьеров на земном шаре довольно много, однако из-за высокой плотности населения (в районе проживает около 10 млн человек) особо выделяется именно этот участок. Во время последнего ливня (1988 г.) здесь погибло около 300 человек, а общий экономический ущерб оценен в 935 млн долл. США*.

Широко распространены в природе механические барьеры, на которых отлагаются коллоидные частицы, перемещающиеся в воздушных потоках (K_3). Значительное внимание этому процессу уделено в работах В.В. Добровольского и А.П. Лисицина.

Довольно часто на таком барьере откладываются и мелкие обломки минералов (совмещаются механические барьеры K, и K_3), но основную часть обычно составляют коллоиды (пыль). О громадном значении этого явления можно судить уже по тому, что после пыльных бурь в 1969 г. на Дону и Кубани высота валов пы-

* Бюллетень «Остановить катастрофы». 1994. № 5.

ли, отложившейся на механических барьерах в Краснодарском крае, иногда доходила до 5 м. Так как началом формирования рассматриваемых барьеров часто являются деревья и кусты, трудно преувеличить положительную роль (особенно при развитии земледелия на больших площадях) лесополос. А им в последнее время уделяется все меньше внимания.

Концентрация на механических барьерах K_4 относительно крупных организмов происходит совместно с мелкими обломками минералов (барьер $K_г$), а споры и пыльца растений (так же, как и бактерии) часто прекращают миграцию вместе с неорганическими коллоидными частицами. По массе количество веществ, осаждающихся на барьерах K_4, чрезвычайно мало. Однако их роль в развитии биосферы значительна.

Осаждение на механических барьерах K_5 техногенных соединений, мигрирующих в воздушных потоках, все возрастает. Как правило, этот процесс приводит к ухудшению состояния среды, окружающей человека. Подробнее миграция и концентрация техногенных соединений рассматриваются в гл. 8.

6.4. Биогеохимические барьеры

6.4.1. Общие сведения

На биогеохимических барьерах происходит резкое уменьшение интенсивности миграции химических элементов под воздействием организмов. Это может быть относительно кратковременное накопление химических элементов растительными и животными организмами. При этом после их отмирания (а жизнь отдельных организмов может продолжаться от часов до столетий) сконцентрировавшиеся элементы практически сразу вовлекаются в процесс миграции и в первую очередь в биологический круговорот.

Возможны и захоронения отмерших организмов. Тогда накопившиеся в них элементы могут быть связанными сотни миллионов лет. В таких случаях они находятся в залежах угля, торфе, органическом веществе, рассеянном в осадочных породах.

При изучении биогеохимических барьеров основное внимание уделяется общим закономерностям процесса накопления химических элементов организмами. Как уже указывалось (см. 3.8.6), биомасса растений примерно в 1000 раз больше зоомассы. Соответственно большая масса веществ накапливается на биогеохимиче-

вком барьере, представленном растениями. Однако процесс накопления химических элементов животными организмами, а особенно его последствия часто имеют особо важное значение для л гони. К сожалению, особенности таких биогеохимических барьеров к настоящему времени изучены в гораздо меньшей мере.

Впервые проблема массового изучения состава живых организмов, а следовательно, и процесса накопления ими химических элементов была поднята В.И. Вернадским. В 1921-1922 гг. он писал: «Каков состав живого вещества? Знаем ли мы его и можем ли говорить о нем так же, как о составе, например, минералов или горных пород?» Положительного ответа на эти вопросы до сих пор не дано, а значимость проблемы за последние десятилетия резко увеличилась. Без изучения концентраций загрязняющих веществ в организмах практически невозможно оценивать и последствия антропогенной деятельности.

Как уже указывалось, общая масса сухого, обезвоженного вещества по ориентировочным подсчетам ряда исследователей составляет $2400 \cdot 10^9$ т. Из них $3{,}3 \cdot 10^9$ т приходится на биомассу Океана. Распределение наземной растительной биомассы в различных ландшафтно-геохимических условиях суши далеко не однородно, что хорошо видно из табл. 6.2, составленной по данным В.А. Ковды.

Рассматривая эту таблицу, следует помнить, что одинаковую биомасЪу могут иметь самые различные растительные ассоциации, но при этом химический состав отдельных видов растений и даже их различных частей может очень сильно отличаться. Средний химический состав живого вещества приведен в табл. 4.11.

К настоящему времени в живых организмах уже выявлены (т.е. находятся в концентрациях, превышающих чувствительность современных методов анализов) почти все химические элементы периодической системы Д.И. Менделеева. И хотя их содержание в различных организмах изменяется в широких пределах, можно в целом считать, что на участках биосферы с большей биомассой на

Таблица 6.2

Суммарная растительная биомасса суши

Краткая характеристика ландшафтных условий	Величина, т/га
Тропические и субтропические пустыни	2,5
Суббореальные и полярные пустыни, засоленные почвы	2,5–5,0
Тундра	12,5–25
Лесотундра	до 50
Степи, саванны, пампы, мангровые заросли	12,5–150
Тайга	до 400
Лиственные леса средней полосы	400–500
Тропические леса	500–1700

биогеохимических барьерах сконцентрирована основная масса практически всех химических элементов.

Данные о распределении биомассы (см. табл. 6.2) дают возможность получить представление только об общем количестве веществ, сконцентрированных в настоящее время на непосредственно действующих (еще не захороненных) биогеохимических барьерах. Данные о ежегодной продукции живого вещества в различных ландшафтно-геохимических условиях суши позволяют говорить об общей скорости накопления химических элементов на всех биогеохимических барьерах в определенных ландшафтно-геохимических зонах континентов (табл. 6.3).

Таблица 6.3

Ежегодная концентрация живого вещества (продукция) на биогеохимических барьерах в различных ландшафтно-геохимических условиях (по данным П. Дювиньо и Р. Дажо)

Ландшафты, в пределах которых дается общая характеристика биогеохимических барьеров	Площадь, % территории суши	Ежегодная продукция живого вещества, т/га
Леса	28	5
Сельскохозяйственные угодья без пастбищ	10	4
Степи, луга и пастбища	17	1,5
Биогенные участки пустынь, техногенные – городов и дорог	36,5	0,2
Абиогенные ледниковые (Антарктика)	8,5	0

Исходя из представленных данных наибольшая масса веществ концентрируется за год на природных биогеохимических барьерах в ландшафтах лесов. С этим явлением может быть связано большое очищающее действие на грунтовые воды (извлечение растворенных веществ) лесных ландшафтов (Г.Б. Паулюкявичюс).

Ландшафты с сельскохозяйственными культурами могут рассматриваться как зоны развития техногенных биогеохимических барьеров. Одной из их отличительных черт является большая (по сравнению с природными барьерами) выборочность концентрации определенных элементов. Она объясняется двумя основными причинами: развитием монокультур и подбором растений (выращиваемых монокультур), концентрирующих преимущественно определенные вещества. Следует также отметить, что общее количество веществ, концентрирующихся на техногенных биогеохимических барьерах, весьма существенно изменяется в зависимости от культивируемых растений (табл. 6.4). А каж-

Таблица 6.4

Средняя годовая концентрация вещества (сухого, с учетом всех частей растения) на различных техногенных биогеохимических барьерах (по данным E. Odum, Rees, Lieth, R.Dajoz)

Культура	Средняя годовая продукция, т/га		Страна
	мировая	в странах с высокой производительностью	
Пшеница	3,44	12,5	Нидерланды
Овес	3,59	9,26	Дания
Кукуруза	4,12	7,9	Канада
Рис	4,97	14,4	Япония, Италия
Сено	4,2	9,4	Калифорния
Картофель	3,85	8,45	Нидерланды
Сахарная свекла	7,65	14,7	Нидерланды
Масличная пальма	–	19,5	Нигерия
Сахарный тростник	17,25	67	Гавайские острова
Культуры водорослей	–	45,3	Япония

дая из рассматриваемых культур содержит ряд веществ в существенно повышенных количествах (поэтому данное растение и культивируется).

Концентрация веществ на биогеохимических барьерах в Океане еще более неравномерная. В прибрежных районах и на участках поднятия глубинных вод, обогащенных питательными веществами, она гораздо выше, чем в водах (удаленных от суши) экваториального пояса. Так, в Северном море ежегодная продуктивность равна примерно 8 т/га, в районе Калифорнии —13 т/га, а в удалении от континентов она уменьшается в десятки, а иногда и сотни раз.

Выделяемую отдельно зоомассу можно рассматривать как своеобразный (подвижный) барьер. Влияние этого геохимического барьера на общую миграцию элементов в биосфере и на их биологический круговорот гораздо меньше, чем барьеров, связанных с растениями. Однако на жизнь людей животные организмы оказывают чрезвычайно большое влияние, поскольку относятся к числу основных продуктов питания.

Установлено, что 90—95% наземной зоомассы приходится на долю беспозвоночных организмов. Отношение зоомассы травоядных к зоомассе плотоядных всегда близко к 100, а наибольшая продуктивность травоядных отмечается в ландшафтах травянистых формаций тропического пояса.

Таблица 6.5

Общая зоомасса птиц в различных природных ландшафтах (по данным разных авторов)

Ландшафты	Зоомасса, кг/км²
Прибрежные вересковые (Центральная Европа)	0,4 – 0,6
Хвойные леса (Северная Европа)	20 – 24
Саванна (Африка)	20 – 50
Смешанные леса (Северная Европа)	55 – 60
Лиственные леса (Центральная Европа)	110 – 120

Общая зоомасса диких травоядных млекопитающих обычно находится в пределах от 25 до 0,005 т/км^2. Максимальная величина зоомассы отмечена в ландшафтах национального парка в Конго, минимальная — в пустынях Сахары. В Казахстане и Прикаспийских степях России с сайгой она составляет около 0,35 т/км^2.

Зоомасса птиц в различных природных ландшафтах колеблется в очень широких пределах: от 0,4 до 120 кг/км^2 (табл. 6.5). Зоомасса беспозвоночных организмов травянистого горизонта и подстилки саванны в период дождей достигает 25 т/км^2. Однако обычно в ландшафтах лугов и степей она не превышает 1 т/км^2. Зоомасса домашних животных (а это также подвижный техногенный биогеохимический барьер) на техногенных луговых ландшафтах Западной Европы достигает 125 т/км^2. В природных степных ландшафтах она, как правило, не превышает 5 т/км^2. Зоомасса домашних птиц обычно колеблется, в зависимости от их вида и ландшафтных условий, от 5 до 130 кг/км^2.

Если рассматривать животные организмы Океана, то их зоомасса также колеблется в очень широких пределах в зависимости от конкретных условий аквальных ландшафтов и времени года. Особый интерес представляют вылавливаемые рыбы и беспозвоночные. Их общая годовая масса составляет около 36 млн т, из которых порядка 30 млн т приходится на выловленную рыбу. При этом существует довольно четкая связь между общей зоомассой бентоса и количеством выловленной рыбы (табл. 6.6). Масса же бентоса с увеличением глубины быстро сокращается и с глубины 4000 м обычно не

Таблица 6.6

Ориентировочная величина массы бентоса и выловленной рыбы

Море	Масса бентоса, кг/га	Масса выловленной рыбы, кг/га
Средиземное	100	1,5
Белое	200	1,2
Балтийское	330	6,0
Баренцево	1000	4,5
Японское	1750	28,8
Азовское	3210	80,0
Северное	3460	24,5

Таблица 6.7

Элементный состав человеческого организма (с использованием данных J. Emsley и H.J. Bowen)

Химический элемент	Атомный номер	Мышечная ткань, %	Костная ткань, %	Зольная часть организма, %			Кровь, мг/л	Общее содержание в организме среднего человека массой 70 кг
				сердце	печень	мозг		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ag	47	$(0{,}009–0{,}28)\cdot10^{-4}$	$(0{,}01–0{,}44)\cdot10^{-4}$	$(8–30)\cdot10^{-6}$	$(15\cdot100)\cdot10^{-6}$	$(8–15)\cdot10^{-5}$	0,003	–
Al	13	$(0{,}7–2{,}8)\cdot10^{-4}$	$(4–27)\cdot10^{-4}$	–	–	–	0,39	61 мг
As	33	$(0{,}009–0{,}65)\cdot10^{-4}$	$(0{,}08–1{,}6)\cdot10^{-4}$	$<1\cdot10^{-2}$	$<1\cdot10^{-2}$	$<1{,}0\cdot10^{-2}$	0,0017–0,09	18 мг
Au	79	–	$0{,}016\cdot10^{-4}$	$3\cdot10^{-4}$	$3\cdot10^{-4}$	$3\cdot10^{-4}$	$(0{,}1–4{,}2)\cdot10^{-4}$	–
B	5	$(0{,}33–1)\cdot10^{-4}$	$(1{,}1–3{,}3)\cdot10^{-4}$	–	–	–	0,13	–
Ba	56	$0{,}09\cdot10^{-4}$	$(3–70)\cdot10^{-4}$	$<30\cdot10^{-3}$	$<30\cdot10^{-3}$	$<30\cdot10^{-3}$	0,068	22 мг
Be	4	$0{,}75\cdot10^{-7}$	$0{,}3\cdot10^{-6}$	$<5\cdot10^{-4}$	$<5\cdot10^{-4}$	$<5\cdot10^{-4}$	$1\cdot10^{-5}$	0,036 мг
Bi	83	$0{,}32\cdot10^{-5}$	$<0{,}2\cdot10^{-4}$	$<2\cdot10^{-4}$	$<2\cdot10^{-4}$	$<2\cdot10^{-4}$	–0,016	–
Br	35	$7{,}7\cdot10^{-4}$	$6{,}7\cdot10^{-4}$	–	–	–	4,7	260 мг
C	6	67	36					16 кг
Ca	20	0,14–0,07	17	–	–	–	60,5	1,00 кг
Cd	48	$(0{,}14–3{,}2)\cdot10^{-4}$	$1{,}8\cdot10^{-4}$	$<1\cdot10^{-3}$	$2\cdot10^{-3}$	$<1\cdot10^{-3}$	0,0052	50 мг
Ce	58	–	$2{,}7\cdot10^{-4}$	$<2\cdot10^{-2}$	$<2\cdot10^{-2}$	$<2\cdot10^{-2}$	0,002	–
Cl	17	0,20–0,52	0,09				2890	95 г
Co	27	$(0{,}028–0{,}65)\cdot10^{-4}$	$(0{,}01–0{,}04)\cdot10^{-4}$	$1\cdot10^{-4}$	$1\cdot10^{-4}$	$1\cdot10^{-4}$	0,0002–0,04	14 мг
Cr	24	$(2{,}4–8{,}4)\cdot10^{-2}$	$(0{,}1–33)\cdot10^{-4}$	$(1{,}5–5)\cdot10^{-3}$	$(1–3)\cdot10^{-3}$	$(1{,}5–3)\cdot10^{-3}$	0,006–0,11	–

Продолжение табл. 6.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cs	55	$(0,07–1,6)\cdot10^{-4}$	$(0,013–0,05)\cdot10^{-4}$				0,0038	–
Cu	29	$1\cdot10^{-3}$	$1–26\cdot10^{-4}$	$(6–10)\cdot10^{-3}$	$(6–15)\cdot10^{-3}$	$(8–15)\cdot10^{-3}$	1,01	72 мг
F	9	$0,05\cdot10^{-4}$	0,2–1,2				0,5	2,6 г
Fe	26	$1,8\cdot10^{-2}$	$(0,03–3,8)\cdot10^{-2}$	–	–	–	447	4,2 г
Ga	31	$0,14\cdot10^{-6}$	–	$1\cdot10^{-4}$	$1\cdot10^{-4}$	$1\cdot10^{-4}$	<0,08	–
Ge	32	$0,14\cdot10^{-4}$	–	$<2\cdot10^{-4}$	$<2\cdot10^{-4}$	$<2\cdot10^{-4}$	–0,44	–
H	1	9,3	5,2	–	–	–	–	7 кг
Hg	80	$(0,02–0,7)\cdot10^{-4}$	$0,45\cdot10^{-4}$	–	–	–	0,0078	–
In	49	$\sim0,015\cdot10^{-4}$	–	$<2\cdot10^{-4}$	$<2\cdot10^{-4}$	$<2\cdot10^{-4}$	–	–
Ir	77	$2\cdot10^{-9}$	–	–	–	–	–	–
J	53	$(0,05–0,5)\cdot10^{-4}$	$0,27\cdot10^{-4}$	–	–	–	0,057	12–20 мг
K	19	1,6	0,21	–	–	–	1620	140 г
La	57	$0,4\cdot10^{-7}$	$<0,08\cdot10^{-4}$	$<1\cdot10^{-2}$	$<1\cdot10^{-2}$	$<1\cdot10^{-2}$	–	–
Li	3	$0,023\cdot10^{-4}$	–	$<3\cdot10^{-3}$	$<3\cdot10^{-3}$	$<3\cdot10^{-3}$	0,004	0,67 мг
Mg	12	$9\cdot10^{-2}$	$(7–18)\cdot10^{-2}$	–	–	–	37,8	19 г
Mn	25	$(0,2–2,3)\cdot10^{-4}$	$(0,2–100)\cdot10^{-4}$	$(3–10)\cdot10^{-3}$	$(10–30)\cdot10^{-3}$	$(5–20)\cdot10^{-3}$	0,0016–0,075	12 мг
Mo	42	$0,018\cdot10^{-4}$	$<0,7\cdot10^{-4}$	$(1,5–2)\cdot10^{-4}$	$(8–60)\cdot10^{-4}$	$2\cdot10^{-4}$	0,001	–
N	7	7,2	4,3	–	–	–	–	1,8 кг
Na	11	0,26–0,78	1	–	–	–	1970	100 г
Nb	41	$0,14\cdot10^{-4}$	$0,07\cdot10^{-4}$	$<6\cdot10^{-4}$	$<6\cdot10^{-4}$	$<6\cdot10^{-4}$	0,005?	–
Ni	28	$(1–2)\cdot10^{-4}$	$0,7\cdot10^{-4}$	$(1,5–4)\cdot10^{-3}$	$(1–3)\cdot10^{-3}$	$(1–5)\cdot10^{-3}$	0,01–0,05	1 мг
O	8	16	28,5	–	–	–	–	43 кг

Окончание табл. 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
P	15	0,3–0,85	6,7–7,1	>1	>1	>1	345	780 г
Pb	82	$(0,23–3,3)\cdot10^{-4}$	$(3,6–30)\cdot10^{-4}$	$(6–20)\cdot10^{-4}$	$(10–20)\cdot10^{-4}$	$(10–15)\cdot10^{-4}$	0,21	120 мг в скелете
Rb	37	$(20–70)\cdot10^{-4}$	$(0,1–5)\cdot10^{-4}$	–	–	–	2,49	680 мг
Ra	88	$0,23\cdot10^{-12}$	$4\cdot10^{-13}$	–	–	–	$6,6\cdot10^{-9}$	$31\cdot10^{-9}$ мг
S	16	0,5–1,1	0,05–0,24	–	–	–	1800	140 г
Sb	51	$(0,42–19,1)\cdot10^{-6}$	$(0,01–0,6)\cdot10^{-4}$	$<3\cdot10^{-3}$	$<3\cdot10^{-3}$	$<3\cdot10^{-3}$	0,0033	–
Sc	21	–	$1\cdot10^{-7}$	$<3\cdot10^{-4}$	$<3\cdot10^{-4}$	$<3\cdot10^{-4}$	0,008	–
Se	34	$(0,42–1,9)\cdot10^{-4}$	$(1–9)\cdot10^{-4}$	–	–	–	0,171	14 мг
Si	14	$(1–2)\cdot10^{-2}$	$17\cdot10^{-4}$	–	–	–	3,9	–
Sn	50	$(0,33–2,4)\cdot10^{-4}$	$1,4\cdot10^{-6}$	$(1–5)\cdot10^{-4}$	$(1–3)\cdot10^{-4}$	$<3\cdot10^{-4}$	0,38	14 мг
Sr	38	$(0,12–0,35)\cdot10^{-4}$	$(0,36–1,4)\cdot10^{-2}$	$<3\cdot10^{-2}$	$<3\cdot10^{-2}$	$<3\cdot10^{-2}$	0,031	320 мг
Ta	73	–	$0,03\cdot10^{-6}$	$<1\cdot10^{-2}$	$<1\cdot10^{-2}$	$<1\cdot10^{-2}$	–	–
Te	52	$1,7\cdot10^{-6}$	–				0,0055	–
Th	90	–	$(0,2–1,2)\cdot10^{-6}$				0,00016	–
Ti	22	$(0,9–2,2)\cdot10^{-4}$	–	$(3–6)\cdot10^{-2}$	$(2–6)\cdot10^{-2}$	$(5–6)\cdot10^{-2}$	0,054	–
Tl	81	$7\cdot10^{-6}$	$2\cdot10^{-7}$	$<2\cdot10^{-4}$	$<2\cdot10^{-4}$	$<2\cdot10^{-4}$	0,00048	–
U	92	$9\cdot10^{-6}$	$(0,016–70)\cdot10^{-7}$	$<1\cdot10^{-1}$	$<1\cdot10^{-1}$	$<1\cdot10^{-1}$	$5\cdot10^{-4}$	0,09 мг
V	23	$2\cdot10^{-6}$	$0,35\cdot10^{-6}$	$(1–2)\cdot10^{-3}$	$(0,6–1,5)\cdot10^{-3}$	$(1–2)\cdot10^{-3}$	<0,0002	0,11 мг
W	74	–	$0,25\cdot10^{-7}$	–	–	–	0,001	–
Y	39	$0,02\cdot10^{-4}$	$0,07\cdot10^{-4}$	$<3\cdot10^{-4}$	$<3\cdot10^{-4}$	$<3\cdot10^{-4}$	0,0047	–
Zn	30	$2,4\cdot10^{-2}$	$(0,75–1,7)\cdot10^{-2}$	$(1,5–6)\cdot10^{-2}$	$(1,5–30)\cdot10^{-2}$	$(0,6–3)\cdot10^{-2}$	7	2,3 г
Zr	40	$0,08\cdot10^{-4}$	$0,1\cdot10^{-4}$	$<1\cdot10^{-3}$	$<1\cdot10^{-3}$	$<1\cdot10^{-3}$	0,011	1 мг

превышает 1 кг/га. В пресных водоемах с внесением удобрений и кормов с 1 га в год вылавливают в разных районах мира от 2 т до 15 т рыбы.

Особый интерес представляет накопление химических элементов в организме человека. Анализируя табл. 6.7, можно отметить, что на долю пяти химических элементов (O, C, H, N, Ca) приходится около 98% массы среднего человека. Если сопоставить среднее содержание наиболее распространенных химических элементов в организме человека с кларковым содержанием земной коры, то получится картина, представленная табл. 6.8.

Таблица 6.8

Данные о среднем содержании химического элемента в организме человека и кларковом содержании

Элемент	Кларк, %, земной коры	Среднее содержание в организме, %	Элемент	Кларк, %, земной коры	Среднее содержание в организме, %
O	49	61,3	P	0,12	1,11
C	0,35	22,8	S	0,04	0,19
H	1	9,9	K	2,5	0,19
N	0,04	2,5	Na	2,5	0,14
Ca	3,2	1,4	Cl	0,017	0,13

Как видно из таблицы, между средним содержанием элементов в человеческом организме и кларковым содержаниям имеется большое несоответствие. Если же сделать пересчет на минеральную (зольную) часть в организме, несоответствие для ряда элементов станет еще большим.

6.4.2. Основные факторы концентрации элементов на биогеохимических барьерах

Накопление химических элементов на различных биогеохимических барьерах можно рассматривать как процесс концентрации элементов в различных организмах, животных и растительных. Суммарное количество каждого из этих элементов, составляющих живые организмы, определяется сложным сочетанием целого ряда факторов. Эти факторы несколько условно можно объединить в три большие группы:

1) внутренние, биохимические, определяемые биологическими особенностями конкретного вида организмов;

2) внешние, ландшафтно-геохимические, определяемые условиями среды обитания (произрастания) организмов;

3) внутренние, кристаллохимические, определяемые свойствами ионов, входящих в состав растений и животных.

Биохимические факторы. Влияние этих факторов на концентрацию химических элементов в организмах к настоящему времени изучено наиболее полно. Отметим важнейшие из них.

Во-первых, для определенных видов растений и животных характерны соответствующие концентрации элементов. В свое время даже предполагалась возможность классификации организмов в зависимости от их химического состава. Средние содержания одного и того же элемента в разных видах растений, произрастающих в одинаковых условиях, могут различаться в 2-5 раз (В.А. Алексеенко и др., 1992). Эта особенность у растений сохраняется и даже усиливается в условиях катастрофического загрязнения почв — обычное их содержание превышается в десятки и сотни раз. Так, на аномальном участке в районе г. Каменска-Шахтинского, где резко повышена концентрация Zn в почвах и подземных водах, содержание этого металла составляет в золе листьев вяза 6,8 • 10^{-3}%, дуба 17,3 • 10^{-3}%, а тополя 73 • 10^{-3}%.

Концентрация элементов в различных видах животных, особенно с учетом скелетных образований, отличается еще больше, иногда на несколько порядков. Так, скелет ряда фораминифер состоит практически из $CaCO_3$, большинства радиолярий — из SiO_2, а радиолярий отряда Acantharia — из $SrSO_4$. В организме корненожек ксенофиофора содержатся гранеллы $BaSO_4$. Число подобных примеров можно приводить довольно долго. Особо следует отметить наличие организмов концентраторов и деконцентраторов определенных элементов (обычно тяжелых металлов). В первых данный элемент всегда (независимо от содержания в питательной среде или продуктах питания) находится в резко повышенных концентрациях, а во вторых — в пониженных.

Во-вторых, концентрация большинства элементов различна в разных органах растительных и животных организмов (рис. 6.18). Иногда в одном и том же животном организме она может изменяться в десятки раз. При этом следует отметить, что определенные компоненты органических тканей могут вызвать образование в живом организме даже минералов с очень высокой концентрацией целого ряда элементов.

Образование в живых организмах неорганических кристаллов обусловлено, по мнению ряда ученых, некоторыми типами моле-

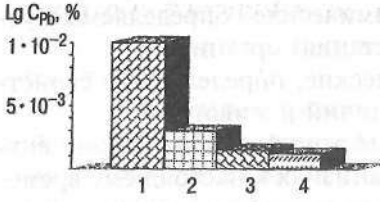


Рис. 6.18. Содержание Pb и Cu в различных частях Сасыра (Каратау):
1 — листья; 2 — черенки листьев; 3 — плодоносящий побег; 4 — семена

кул и характером их взаимного расположения в тканях. Их конкретный тип может вызвать образование определенного внутреннего или внешнего минерального скелета. Для целлюлозы и пектинов характерно образование по стенкам клетки в растениях кальцита; белок конхиалин связан в раковинах моллюсков с кальцитом и арагонитом; белок коллаген — с ОН-апатитом в костях позвоночных. Некоторые белки могут вызвать образование ядер минерализации карбонатов, сульфатов, кремнезема и даже магнетита.

В-третьих, в одном и том же органе живого организма концентрация химических элементов весьма существенно изменяется в зависимости от фазы его (органа) развития и возраста. Такие изменения наиболее детально изучены для растений в связи с проведением биогеохимических поисков месторождений. Так, например, содержание свинца в васильке в зависимости от фазы развития изменяется в 3–4 раза (рис. 6.19). В старых березах содержание цинка в листьях в 1,5 раза, в ветвях в 2 раза, а в коре в 1,5 раза выше, чем в молодых (Е.П. Захаров, 1969).

Аналогичных данных о животных пока меньше, но достоверно установлено, что, по крайней мере, концентрация элементов в скелетных образованиях изменяется в зависимости от фазы развития (возраста) этих животных. При этом могут изменяться не только концентрации, но и форма нахождения химических элементов. Многие элементы из растворов и сложных метал-

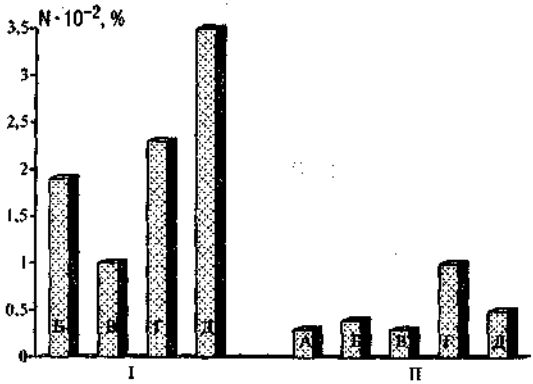


Рис. 6.19. Содержание Pb в васильке в различные фенологические фазы развития (Каратау):
I — над рудной зоной; II — над безрудным участком; фенофазы: А — зацветание; Б — цветение; В — отцветание; Г — образование семян; Д — созревание семян

лоорганических соединений переходят в минеральную форму (обычно в скелетные образования).

В-четвертых, содержание в конкретных видах организмов многих элементов во многом зависит от биологических закономерностей связи между ними в организмах (В.А. Алексеенко, 1969). Изменение концентрации в организме одного элемента вызывает изменение содержания другого. Говоря об этой закономерности, следует отметить, что она объясняется и биологической ролью этих элементов в организме, и особенностями строения ионов поглощаемых элементов (последнее относится к третьей группе факторов). Так, связь между содержаниями РЬ и Мо в растениях может объясняться биологическим значением этих элементов. При небольших (фоновых) поступлениях РЬ в растение в нем увеличивается и содержание Мо. Несколько упрощенно это можно объяснить так: молибден входит в состав многочисленной группы ферментов энергетического обмена клеток, а свинец их ингибирует. Таким образом, можно считать, что положительная корреляция содержаний этих металлов в растении является свидетельством нормальной жизнеспособности организма, отвечающего на токсичный свинец усиленным образованием ферментов. Избыточное поступление свинца в растение (у видов пороговые значения разные) нарушает ранее существовавшие закономерные связи, развитие организма становится угнетенным, и количество молибдена, необходимого растению, уменьшается. Начинает отчетливо проявляться отрицательная корреляция между содержаниями этих металлов (К.М. Султанов, ВА Алексеенко, 1970). В результате такого явления появляются отрицательные биогеохимические аномалии молибдена в растениях над полиметаллическими месторождениями (рис. 6.20) и над участками с техногенным загрязнением почв свинцом.

Как еще одну подобную биологическую связь можно рассматривать соотношение в растениях (изучались полынь и таволга) Be и Bi, с одной стороны, и оксидами K, Na и Si — с другой. Повышение концентрации Be и Bi в почвах, а затем в растениях привело к резкому увеличению перечисленных оксидов в золе растений, а соответственно и к общему повышению зольности (рис. 6.21). При этом содержание в питающей среде K, Na, Si и формы нахождения оставались прежними.

В других случаях связь между определенными элементами в организмах вероятнее всего обусловлена химическими (геохимическими) свойствами ионов этих элементов, что можно отне-

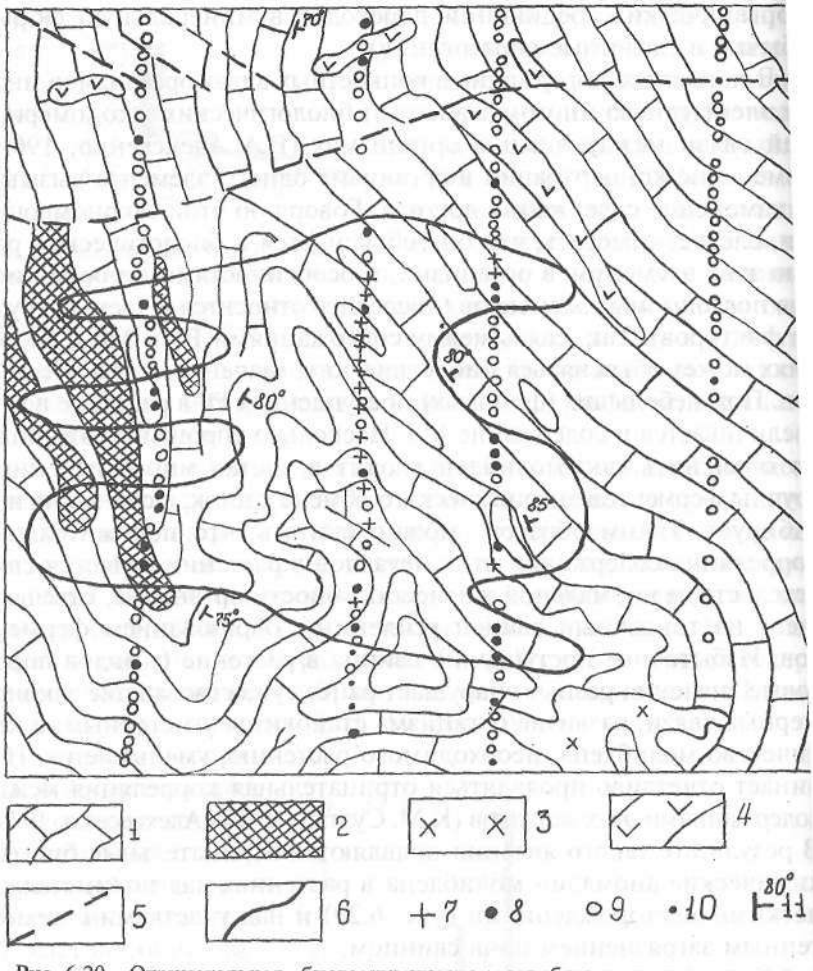


Рис. 6.20. «Отрицательная» биогеохимическая молибденовая аномалия над свинцово-цинковым месторождением Тельманским:
1 — известняки; 2 — рудовмещающие доломиты; 3 — граниты; 4 — диабазовые профириты 5 — разрывные нарушения; 6 — контур аномалии; 7—10 — места отбора проб и содержания, %, в пробах молибдена (7 — меньше $5 \cdot 10^{-4}$, 8 — $5 \cdot 10^{-4}$, 9 — $n \cdot 10^{-3}$, 10 — $n \cdot 10^{-2}$); 11 — элементы залегания пород

сти и к третьей группе факторов. Из многочисленных подтверждений этого остановимся на нескольких.

Исследования Херд Карер (1935) показали, что в изучаемой большой группе растений, несмотря на значительные различия в поглощении ими серы и селена, отношение поглощенной се-

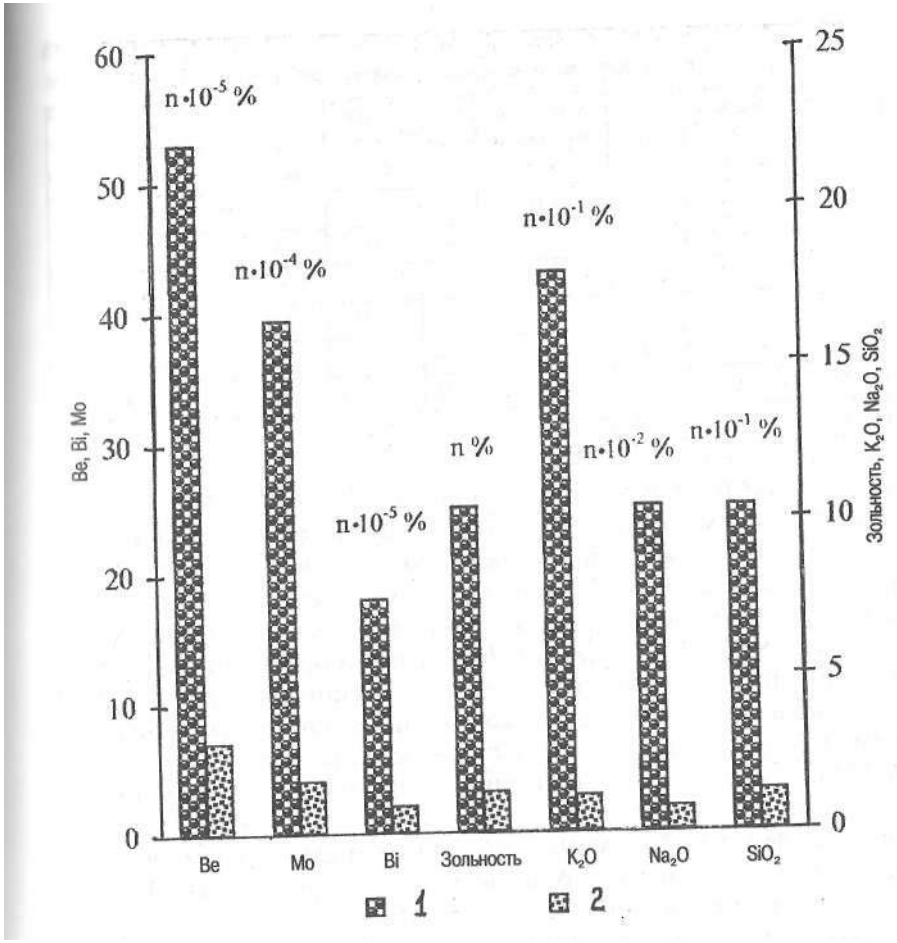


Рис. 6.21. Рапределение Be, Mo, Bi и изменение зольности и содержания K_2и, Na_aO, $Si0_2$ в золе таволги над рудной зоной (1) и за ее пределами (2)

ры к селену остается практически неизменным у всех рассмотренных видов. Если же мы сравним основные показатели, характеризующие ионы элементов, то увидим, что они очень близки (табл. 6.9).

Не только при избытке в ландшафте стронция, но и при обязательном недостатке кальция в костях животных организмов (включая человека) происходит резкое, в 5–8 раз (А.И. Перельман, 1972), возрастание концентрации стронция. При этом возникает тяжелая, так называемая «уровская болезнь». Подобие

Таблица 6.9

Характеристика ионов ряда химических элементов

Элемент	Геохимическая валентность	Радиус иона, Å	Энергетический коэффициент	ВЭК	Потенциал Картледжа	Электроотрицательность	Потенциал ионизации до одновалентного состояния
S	–2	1,74	1,15	0,57	1,15	–	10,3
	+6	0,34	0,57	–	17,65	350	–
Se	–2	1,9	1,1	0,55	1,05	–	9,75
	+6	0,35	–	–	17,14	375	–
Ca	+2	1,06	1,69	0,84	1,88	135	6,11
Sr	+2	1,27	1,53	0,77	1,58	125	5,69
Ba	+2	1,43	1,35	0,67	1,40	115	5,8

ионных характеристик обоих металлов (см. табл. 6.9) явно не случайное. Замещаются элементы с близкими показателями.

Еще один пример: в раковинах современных моллюсков Каспийского моря (К.М. Султанов, В.А. Алексеенко, 1970) повсеместно отмечается четкая положительная корреляция между содержаниями Sr и Ba. Обычно коэффициент корреляции между этими элементами на илистых грунтах в Cardium du le Lam = + 0,81. Но даже на песчаных осадках, содержащих в сотни раз меньше Ba, чем илы (а в воде его содержание крайне мало — примерно в 200 раз меньше, чем стронция), коэффициент корреляции остается постоянно значимым, опускаясь всего до +0,54 при большом числе проб. Таким образом, и в этом случае совместно накапливаются элементы с близкими значениями показателей, характеризующих их ионы (см. табл. 6.9).

В-пятых, у многих организмов ярко выражен биологический барьер накопления определенных химических элементов. Те из них, у которых он отсутствует, при резком повышении содержания химических элементов в питающей среде или в продуктах питания погибают. Детальному изучению этой особенности поглощения химических элементов растениями посвящены многочисленные работы А.Л. Ковалевского.

Ландшафтно-геохимические факторы. Содержание химических элементов в одинаковых частях растения может существенно изменяться с изменением ландшафтно-геохимических условий их произрастания. В основном через растения сказывается влияние ландшафтно-геохимических условий на накопление химических элементов в животных организмах, включая человека.

Рассматриваемое влияние наблюдается обычно в результате смены целого комплекса ландшафтно-геохимических условий. Однако специально проводимые исследования позволили установить, что практически все ландшафтно-геохимические особенности миграции химических элементов, учитываемые на всех уровнях классификации ландшафтов (В.А. Алексеенко, 1990), влияют на концентрацию элементов в растениях. При этом они иногда имеют противоположную направленность и тогда может отсутствовать суммарный эффект повышенного (или существенно пониженного) накопления элементов в растениях.

Кратко рассмотрим примеры влияния отдельных ландшафтно-геохимических факторов.

1. Изменение состава коренных горных пород приводит к смене ландшафтно-геохимической обстановки и, как правило, к изменению концентрации ряда элементов в растениях (табл. 6.10).

Таблица 6.10

Фоновые содержания, $n \cdot 10^{-3}$%, металлов в золе полыни над различными породами (Джунгарский Алатау)

Горные породы	Число проб	Pb	Zn	Cu	Mo
Сланцы рудовмещающей свиты	51	8	30	50	3
Диабазовые порфириты	24	1,4	14	9,6	1,3
Граниты	97	1,9	13	3,9	1,1
Эффузивно-туффогенные породы	112	2	19	10	2

2. Важным показателем ландшафтно-геохимической обстановки является рельеф. В определенных условиях этот таксономический показатель оказывает весьма существенное влияние на поглощение ряда металлов растениями. Примером может служить детально изученный район в Центральном Казахстане (табл. 6.11). Одновременно с изменением фоновой концентрации Сг и Си в рассматриваемом случае произошло изменение дисперсии их содержаний в растении. Особенно большим стал разброс концентрации Си в условиях выровненной поверхности, что сразу же сказалось на увеличении его аномального содержания при практически одинаковом фоновом (табл. 6.11). Число подобных примеров чрезвычайно велико.

3. В 1988 г. был введен новый уровень в классификации геохимических ландшафтов, учитывающий особенности воздушной миграции элементов (В.А. Алексеенко, 1989). При прочих равных условиях в ландшафтах, подверженных воздушной эрозии,

Таблица 6.11

Распределение Cr и Cu в золе баялыча из ландшафтов, отличающихся только по геоморфологическим особенностям (Центральный Казахстан)

Геоморфологическая структура	Элемент	Содержание, $n \cdot 10^{-3}$%	
		фоновое	аномальное для единичных проб
Выровненная поверхность	Cr	0,002	0,006
Долинообразное понижение		0,001	0,0036
Склон плоскостного смыва	Cu	0,007	0,013
Выровненная поверхность		0,008	0,04

и в ландшафтах с отложением эолового материала почвы и растения отличаются содержанием целого ряда металлов.

Процессы техногенеза способствуют увеличению контрастности этих отличий. Так, в районе Новороссийска в растениях ландшафтов с отложением эолового материала техногенной природы в десятки раз повышается концентрация Pb, Zn и других тяжелых металлов.

4. Довольно часто в ландшафте происходят изменения, которые мы обычно не фиксируем непосредственно (например, изменения состава почвенных газов, температуры в определенных фазах развития организма, атмосферного давления и т.д.), но на которые чутко реагируют растения. В результате при прочих одинаковых ландшафтно-геохимических условиях изменяются растительные комплексы и ассоциации. И в этих случаях наблюдаются изменения концентрации ряда элементов и степени их разброса (дисперсии) в одном и том же виде растений (табл. 6.12).

Таблица 6.12

Распределение ряда металлов в золе ковыля из ландшафтов, отличающихся только растительными ассоциациями и комплексами (Центральный Казахстан)

Ассоциация, комплекс	Элемент	Число проб	Содержание, %	
			фоновое	аномальное для единичных проб
Таволго-полынно-злаковая	Pb	235	0,005	0,023
	Mo		0,0002	0,0017
	Cu		0,01	0,093
	Ba		0,088	0,379
Кустарниково-злаковый	Pb	675	0,005	0,014
	Mo		0,0004	0,0027
	Cu		0,011	0,092
	Ba		0,085	0,184

Кристаллохимические факторы. Долгое время в отечественной биогеохимии господствовало мнение, в соответствии с которым накопление элементов будто бы определялось степенью эволюции, в которой организмы постепенно освобождались от множества геохимических функ-

ций и нуждались лишь в физиологических функциях отдельных элементов. В зарубежной литературе (St. Thyssen, 1942) встречались предположения о связи физиологического поведения элементов с величиной ионов. Приведенный выше материал о биохимических факторах поглощения элементов позволяет считать, что их значительная часть не только попадает в организмы в ионной форме, но и распределяется в них в соответствии с кристаллохимическими особенностями ионов.

Для растений одним из основных показателей накопления элементов является *коэффициент биологического поглощения* (КБП). Он представляет собой отношение содержания определенного химического элемента в золе растений к содержанию этого же элемента в питающей среде. Коэффициент может определяться для растительных организмов биосферы в целом и для отдельного вида растений как в биосфере, так и в каком-либо регионе. Наиболее общую (биосферную) информацию дает КБП растений в биосфере. Он определяется по отношению среднего содержания химического элемента в растениях к кларку литосферы. Правильнее было бы брать кларки почв, но имеющиеся сейчас данные о средних содержаниях элементов в почвах не достаточно точны. Одну из первых полных сводок о КБП сделал СМ. Ткалич в 1969 г. Позже она неоднократно уточнялась. Данные последнего уточнения, проведенного автором совместно с В.В. Добровольским, использовались при составлении полулогарифмического графика, представленного на рис. 6.22. Этот график отражает связь КБП с энергетическими коэффициентами (ЭК) химических элементов.

Как видно из рис. 6.22, с увеличением энергетических коэффициентов химических элементов резко уменьшается их относительное биологическое накопление. Таким образом, можно считать, что установлена в общем виде связь между накоплением растительными организмами химических элементов и характеристиками ионов данных элементов. Это позволяет говорить о первостепенной роли ионов в питании растений, а также предполагать наличие ряда общих законов миграции химических элементов как в косной части биосферы, так и в живых организмах.

Анализ графика на рис. 6.22 дает возможность выделить три поля биологического накопления: 1) нормального (его составляет подавляющая часть всех химических элементов); 2) повышенного (P, B, Mo, Ge); 3) пониженного (Tl, Hg, Se, F). Коэффициент корреляции между значениями ЭК и КБП у элементов, от-

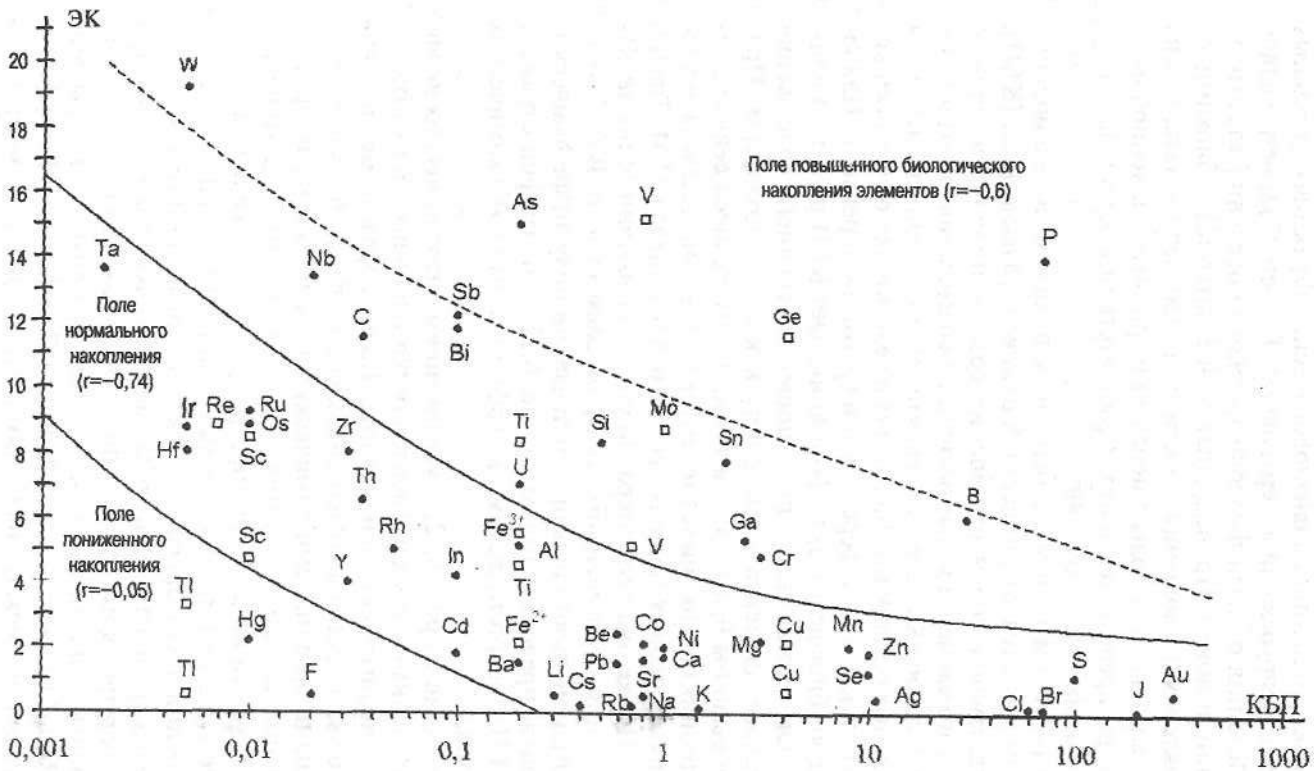


Рис. 6.22. Зависимость энергетических коэффициентов от коэффициентов биологического поглощения:

• — ионы с постоянной валентностью; □ — ионы с переменной валентностью

носящихся к полю нормального накопления, не только значим, но и довольно высок: r = —0,74. Появление второго и третьего полей накопления может быть связано как с биологической ролью элементов, так и с более глобальными причинами, вплоть до особенностей возникновения жизни на Земле. В связи с этим требуется дальнейшее углубленное изучение особенностей накопления химических элементов живыми организмами (на биогеохимических барьерах) в зависимости от строения атомов и ионов этих элементов.

6.5. Социальные геохимические барьеры

6.5.1. Общие сведения

В научной литературе и в обиходе, особенно после выхода монографии А.И. Перельмана «Геохимия», широко используется термин «социальная миграция химических элементов». По аналогии с социальной миграцией, автор этой работы считает целесообразным введение понятия «социальный геохимический барьер». Под термином должны объединяться зоны складирования и захоронения отходов — как промышленных, так и бытовых. Что объединяет эти барьеры с рассмотренными природными и техногенными и что отличает их?

• На них, как и на всех ранее рассмотренных барьерах, прекращается перемещение целого ряда веществ, участвующих в определенном виде миграции — социальной (техногенной).

• Так же, как и на других барьерах, в данном случае прекращают миграцию не все участвующие в ней вещества, а только часть из них.

• Барьеры созданы искусственно там, где в природных условиях они не возникали, по крайней мере для всех тех веществ, которые на них концентрируются. Этим социальные барьеры отличаются от природных.

• По способу образования (вывоз и складирование) они отличаются от всех ранее рассмотренных техногенных барьеров.

• По специфике концентрации веществ и способу образования эти барьеры не имеют аналогов и среди природных барьеров.

• Концентрирующиеся на них вещества не объединяются ни одним общим физическим или химическим свойством. (А это яв-

ляется обязательным условием концентрации веществ на прирез ных и техногенных барьерах.) Все вещества на техногенных барі ерах объединяет только одно социальное условие: ненужное! обществу на данном этапе его развития.

• Образование рассматриваемых барьеров и состав накаплив! ющихся на них веществ являются отражением конкретного уроі ня развития как определенного сообщества людей, так и всего ч< ловечества.

Все это в сумме и обуславливает, по мнению автора, обособл< ние социальных геохимических барьеров. Их же широкое распр(странение, а главное, все возрастающее негативное воздействие эта... барьеров на среду, окружающую человека, и непосредственно на его здоровье делают необходимым не только их самостоятельное выделение, но и детальное эколого-геохимическое изучение.

6.5.2. Некоторые геохимические особенности социальных барьеров

• Химические элементы (соединения), накапливающиеся на социальных барьерах в повышенных концентрациях, не соответствуют ни одной природной ассоциации, характерной для пород, руд, организмов. Так, практически в одном месте могут быть обнаружены Ni и Ba, не встречающиеся вместе в минералах, или Си и Мп, также относящиеся к запрещенной ассоциации.

Нахождение вместе химических элементов из разных генетических и даже запрещенных ассоциаций объясняется тем, что это ни в коей мере не связано с процессами природной миграции, определяемой внешними и внутренними факторами.

• Распределение большинства химических элементов на барьере отличается крайней неравномерностью. Так, уже на первых метрах содержание многих металлов изменяется в сотни и тысячи раз. Это приводит к их мозаичному распределению на территории, что обычно не характерно для биосферы.

• На барьерах, занимающих достаточно большую площадь (крупные свалки), неравномерно распределяются отдельные участки с различной геохимической обстановкой. Они отличаются режимом кислорода и серы (наряду с кислородной встречаются глеевая и сероводородная обстановки), щелочно-кислотными условиями. Все это создает условия с непрогнозируемыми процессами миграции химических элементов как на самом барьере, так и в окружающих его ландшафтах.

• Еще одной эколого-геохимической особенностью социальна рьеров является чрезвычайно высокая концентрация эле-
Ц итов в форме самых разнообразных техногенных соединений,
; ИР имеющих природных аналогов.

• Миграция химических элементов от рассматриваемых барьЧ'"н идет в основном в виде растворов, а для ряда соединений — и и і л'юобразной форме. Скорость миграции может быть самой различной в зависимости от климата, ландшафтно-геохимических (в осноиием гидрологических и гидрогеологических) и температурных условий. Последние часто определяются различными химическими реакциями и горением свалок.

6.6. Комплексные геохимические барьеры

Комплексные геохимические барьеры образуются за счет наложения друг на друга нескольких различных барьеров. Среди природных барьеров комплексные по распространенности занимают если не первое, то одно из первых мест. Так, очень широко распространены, особенно в горных районах, кислородные барьеры, представляющие собой родники с выходом на поверхность глеепых вод (см. 6.2.2). Осаждающиеся из них гидроксиды Fe^{3+} являются хорошими сорбентами целого ряда металлов, и процесс осаждения этих коллоидов представляет собой начало формирования нового геохимического барьера — сорбционного. Вот поэтому-то опробование «ржавой мути», осевшей на дне источников, дает информацию о концентрации металлов в родниковой воде, а следовательно, и о гидрогеохимической обстановке в районе распространения этих глеевых вод.

О массе веществ, концентрирующихся на комплексных геохимических барьерах, о их распространенности в пространстве и во времени можно судить хотя бы потому, что подавляющее большинство месторождений полезных ископаемых образовалось именно на комплексных геохимических барьерах. Как один из примеров этого процесса концентрации элементов рассмотрим современное формирование полиметаллических залежей на дне ряда впадин Красного моря (см. рис. 6.6).

В местах разгрузки и смешивания практически безметальных сероводородных вод и металлоносных рассолов происходит отложение части сульфидов на сероводородном барьере. На границе

бескислородных придонных рассолов с расположенными выше кислородными водами действует кислородный барьер, на котором растворенное закисное железо окисляется и в итоге происходит осаждение коллоидных образований аморфных гидроксидов Fe". Они являются хорошими сорбентами и по мере опускания сорбируют из вод целый ряд металлов и в первую очередь имеющую повышенную концентрацию медь. (Таким образом, видно действие уже третьего геохимического барьера — сорбционного.) А осевшие аморфные коллоиды $Fe(OH)_3$ постепенно превращаются в гетит с аномальным содержанием Си.

Необходимо также отметить роль в формировании рудных осадков впадин Красного моря еще одного (четвертого) геохимического барьера — термодинамического: с охлаждением горячих рассолов (56 °С) связано отложение Zn при распаде его хлоридных комплексов (D.E. White, 1968). Кроме этих барьеров несомненное воздействие на концентрацию металлов в осадке оказали сульфатредуцирующие бактерии (H.G. Тшрег, 1969), т.е. действие биогеохимического барьера (пятого!).

Особо следует отметить, что в природных условиях часто появление одного геохимического барьера обуславливает возникновение второго, а их совместное положение — третьего и т.д. Такая геохимическая особенность существует в районах создаваемых техногенных и социальных геохимических барьеров. Ее необходимо учитывать, формируя новые барьеры. Делается же это далеко не всегда. Так, при создании водохранилища обычно учитывается только возникновение механического барьера, на котором задерживается обломочный материал, переносимый реками. С этим связано «заиливание водохранилищ», а следовательно, срок их использования. Однако у плотин происходит задерживание многих планктонных и бентосных организмов. Их усиленному росту обычно способствуют повышенная температура хорошо прогреваемых вод водохранилища и поступление удобрений. В результате у плотины возникает биогеохимический барьер.



ФОРМИРОВАНИЕ НООСФЕРЫ И ПОВЕДЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

ГЛАВА 7. ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ЛАНДШАФТОВ

7.1. Общие сведения

Определение элементарного ландшафта, данное основателем и пня о геохимических ландшафтах Б.Б.Полыновым, и современные дополнения, сделанные А.И.Перельманом и автором к этому определению, приведено в разд. 2.3. Исходя из изложенного, южно считать, что в пределах одинаковых элементарных ландшаф- №1l ннешние условия миграции и концентрации химических элементов (их соединений) аналогичны.

В зависимости от цели исследований и их масштаба элемен- гврные ландшафты можно объединять по каким-либо, обычно ос- Иовным, признакам. Результатом такого объединения могут стать н*охимические ландшафты. Считается, что *геохимические ландшафты* — это парагенетическая ассоциация закономерно сочетающихся элементарных ландшафтов, связанных между собой ми- і рацией элементов.

При мелкомасштабных исследованиях в каждую такую ассоциацию может быть объединено очень большое число элементарных ландшафтов. При крупномасштабных работах эти ассоциации рассматриваются как несколько самостоятельных геохимических ландшафтов. Таким образом, при мелкомасштабных исследованиях мы имеем дело уже с объединением подобных геохимических ландшафтов, связанных особенностями миграции химических элементов. Так, на Западном Кавказе при работах в масштабе 1:500 000 было выявлено 2 природных ландшафта, в масштабе 1:200 000 — 6, а при картографировании в масштабе 1:100 000 — 10. Это хорошо видно на рис. 7.1.

При съемке в масштабе 1:500 000 (рис. 7.1, а) на карбонатно-терригентных отложениях мелового возраста (участок обведен двойными линиями) было выделено 2 биогенных трансэлювиальных лесных ландшафта с гидрокарбонатно-кальциевым классом водной миграции (ландшафт № 7) и с кислым, переходным к кальциевому классу (№ 10).

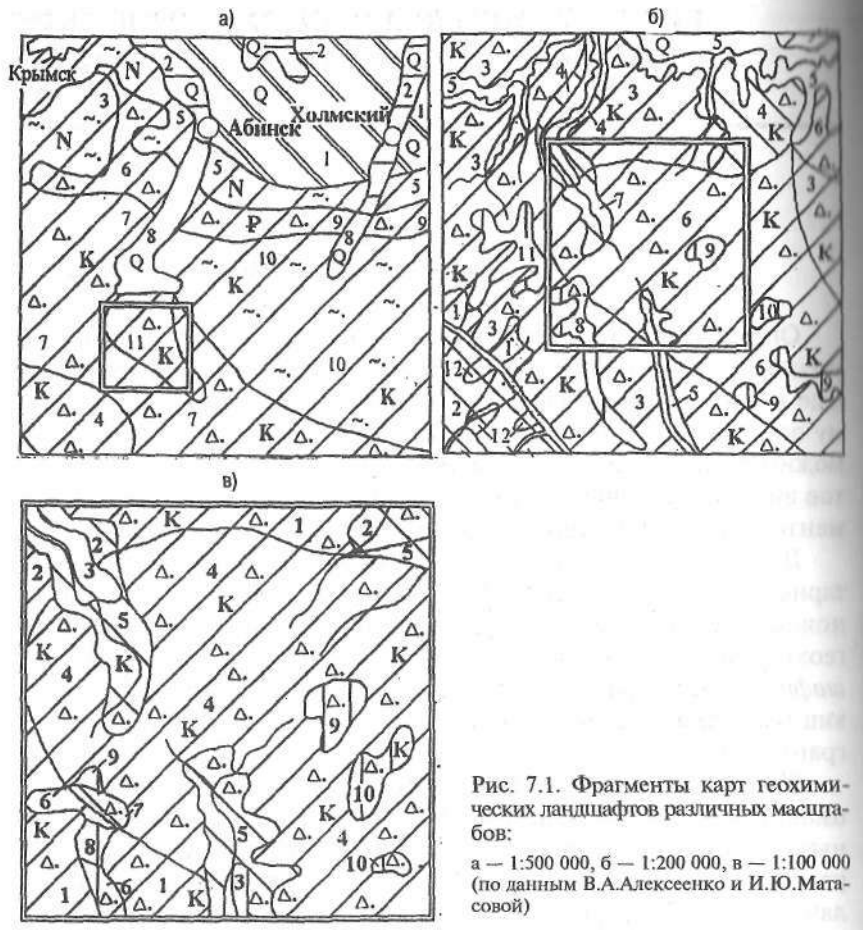


Рис. 7.1. Фрагменты карт геохимических ландшафтов различных масштабов:

а — 1:500 000, б — 1:200 000, в — 1:100 000 (по данным В.А.Алексеенко и И.Ю.Матасовой)

При съемке в масштабе 1:200 000 (рис. 7.1, б) за счет более детального отражения рельефа на той же территории выделились следующие ландшафты: элювиальные (№ 8, 9), трансэлювиальные (№ 3, 6), трансаккумулятивные (№ 4, 7). Почвы с различными классами водной миграции при детализации стали иметь мозаичное распределение.

Съемка в масштабе 1:100 000 (рис. 7.1, в) показала, что с увеличением детальности исследований на изучаемой территории дополнительно выделяется транссупераквальный ландшафт (№ 1). Среди лесов выделились ландшафты редколесий (№ 6, 7), лугов

9) и горных степей (№ 10). Увеличилась мозаичность расн|н п-нгпия практически всех ландшафтов.

По (можность объединения парагенетических ассоциаций геохиIIIX ландшафтов позволяет проводить по единой методике разн штабные картографические работы, необходимые для охраii окружающей среды, а также прогнозирования и поисков месi кдений полезных ископаемых.

Hi с геохимические ландшафты делятся на ландшафты *суши* и *пильные* (водные). Последние, в свою очередь, подразделяются на шндшафты Океана (океанов и морей) и аквальные ландшафты конгииснтов (рек, водохранилищ, озер и т.д.).

С целью увеличения эффективности поисков месторождений инистых ископаемых геохимическими методами и быстрейшего ныиилеиия источников загрязнения окружающей среды в 1982 г. in юром книги было предложено выделять *межбарьерные геохимические ландшафты*. Последние представляют собой совокупности элементарных ландшафтов, характеризующиеся единым основным нидом миграции элементов и расположенные между двумя одинаковыми геохимическими барьерами по ходу миграции. Барьеры могут быть физико-химические (одного класса), биогеохимические, механические (см. гл. 6).

Как пример, рассмотрим межбарьерные ландшафты одной из рек. Их расположение должно быть связано не только с основным иидом миграции, но и с одинаковой формой нахождения химических элементов, содержащихся в миграционном потоке и осаждающихся на рассматриваемых барьерах. Если нас интересуют поллютанты, находящиеся в минеральной форме и осаждающиеся на механических барьерах, то межбарьерные ландшафты необходимо выделять между механическими барьерами (рис. 7.2). Для предварительного выявления источника загрязнения опробование целесообразно осуществлять в этом случае только на механических барьерах. Если повышенные концентрации поллютантов обнаружены лишь на барьере M_3, то источник их поступления в реч-

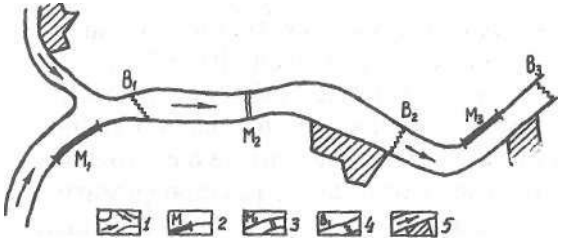


Рис. 7.2. Межбарьерные ландшафты в реке:
1 — река и направление ее течения; барьеры: 2— механический природный, 3 — механический техногенный (плотина), 4 — сероводородный; 5 — населенные пункты

ку находится в пределах ландшафта, ограниченного барьерами и M_3 (см. рис. 7.2).

Если поллютанты (например, тяжелые металлы) мигрирую!' форме растворов и осаждаются в присутствии H_2S, опробован следует производить на сероводородных барьерах в донных от. жениях. При обнаружении повышенной концентрации тяжел металлов только на втором сероводородном барьере (B_2), исто ник загрязнения должен находиться в пределах ландшафта, огр| ничейного барьерами В, и B_2 (см. рис. 7.2).

Очень часто поллютанты на одной и той же территории мигри«* руют в нескольких различных формах. В этом случае для выявления нескольких источников загрязнения на одной и той же территории приходится выделять, как правило, несколько различи ьд межбарьерных ландшафтов. Частично они могут взаимно перекрывать друг друга (именно такой случай представлен на рис. 7.2).

Все перечисленные выше геохимические ландшафты (суш., аквальные, межбарьерные) можно разделить на *природные* (био генные и абиогенные) и *техногенные*. Такое разделение ланд шафтов принято в ряде основных классификаций геохимически ландшафтов.

7.2. Классификация геохимических ландшафтов

7.2.1. Ландшафты суши

Геохимические классификации ландшафтов составляются на основе изучения меняющихся внешних факторов миграции элементов, получивших в последнее время название ландшафтно-геохимических. Наиболее распространены классификации А.И. Пе~ рельмана, М.А. Глазовской, В .А. Алексеенко. Каждая из них имеет свои преимущества и свои недостатки. Классификационная система, предлагаемая автором, базируется на ряде таксономических уровней (табл. 7.1). На каждом из них учитываются определенные ландшафтно-геохимические особенности внешних факторов миграции химических элементов. Разработка такой классификации была связана с разномасштабным картографированием территорий, занимающих большие площади. Она позволяет систематизировать многочисленные данные о состоянии окружающей среды и оценить роль отдельных факторов в миграции и концентрации химических элементов. Например, было установ-

Схема классификации геохимических ландшафтов суши (по В.А.Алексеенко)

Классификационные уровни	Ведущие признаки объединения геохимических ландшафтов на данном уровне	Ландшафты, объединяемые на каждом уровне								
I	Преобладание ведущего вида миграции	Биогенные			Техногенные					Абиогенные
II	Особенности ведущего вида миграции	1. Леса 2. Степи 3. Пустыни 4. Тундры и верховые болота 5. Примитивные пустыни	Леса: • лиственные • смешанные • хвойные	Леса лиственные: • дубово-грабовые • ольховые • тополевые и т.д.	1. Сельскохозяйственные 2. Промышленные 3. Лесотехнические 4. Населенные пункты 5. Дорожные 6. Военные ведомства	Сельскохозяйственные: • с севооборотами однолетних культур • то же, многолетних культур • животноводческие	Многолетних культур: • сады • виноградники • чайные плантации • ягодные плантации • ореховые плантации	Однолетних культур: • мелиорируемые • немелиорируемые	Мелиорируемые: • осушаемые • орошаемые • периодически заливаемые	Ледники
III	Характеристика почв (части ландшафта с наибольшим напряжением геохимических процессов)	1. С окислительной обстановкой (свободным O_2) 2. С восстановительной глеевой обстановкой (без свободного O_2 и H_2S) 3. С сероводородной обстановкой			1. Сильнокислые (pH<3) 2. Кислые и слабокислые (pH 3–6,5) 3. Нейтральные и слабощелочные (pH 6,5–8,5) 4. Сильнощелочные (pH>8,5)		С различным набором типоморфных водных мигрантов H^+; Al^{3+}; Fe^{2+}; Ca^{2+}; Na^+; K^+; SO_4^{2-}; HSO_3^-; Cl^-; OH^- и др.			С различным содержанием органических соединений
		Всего 21 класс водной миграции элементов (по А.И.Перельману)								

Окончание табл. 7.1

IV	Характеристика подземных (грунтовых) и ледниковых вод	1. С окислительной обстановкой (свободным O_2) 2. С восстановительной глеевой обстановкой (без свободного O_2 и H_2S) 3. С сероводородной обстановкой	1. Сильнокислые (pH<3) 2. Кислые и слабокислые (pH 3–6,5) 3. Нейтральные и слабощелочные (pH 6,5–8,5) 4. Сильнощелочные (pH>8,5)		С различным набором типоморфных водных мигрантов
V	Особенности воздушной миграции	Подвержены воздушной эрозии	Не подвержены воздушной эрозии		С современным отложением эолового материала
VI	Отношение к многолетней мерзлоте	С отсутствием многолетней мерзлоты	С островным развитием многолетней мерзлоты	С развитием прерывистой многолетней мерзлоты	Со сплошным развитием многолетней мерзлоты
VII	Геоморфологические особенности	1. Равнинные области 2. Низкогорье и среднегорье 3. Высокогорные области	Равнинные области: • элювиальные • трансэлювиальные • трансаккумулятивные • транссупераквальные	Элювиальные: • островершинные • плосковершинные	
VIII	Особенности постоянного природного источника химических элементов, поступающих в ландшафт (почвоподстилающие породы)	1. Осадочные породы 2. Магматические породы 3. Интенсивно метаморфизованные породы	Осадочные породы: • карбонатные • терригенные • карбонатно-терригенные	Карбонатные породы: • известковые • доломитовые • известковые с конкрециями сидерита	Известковые породы: • силурийского возраста, обогащенные Pb • девонского возраста, обогащенные Mn, и т.д.

ti |лияние основных внешних факторов на распределение тя-
мсталлов в почвах Центрального и Восточного Кавказа
И.нченко, 1996) и афоландшафтов юга европейской части Рос-
is Н.Сериков, 1997).

Кроме того, данная система классификации дает возможность
с существенного переделывания заменять отдельные класси-
‖тонные признаки на определенных уровнях и даже вводить
Иииыс классификационные уровни. Так, уже после государствен-
.....и здания (под ред. А.И. Перельмана) первых карт геохими-
ИК-ких ландшафтов появилась необходимость введения в предла-
гаемую классификацию самостоятельных таксономических уров-
|п и, позволяющих учитывать особенность атмосферной (воздуш-
ной) миграции химических элементов, а также уровней, характе-
ри 'ующих геохимические особенности подземных вод, наличие мно-
рвлетней мерзлоты.

Первый классификационный уровень

На этом (самом высоком) таксономическом уровне, согласно научным разработкам А.И.Перельмана, предложено учитывать основные формы движения материи. В соответствии с этим отдельные ландшафты, относящиеся к данному уровню, в зависимости от преобладания в них основного вида миграции могут быть объединены в три группы: биогенные, абиогенные и техногенные.

Абиогенные ландшафты отличаются отсутствием (часто только относительным) непосредственного антропогенного воздействия, способного привести к существенному перемещению химических элементов, и практическим отсутствием биогенной миграции элементов, а следовательно, и их (элементов) биологического круговорота (БИК). К таким ландшафтам относятся центральные части Антарктиды и Гренландии, наиболее высокие и покрытые ледниками хребты и вершины гор. В пределах данных ландшафтов преобладает механическая и физико-химическая миграция элементов, хотя в них могут присутствовать продукты биологического круговорота элементов соседних или ранее существовавших на их месте биогенных ландшафтов (органогенные коренные породы; сравнительно редкие бактерии в приземном воздухе, воде и на поверхности ледников; кислородная атмосфера).

Кроме того, в абиогенные ландшафты все больше попадает элементов за счет продуктов техногенеза. Так, во льдах Антарктиды в последние десятилетия существенно увеличилось содержание свин-

ца, а дуст был обнаружен даже в печени пингвинов. На ледниках Эльбруса установлено повышенное содержание вольфрама и молибдена, источником которых можно считать Тырныаузский комбинат. Даже в самых труднодоступных частях Антарктиды и Гренландии **и** на высокогорных ледниках начинает все активнее проявляться техногенная (социальная) миграция химических элементов, поскольку здесь увеличилось число различных временных и постоянных научных станций. Все это позволяет говорить о повсеместно начинающемся переходе абиогенных ландшафтов в техногенные.

Биогенные (природные) ландшафты характеризуются наличием постоянного биологического круговорота элементов, а ведущим видом их миграции обычно является биогенный. Механическая и физико-химическая миграции в этих ландшафтах, как правило, играют второстепенную роль. Однако исключение составляют биогенные ландшафты с крутыми склонами, где количественно (по массе мигрирующих элементов) механическая миграция может резко преобладать над биогенной, а также часть примитивно-пустынных ландшафтов. И все же их следует относить к биогенным по наличию более сложной биогенной миграции элементов.

Необходимо отметить, что все большая часть биогенных ландшафтов испытывает постоянно возрастающее антропогенное (техногенное) воздействие. Под его влиянием не только постоянно увеличивается техногенное поступление элементов, но идет и их антропогенный вынос из биогенных ландшафтов. Там, где биогенные ландшафты соседствуют с различными промышленными предприятиями и сельскохозяйственными угодьями, основная часть элементов переносится с воздушным потоком. Значительная часть элементов может поступать техногенным путем и в виде водных растворов (при поверхностном и подземном стоках), а также в результате механического перемещения.

Техногенный вынос элементов из биогенных ландшафтов производится или непосредственно, или сопровождает отдельные техногенные процессы. Так, при частичной вырубке лесов ландшафты продолжают оставаться биогенными, хотя из них отторгается (вывозится) определенная часть элементов. Кроме того, после вырубки увеличиваются поверхностный и подземный стоки вод, содержащие различные элементы в виде истинных и коллоидных растворов. Таким образом, в данном случае техногенный вынос элементов из ландшафтов привел еще и к усилению процессов природного выноса.

I! южных районах страны, даже при интенсивном развитии сель-
. . . . .о хозяйства, по каменистым балкам еще сохраняются природ-
ИВИ шшдшафты — кусочки бывших степей. Однако из них идет и чпогснный вынос элементов: в засушливые годы здесь косят трапы и вывозят сено.

Своеобразный техногенный вынос элементов из почв и илов і ни псиных ландшафтов бывает связан со сливом кислых шахтных под на поверхность. Такие воды растворяют многие природные со-I імнения, в том числе и многочисленные карбонаты.

Таким образом, все яснее представляется общая тенденция к постепенному переходу биогенных ландшафтов в техногенные и ко все возрастающей скорости формирования ноосферы.

Техногенные ландшафты отличаются тем, что биологический кру-і опорот элементов в значительной мере нарушен, а определяющим ипдом миграции является техногенная (социальная) , аналогов ко-РОрой (по комплексу перемещающихся элементов, свойствам их нхногенных соединений и дальности миграции) в природе практически нет.

Площади, занимаемые техногенными ландшафтами, непрерывно возрастают за счет уменьшения территорий биогенных и абиогенных ландшафтов. В пределах техногенных ландшафтов не только проживает подавляющая часть населения Земли, но и выращивается подавляющая часть продуктов питания. Техногенные ландшафты являются и источниками минерального сырья, добываемого с каждым годом все в больших объемах. Именно состоянием техногенных геохимических ландшафтов обеспечивается комфортность проживания, а во многом и здоровье населения.

В связи со всем этим в данном разделе подробно рассматриваются техногенные геохимические ландшафты.

Второй классификационный уровень

На этом уровне ландшафты подразделяются на биогенные и техногенные.

Биогенные ландшафты объединяются исходя из *особенностях биогенной миграции элементов.* Эти особенности определяются в первую очередь количественной ролью биогенной миграции, а также скоростью перехода элементов в форму, соответствующую основному виду миграции. В природных ландшафтах — это скорость перехода элементов из водных растворов, газовых смесей и минеральной формы в биогенную. Кроме того, в определенной мере

учитывается и скорость обратного перехода отмирающих орган и мов. При этом особое значение имеет разложение растений (их (дельных частей), поступающих после опада и отмирания в иоч ву. Основными показателями для такого учета служат величии11 общей биомассы (Б) и ежегодной продукции (П).

По изменению отношения биомассы к ежегодной продукции среди биогенных ландшафтов, по А.И. Перельману, выделяю н | пять основных групп: 1) леса; 2) степи (луга и саванны); 3) пус* тыни; 4) тундры и верховые болота; 5) примитивные пустыни. Их формирование и обычная зональность размещения в основном ои ределяются климатом.

Перечисленные группы, в свою очередь, подразделяют в зависимости от изменения коэффициента K = lgn / lgB. Ландшафты с одинаковыми значениями K, но различными величинами ежегодной продукции и общей биомассы образуют семейства. В би огенных ландшафтах их обычно три: северное, среднее и южное. Однако, как указывает А.И. Перельман, критерии выделения семейств подлежат уточнению.

Опыт ландшафтно-геохимического картирования показывает, что в большинстве случаев (даже при работах в масштабе 1:500 000, не говоря уже о крупномасштабных исследованиях) приведенного деления биогенных ландшафтов бывает недостаточно. Это видно хотя бы из того, что наименьший таксон «семейство» включает все карпатско-кавказские леса. А среди них довольно четко выделяются, даже при региональных исследованиях, хвойные и лиственные. Хвойные же леса довольно существенно отличаются по биологическому круговороту от лиственных (табл 7 2)

Табл.а 7.2

Некоторые особенности БИК элементов в ландшафтах лиственных и хвойных лесов

Показатель	Леса	
	лиственные	хвойные
Биомасса, т/га	500-600	100-300
Структура биомассы по частям, %:		
• зеленая	1-1,5	4-5
• многолетняя надземная	74-81	72-74
• подземная	17-26	22-23
Опад:		
• % от биомассы	2	1,4
• т/га	10-12	1,4-4.2

При более детальных исследованиях, в том числе и в пределах сравнительно небольших регионов, занятых лесами, выделяются участки с различным составом основных лесообразующих пород. Так, на Западном Кавказе (он входит

Таблица 7.3

Среднее содержание, п • 10"""%, элементов в золе хвои и листьях некоторых деревьев, произрастающих в одинаковых ландшафтно-геохимических условиях

Рмнлние	Мп	Ni	Си	Ti	V	Zr	Ba	Sr	Pb	Zn
Миша	386	6,4	6	111,5	1,6	3,1	62	33	1,9	9,5
||Nlfl	692	5	6,4	19,5	1,9	5	71	43,3	1,8	5,5
hjK	500	5,4	8,4	83	1	3	68	24	1,4	15,1
Дуй	975	9,3	8,6	204	2,1	6,5	100	17	2,4	8,5

и Кавказско-Карпатское семейство лесных ландшафтов) только среди лиственных лесов выделяются дубовые, буковые, буково-грабовые.

Зеленая масса, составляющая основу опада, у лиственных деревьев перечисленных пород по химическому составу различна и отличается от зеленой массы деревьев хвойных пород. Это различие может быть весьма существенным даже в тех случаях, когда деревья произрастают рядом, над одними и теми же горными породами, что видно из табл. 7.3. В ней по данным анализов около 200 биогеохимических проб сравнивается среднее содержание ряда химических элементов в зеленой части опада деревьев различных пород, произрастающих в одном и том же геохимическом ландшафте смешанных лесов Западного Кавказа.

Из табл. 7.3 следует, что в листьях (хвое) рядом произрастающих деревьев различных пород содержание многих элементов (и к первую очередь наиболее токсичных при повышенных концентрациях тяжелых металлов) сильно различается. Так, например, содержание Zn в листьях бука почти в 3 раза больше, чем в листьях граба, отличающихся высокой концентрацией Sr.

Еще более наглядно это видно из табл. 7.4, где приведена масса металлов, ежегодно поступающих в почву с зеленым опадом в лиственных и хвойных (пихтовых) лесах.

Таблица 7.4

Масса металлов, кг, ежегодно поступающих с зеленым опадом в почву лесных ландшафтов на площади 1 га

Основная порода деревьев в ландшафте	Мп	Ni	Си	Ti	V	Zr	Ba	Sr	Pb	Zn
Пихта	10	0,18	0,17	3,1	0,04	0,09	1,7	0,9	0,05	0,27
Граб	76,1	0,55	0,7	2,1	0,21	0,55	7,8	4,76	0,2	0,6
Дуб	106,1	1,02	0,95	22,4	0,23	0,72^	11	1,87	0,26	0,94

Подобная картина наблюдается и во всех остальных природных (биогенных) ландшафтах. Приведенные данные однозначно свидетельствуют в пользу необходимости более дробного деления биогенных ландшафтов на втором классификационном уровне о укрупнением масштаба работ. При этом основой разделения должны оставаться особенности биогенной миграции химических элементов. Поэтому при работах в масштабе 1:50 000 и крупнев отдельные геохимические ландшафты *целесообразно на рассмотри' ваемом уровне объединять в один в зависимости от изменения расти-тельных комплексов или растительных ассоциаций*. Это позволит учест в каждом выделенном ландшафте общую биомассу, ежегодную продукцию, скорость разложения опада и свойства различных растений, приводящие к преимущественной концентрации отдельных химических элементов.

Кроме того, смена растительных ассоциаций отражает происходящие под воздействием техногенных процессов изменения щелочности почв, их солевого баланса, содержания в них углекислоты, видового состава и количества микроорганизмов. Таким образом, *смена растительности может быть еще одним важнейшим п казателем изменения техногенной нагрузки на отдельные участки би осферы*.

Перечисленные изменения геохимических и биохимических особенностей почв, тесно связанные со сменой растительных ассоциаций, могут оказать существенное влияние также на концентрацию определенных элементов в ландшафте в целом и его отдельных частях, что объясняется проявлением так называемого суммарного эффекта (табл. 7.5, 7.6).

Таблица 7.5

Изменение содержания металлов в золе ковыля из ландшафтов, отличающихся только растительными ассоциациями (Центральный Казахстан)

Растительная ассоциация	Элемент	Число проб	Процент обнаружения	Содержание элементов (массовые доли), %			
				фоновое	аномальное для разного числа коррелирующих проб		
					9	2-3	единичная
Полынно-злаковая	Pb	235	100	0,005	0,011	0,017	0,023
	Mo	235	94	0,002	0,0005	0,001	0,0017
	Ba	235	100	0,088	0,185	0,282	0,379
Кустарниково-злаковая	Pb	675	100	0,005	0,008	0,011	0,014
	Mo	675	91	0,0004	0,0011	0,0016	0,0027
	Ba	675	100	0,085	0,118	0,151	0,184

Таблица 7.6

Изменение среднего содержания Мо и Мп в почвах биогенных ландшафтов Центрального Кавказа, отличающихся только по составу растительности

Ландшафт	Элемент	Число проб	Среднее содержание с вероятностью 95% (массовые доли), %
Альпийских лугов	Мо	46	0,45 ±0,09
Хвойных лесов	Мо	42	0,27 ±0,04
Лиственных лесов	Мп	49	125,3 ±24,6
Лугов	Мп	27	54,4 ±4,1

I ик, по данной схеме при работах в масштабе 1:25 000 в пре-. Казахского мелкосопочника были выделены на втором ификационном уровне ландшафты полынно-злаковых и > ырниково-злаковых ассоциаций. Оказалось, что в этих пре-*v* Iлх (при всех прочих одинаковых условиях) одно и то же рснис может содержать разное количество тяжелых металлов (см. рбл, 7.5).

При смене растительности возможно существенное изменение Кош (снтраций элементов и в почвах, даже в тех случаях, когда все и кшьные классификационные признаки одинаковы. Это наблюннпся, например, в ряде ландшафтов Центрального Кавказа. В почилх, развитых на протерозойских гнейсах в высокогорных трансииовиальных ландшафтах альпийских лугов, среднее содержание Мо почти в два раза выше, чем в почвах таких же ландшафтов, занятых хвойными лесами. Содержание Мп в почвах на терригенных породах мелового возраста среднегорных трансаккумулятивных ландшафтов более чем в два раза превосходит его содержание и почвах аналогичных ландшафтов, занятых лугами (табл. 7.6).

Техногенные ландшафты, так же как и биогенные, следует классифицировать с учетом особенностей ведущего вида миграции. В этом случае ведущей является техногенная миграция. Исходя из этого отдельные техногенные ландшафты можно объединить в сельскохозяйственные, промышленные, лесотехнические, ландшафты населенных пунктов (селитебные), искусственных водоемов, дорожные ландшафты.

К *сельскохозяйственным ландшафтам* относятся земельные участки, используемые в полеводстве, животноводстве (различные помещения и окружающая их территория, выгоны, пастбища), растениеводстве (сады, виноградники, чайные и ягодные плантации и т.д.). Однако во всех этих ландшафтах при преобладаю-

щем значении техногенной миграции продолжает существо ИНП биологический круговорот элементов, и его роль иногда достй точно велика. Химические элементы, вовлекаемые в биологии ский круговорот, находятся в сельскохозяйственных ландша<|ш в тех частях культивируемых растений, которые не вывозятся | урожаем. К таким частям обычно относятся корни, листья, ботва овощей и т.п.

Особенности миграции элементов в сельскохозяйственных ландшафтах обусловлены следующими положениями, подтвер* дающими определяющую роль в процессе миграции ее техногенной составляющей:

• Ежегодно с площади 1 га вывозится с урожаем от 20 000 до 52 000 кг различных химических элементов, находящихся в био генной форме и в значительной мере связанных с растворами. Н безводном состоянии (при пересчете на сухое вещество) ежегодно с 1 га удаляется до 10 000 кг различных элементов.

• Среди постоянно выносимых химических элементов резко преобладают биофильные (O, K, N, P, Ca, Mg, Al, Si, S, Mn, Fe и др.). В небольших количествах вывозятся с урожаем и другие элементы, также находящиеся в биогенной форме.

• Ежегодно в сельскохозяйственные ландшафты вносится техногенным путем до 600 кг/га элементов в виде минералов, а часто и в форме техногенных соединений, не имеющих природных аналогов. Среди элементов, наиболее часто вносимых в почву с удобрениями, преобладают N, P, K; из микроэлементов — B, Мп, Mo и Си.

• Техногенным путем под отдельные культуры вносится до 40 т/га органических удобрений (навоз, торф, различные компосты). В этих удобрениях значительная часть химических элементов находится не в минеральной, а в биогенной форме.

• Небольшое количество химических элементов постоянно поступает при износе различных машин и инструментов, а также из оставляемых в ландшафтах упаковочных материалов (производственный мусор).

• Масса элементов, вовлекаемых в полный биологический круговорот, в сельскохозяйственных ландшафтах незначительна по сравнению с массой элементов, участвующих в техногенной миграции.

• Верхний горизонт почв большинства сельскохозяйственных ландшафтов подвергается постоянному техногенному механическому перемешиванию при перепахивании почв.

i h i" численные особенности миграции химических элементов пинают обоснованность вьщеления среди техногенных ландмон сельскохозяйственных. Их дальнейшее деление (как и ипг на этом уровне всех остальных техногенных ландшафтов) Him проводиться с учетом факторов, определяющих особенч ш техногенной миграции элементов. К числу основных факi".ii можно отнести следующие:

• содержание и формы нахождения основных химических ‖ июв (и их соединений), ежегодно выносимых за счет тех- }(нl т е з а с определенной площади ландшафтов, а также их соотпие с количеством элементов, вовлекаемых в данном ландшифте в биологический круговорот;

• содержание и формы нахождения основных химических «цементов (и их соединений), поступающих за счет техногенных процессов на определенную площадь ландшафтов;

• техногенное механическое перемещение элементов (приводи i нее к их более равномерному распределению, выносу или концентрации) в тех частях сельскохозяйственных ландшафтов, для Которых характерно максимальное напряжение геохимических процессов (обычно это почвы).

Учитывая указанные факторы, различные сельскохозяйственные шшдшафты можно объединить следующим образом: ландшафты, занимаемые преимущественно однолетними культурами, смена которых определяется особенностями севооборота; ландшафты с многолетними сельскохозяйственными культурами и животноводческие.

Несомненно, в пределах сельскохозяйственных ландшафтов происходит миграция элементов, связанная с механическим перемещением почв, а также с поверхностными и подземными водами. Особенности этой миграции будут рассмотрены в этой главе дальше.

На территории России наибольшую площадь занимают *ландшафты с севооборотом однолетних культур*. Основная масса химических элементов из этих ландшафтов удаляется техногенным путем в биогенной форме при уборке урожая. При этом на юге европейской части России с одного гектара, занятого *зерновыми культурами,* ежегодно собирают: зерна озимой пшеницы — от 1,9 до 4,3 т; соломы — от 4 до 7,5 т; кукурузы — до 8 т. В результате с площади 1 га ежегодно вывозится с зерном пшеницы около 10 кг азота, примерно 1,4 кг оксидов фосфора и около 2 кг оксидов калия, с соломой — примерно по 3 кг азота и оксидов калия и по 0,4 кг оксидов фосфора.

Помимо этого каждый год из сельскохозяйственных ландши тов с севооборотом однолетних культур вместе с урожаем выко i. ся многие металлы, содержание которых составляет лишь соты! тысячные доли процентов. Так, с 1 га убирается и вывозится с *щ* ном и соломой пшеницы, г: Мп — 600, Ba — 300, Ti — 200, Zn 100, Си - 3 0.

Техногенным путем в рассматриваемые ландшафты в минер; *\n* ной форме (удобрения) вносятся в основном азот, калий и ф<н фор. Например, «под пшеницу» обычно вносят в расчете на 1 20-60 кг аммиачной селитры — NH_4N0_3; 30—90 кг простого с перфосфата — $CaS0_4 + Ca(H_2P0_4)_2$ и 30-60 кг калийных удобрений — KC1 и K_2S0_4. Обычно же в ландшафты с севооборотом однолетних культур на 1 га вносятся 150-600 кг минеральных удо* брений и до 50 000 кг органических, в которых значительная часть элементов находится в биогенной форме. В биологический круговорот в ландшафтах с зерновыми культурами вовлекается совсем небольшое количество химических элементов. Их основная часть связана с корнями растений.

В ландшафтах с *овощными культурами* общая масса продукции, выращенной и вывезенной за пределы ландшафта, несколько больше, чем в случае с зерновыми культурами. Так, с 1 га в среднем убирают, т: огурцов — свыше 10, моркови и томатов — свыше 20, картофеля — около 30, а капусты — свыше 50. При этом с выращенной капустой вывозятся сотни граммов Ti и Sr и десятки граммов Zn, Си, Мп, Ba, Zr.

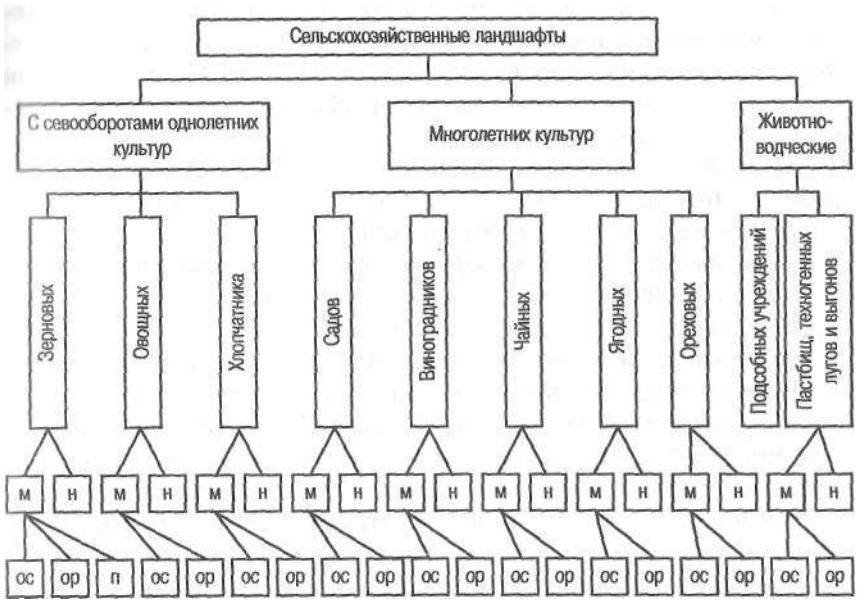
Количество химических элементов, вовлекаемых в биологический круговорот при выращивании овощных культур, может быть несколько больше, чем при зерновых культурах. Так, при выращивании помидоров ежегодная продукция (в пересчете на сухое вещество) колеблется на орошаемых землях от 4000 (без применения удобрений) до 9700 (при повышенных дозах удобрений) кг/га, причем на долю плодов приходится всего 35—54%. Но даже в рассматриваемом случае в результате техногенной миграции из почвы с плодами выносится до 42% всего калия, поглощаемого растениями, свыше 30% фосфора и азота, а также значительное количество железа и алюминия.

Следует отметить, что в ряде хозяйств с полей вывозится как корм скоту и ботва помидоров. В дальнейшем такое использование ботвы может стать повсеместным, и на полях помидоров в БИК будут вовлекаться только элементы, составляющие корни растений.

) '.ничество хлопка-сырца, получаемого с 1 га, обычно колеб-
I IT 2000 до 4500 кг. А для его выращивания на 1 га ландшаф-
< *часовых плантаций* вносится свыше 240 кг азота, 150 кг ок-
и ll калия и свыше 130 кг оксида фосфора.

Нес приведенные данные свидетельствуют, во-первых, о пра-
... II.II ости обособления ландшафтов с севооборотами однолетних
n.iyp, а во-вторых, о возможности в тех случаях, когда позво-
i масштаб работ, отдельно выделить ландшафты, в пределах ко-
их иыращиваются хлопчатник, овощные и зерновые культуры
(рис 7.3).

К *ландшафтам с многолетними сельскохозяйственными культурами* относятся сады, виноградники, чайные, ягодные и ореховые планщи. Из них также с урожаем вывозятся элементы в биогенной форме, а с удобрениями и средствами химической борьбы с вредителями, болезнями и сорняками вносятся — преимущественно н минеральной форме. Часть этих элементов вовлекается в биологический круговорот, поскольку почвы ландшафтов с многолетними культурами подвергаются частичному перепахиванию.



м - мелиорируемые; н - немелиорируемые; ос - осушаемые; ор - орошаемые; п - периодически заливаемые.

Рис. 7.3. Схема объединения сельскохозяйственных геохимических ландшафтов на втором классификационном уровне

Однако между сельскохозяйственными ландшафтами с **однЛ** летними и многолетними культурами имеются и значительные различия. Так, урожайность садов на юге европейской части России составляет около 3500 кг/га (при пересчете на минеральную, зольную часть — 35 кг/га), причем такая урожайность не является ежегодной, а повторяется только через несколько лет. Кроме того, и ландшафтах с многолетними культурами основная масса надземной и вся подземная часть растений не вывозится, в связи с чем в биологический круговорот здесь вовлекается несравненно большее (по массе) количество элементов. Эта особенность является одной из важнейших при классификации природных и техногенных ландшафтов.

Рассматриваемые ландшафты отличаются также по количеству и составу вносимых удобрений и пестицидов. Так, по данным В.Н. Корчагина, химических препаратов для борьбы с вредителями и болезнями растений в ландшафтах с однолетними культурами вносится в 1,5—3 раза меньше на единицу площади, чем в ландшафтах с многолетними культурами. Необходимо при этом отметить, что при обработке многолетних культур в почвы ландшафтов обычно вносится гораздо больше меди и железа (например, при геохимических исследованиях почв Краснодарского края все виноградники попали в зоны контрастных медных литохимических аномалий).

Отличаются ландшафты и по особенностям механической обработки почв: в ландшафтах с многолетними культурами перепахиваются только участки междурядий.

Животноводческие ландшафты имеют ряд специфических особенностей. Площадь их, как правило, гораздо меньше, чем сельскохозяйственных ландшафтов. Кроме того, они отличаются и крайне быстрой изменчивостью условий, определяющих миграцию элементов в их различных частях. Это объясняется тем, что животноводческие ландшафты состоят из таких разнородных, но связанных между собой в единое целое частей, как пастбища, выгоны, различные помещения и административные здания.

Химические элементы поступают в эти ландшафты в основном в биогенной форме с кормами, а выносятся как в биогенной и минеральной формах, так и в виде водных растворов. Постоянно в почвы ландшафтов с животноводческими фермами вносятся в повышенных концентрациях: C, P, N, S, K, Ca, Al, Mg.

Биологический круговорот химических элементов в животноводческих ландшафтах сравнительно ограничен и характерен лишь

I 1сгбищ (лугов). В эти части ландшафтов значительное коли-
.- ню элементов поступает и в минеральной форме — при вне-
ниц удобрений. Почвы на пастбищах иногда подвергаются пе-
114иканию (но не ежегодному).

классификация сельскохозяйственных ландшафтов при детализа-цшшых ландшафтно-геохимических исследованиях имеет ряд особен-
U'й. Так, ландшафты должны отличаться друг от друга, во-пер-
|Ы по набору основных химических элементов, постоянно вно-
• и-ид,Х и вывозимых из ландшафта; во-вторых, по массе элемен-
и, участвующих в БИК; в-третьих, по особенностям техногенной механической обработки почв.

Для большей части территории СНГ на площадях распрост-
|жиеиия преимущественно однолетних культур можно, как это было показано выше, обособить следующие наиболее распространенные ландшафты с севооборотами: 1) зерновых культур; 2) овощных культур; 3) хлопчатника. На территориях с многолетними сельскохозяйственными культурами возможно обособление ландшафтов, занятых: 1) садами; 2) виноградниками; 3) чайными плантациями; 4) ягодными плантациями; 5) ореховыми плантациями. Отдельные животноводческие сельскохозяйственные ландшафты можно объединять в следующие: 1) пастбища, техногенные луга и выгоны; 2) территории, занятые подсобными помещениями.

Изучение особенностей миграции химических элементов в сельскохозяйственных ландшафтах показало, что почвы в них (как и в биогенных) продолжают испытывать интенсивное напряжение геохимических процессов. При этом в указанных ландшафтах отсутствуют геохимически наименее активные почвы, характерные для биогенных ландшафтов пустынных районов. Последнее связано с тем, что при их сельскохозяйственном освоении поступают дополнительные порции воды. В большинстве случаев это результат определенных техногенных процессов, а следовательно, изменение ранее существовавшего водного режима должно учитываться в классификационных системах. По данному признаку все сельскохозяйственные ландшафты объединяются в мелиорируемые и немелиорируемые. Наибольшее значение обычно имеет водная миграция. С ее учетом целесообразно различать орошаемые, осушаемые и периодически заливаемые ландшафты. К последним относятся рисовые чеки.

На осушаемых землях изменение водного режима часто вызывает смену кислородного режима почвенных горизонтов. В осу-

шенных торфяниках вместо ранее существовавших глеевых шмш нают преобладать процессы окисления и минерализации органп ческого вещества. По данным В.К. Лукашева (1983), в результи» те осушения часть природных супераквальных ландшафтов в Бе» лоруссии перешла в техногенные с явными чертами элювиальных ландшафтов.

На орошаемых землях объем получаемой ежегодно продукции возрастает в 4—5 раз. В результате эти земли, составляющие около 13% площади пашен, дают более 50% мирового урожая. Соответственно с них происходит наибольший техногенный вынос элементов, находящихся в биогенной форме.

Однако орошение часто приводит к вторичному засолению поча, Указанному процессу в мире подвержено до 40% всех орошаемых земель. Важную роль в развитии засоления играют такие природные факторы, как сухой климат, небольшая глубина залегания фунтовых вод, повышенная степень их минерализации и т.д. В результате засоления изменяются геохимические особенности почв, а накопившиеся в них элементы препятствуют нормальному развитию растительных и животных организмов. Наибольший вред экономике приносит засоление сельскохозяйственных ландшафтов. Так, уже при слабом засолении почв урожайность хлопчатника и пшеницы снижается на 50—60%, кукурузы на 40—50%, а ячменя на 30—40%. Таким образом, геохимии сельскохозяйственных орошаемых ландшафтов должно уделяться особое внимание.

В периодически заливаемых ландшафтах почвы во время покрытия водой становятся подобны илам в реках или почвам пойм. Однако в отличие от последних срок залива земель не совпадает с паводками и довольно продолжителен. Кроме того, в рассматриваемые ландшафты вносится большое количество удобрений в минеральной форме.

Примерная схема объединения сельскохозяйственных ландшафтов на втором классификационном уровне приведена на рис. 7.3. Здесь указаны только основные для территории СНГ сельскохозяйственные ландшафты. С изменением климатических условий, вида выращиваемых культур, технологии выращивания, а также технологии мелиорации, несомненно, появятся новые геохимические ландшафты.

Следует также отметить, что в предлагаемой схеме учтены и природные (в основном климатические) факторы миграции элементов. Ими определяется выбор соответствующих сельскохозяйственных культур.

Но данным автора и В.Н.Серикова, в почвах большинства HI кохозяйственных ландшафтов в результате техногенеза чаще рриеходит общее увеличение фонового (среднего) содержания ме-utnoit, а не образование отдельных региональных техногенных ано-• щи. Такие аномалии практически отсутствуют в сельскохозяй-шпшых ландшафтах даже около крупных промышленных цен-^Нроп Вероятнее всего это объясняется постоянным перепахиванием земель. Выявленные региональные (масштаб работ 1:500 000) щомалии, как правило, были связаны с особенностями геологи-кою строения регионов и наличием месторождений полезных K< копаемых.

Так, в пределах Ростовской области природные региональные пмомалии в почвах сельскохозяйственных ландшафтов выявились при мощности толщ, перекрывающих потенциально рудоносные структуры, от 200 до 1000 м (рис. 7.4). Выделение аномальных участков проводилось на ландшафтно-геохимической осно-

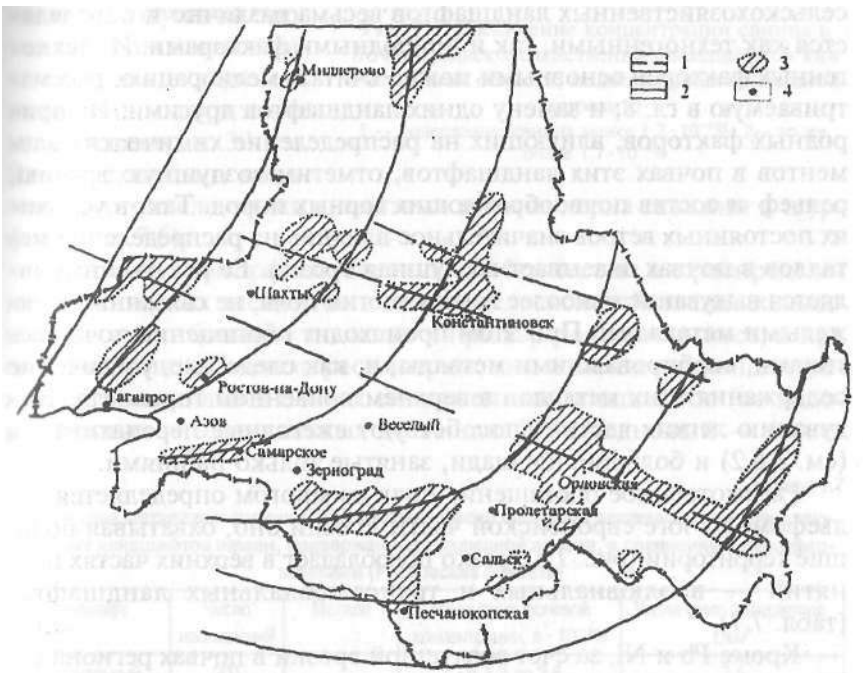


Рис. 7.4. Связь природных региональных аномалий в почвах сельскохозяйственных ландшафтов с рудоносными структурами (на примере Ростовской области):
1 — разломы Донецкой системы; 2— разломы вихревой системы; 3 — контуры геохимических аномалий; 4 — населенные пункты

ве, положение определенных геологических структур устанавливалось геофизическими методами (В.А.Алексеенко, В.А.Лихачев, А.В.Зайцев и др.)- В пределах части аномалий проводилось бурение скважин, которыми были пересечены зоны дробления с сульфидной минерализацией и высокой концентрацией металлов, образующих аномалии в почвах сельскохозяйственных ландшафтов. Таким образом, была подтверждена связь выявленных аномалий с определенной геологической ситуацией в регионе.

В Краснодарском крае значительная часть аномалий в почвах сельскохозяйственных ландшафтов связана с месторождениями нефти и газа Тамани (см. рис. 4.20). Как и предыдущие, эти аномалии хотя и слабоконтрастные, но четко выделяются при использовании ландшафтно-геохимической основы, когда для каждого ландшафта определяются свои значения фоновых и аномальных содержаний металлов (см. 4.4.2).

Фоновое содержание химических элементов в почвах разных сельскохозяйственных ландшафтов весьма различно и определяется как техногенными, так и природными факторами. Из техногенных факторов основными можно считать мелиорацию, рассматриваемую в гл. 8, и замену одних ландшафтов другими. Из природных факторов, влияющих на распределение химических элементов в почвах этих ландшафтов, отметим воздушную эрозию, рельеф и состав почвообразующих горных пород. Так, в условиях постоянных ветров значительное влияние на распределение металлов в почвах оказывает воздушная эрозия. Ее результатом является выдувание наиболее легких частиц почв, не связанных с тяжелыми металлами. При этом происходит обогащение почв частицами, сорбировавшими металлы, и, как следствие, увеличение содержания этих металлов в верхнем почвенном горизонте. Выдуванию легких частиц способствуют ежегодные перепахивания (см. 3.6.2) и большие площади, занятые только пашнями.

Рассмотренное обогащение почв во многом определяется рельефом. На юге европейской части России оно, охватывая большие территории (рис. 7.5), резко преобладает в верхних частях поднятий — в элювиальных и трансэлювиальных ландшафтах (табл. 7.7).

Кроме РЬ и Ni, за счет воздушной эрозии в почвах региона существенно возросла концентрация Си, Zn, Cr, Мп. Если учесть, что в рассматриваемом случае площадь, подверженная воздушной эрозии, составляет около 40 000 км^2, то получится, что в ее пределах накопилось, т: Си — около 72 000, Ni — 84 000, Zn —

и,ко же, Pb — 96 000, i i - 264 000, Мп - • 000.

Еще большим явля- #км вынос основных «имических элементов, Покидающих с удобрениями. Так, при аэро- HWbioM переносе слоя юшностью всего 1мм и воздухе 1 га поднимании примерно, кг: N — 16, Р - 24, К - 80.

I? зонах обогащения Почв тяжелыми металлнми за счет рассматриваемой воздушной эро-

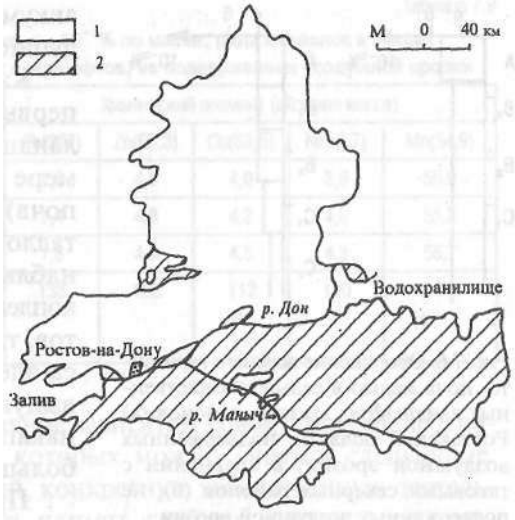


Рис. 7.5. Увеличение концентрации свинца в почвах сельскохозяйственных ландшафтов юга Ростовской области, подверженных воздушной эррозии:
1 — содержание свинца менее 1,7-10 °%; 2—то же, более 1,7-10"%

Ni И металлы накапливаются ЛИШЬ В верхнем, пахотном горизонте МОЩНОСТЬЮ ДО 30 СМ. •)ю убедительно доказшю многочисленными анализами почв из керна скважин и шурфов (рис. 7.6).

Влияние геоморфологических особенностей на распределение химических элементов в почвах сельскохозяйственных ландшафтов имеет большое значение и при аэрозольном выносе, и при его отсутствии. Сначала рассмотрим, как изменяется концентрация ряда металлов в почвах сопряженных ландшафтов (от водораздельных — элювиальных до ландшафтов подножий — транс-

Таблица 7.7

Обогащение металлами верхнего 30-сантиметрового слоя почв элювиальных и трансэлювиальных ландшафтов пашен, подверженных воздушной эрозии, в сравнении с неподверженными (Ростовская область)

Ландшафт	Число наблюдений	Металл	Изменение фоновой концентрации, n · 10^{-3}%	Увеличение содержания, т/км²
Элювиальный	201	Pb	От 1,3 до 2,6	7,8
Трансэлювиальный	828		От 1,4 до 2	3,6
Элювиальный	201	Ni	От 3,9 до 4,9	6
Трансэлювиальный	828		От 4,2 до 4,6	2,4

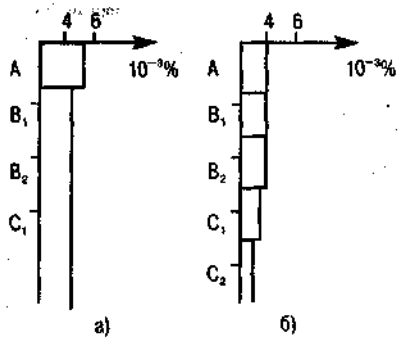


Рис. 7.6. Обогащение верхнего горизонта почв медью в сельскохозяйственных ландшафтах южных районов (а) Ростовской области, подверженных воздушной эрозии, в сравнении с таковыми северных районов (б), не подверженных воздушной эрозии

A, B_1, B_2, C_1, C_2 — опробованные горизонты вертикальных почвенных горизонтов

аккумулятивных) в случае воздушной эрозии (табл. 7.8).

Как видно из таблицы, во-первых, в почвах элювиальных ландшафтов (где в наибольшей мере проявилось выдувание почв) содержание тяжелых металлов наибольшее; во-вторых, наблюдается тенденция к накоплению более тяжелых элементов, т.е. чем выше атомная масса элементов, тем они труднее выдуваются, а следовательно, накапливаются в относительно больших количествах.

При практическом отсутствии воздушной эрозии наиболее тяжелые частицы постепенно опускаются вниз как по профилю почв (это хорошо видно из рис. 7.6), так и по склону в сопряженных ландшафтах (табл. 7.9). В последнем случае выявляется тенденция к накоплению в значительных концентрациях элементов с большей атомной массой у подножия склонов. Это соответствует рассмотренной схеме миграции металлов в почвах сельскохозяйственных ландшафтов, не подверженных воздушной эрозии.

Несомненное влияние на фоновое содержание в почвах различных сельскохозяйственных ландшафтов оказывает и состав

Таблица 7.8

Изменение фонового содержания, $n \cdot 10^{-3}$% по массе, ряда металлов в почвах сопряженных сельскохозяйственных ландшафтов, подверженных воздушной эрозии

Ландшафт	Число проб	Химический элемент (атомная масса)				
		Pb(207)	Zn(65,3)	Cu(63,5)	Ni(58,7)	Mn(54,9)
Элювиальный	196	2,6	6	5	4,9	67,9
Трансэлювиальный	241	2	5,3	4,8	4,6	61,4
Трансаккумулятивный	77	1,8	4,9	4,5	4,6	56,7
Относительное увеличение концентрации металлов на водоразделах, %		144	122	111	106	109

Таблица 7.9

Изменение фонового содержания, n · 10^{-3}% по массе, ряда металлов в почвах сопряженных сельскохозяйственных ландшафтов, не подверженных воздушной эрозии

Ландшафт	Число проб	Химический элемент (атомная масса)				
		Pb(207)	Zn(65,3)	Cu(63,5)	Ni(58,7)	Mn(54,9)
[illegible]	66	1,3	4,9	4,0	3,9	55,9
[illegible]	396	1,4	4,8	4,2	4,0	55,8
[illegible]	77	1,8	4,9	4,5	4,3	56,7
Относительное увеличение концентрации металлов у подножия склонов, %		138	102	112	110	101

I .мп.ротном случае такое влияние зависит от совокупности еще мно- причин, главными из которых можно считать следующие: шпость рыхлых отложений, конкретную хозяйственную деятель-.....ть в пределах ландшафта, климат, глубину водоносного гори- "Щ i a. Конечно, в разных регионах (и даже в районах одного репки ia) мы встречаемся с различным сочетанием перечисленных факторов. Поэтому установить общие для всех случаев закономерности распределения элементов в почвах сельскохозяйственных ландшафтов от состава почвообразующих пород пока невозможно. (Подует только знать, что, как правило, концентрация многих элементов в почвах зависит от состава пород. Так, например, на юге пцюпейской части России в 100% случаев над четвертичными лиманными отложениями в почвах сельскохозяйственных ландшафта содержание РЬ превышает кларковое.

Промышленные ландшафты. **К** ним относятся: территории, расположенные за пределами населенных пунктов и занятые промышленными предприятиями; автозаправочными станциями; карьерами и шахтами с постройками, необходимыми для их эксплуатации; участками добычи нефти, газа, подземных вод; аэропортами и аэродромами, а также отвалами горных пород у шахт, карьеров и обогатительных фабрик (рис.7.7). Роль биологического круговорота элементов в этих ландшафтах минимальна. Практически о нем можно говорить только в двух случаях. Первый из них — нахождение среди промышленных ландшафтов «реликтовых пятен» биогенных ландшафтов, ранее существовавших на этом месте (например, кусочек степи или отдельные деревья на территории горно-обогатительного комбината). Такие реликтовые ландшафты испытывают огромное техногенное воздействие, а занима-



Рис. 7.7. Схема объединения промышленных геохимических ландшафтов на втором классификационном уровне

емые ими площади составляют максимум несколько процентов от площадей включающих их промышленных ландшафтов. Постепенно под техногенным воздействием они или исчезают, или переходят в сады, цветники и т.п. Именно эти сады и цветники представляют собой второй случай существования БИК в промышленных ландшафтах, который резко отличается от природного и крайне ограничен. Вывоз элементов, находящихся в биогенной форме, непосредственно из промышленных ландшафтов практически отсутствует.

Таким образом, промышленные ландшафты отличаются от всех биогенных ландшафтов по особенностям миграции элементов, а друг от друга — еще по числу и разнообразию так называемых «приоритетных» загрязняющих веществ, а часто и по форме их нахождения. Так, *заводы и фабрики,* поставляя за пределы ландшафта свою продукцию, выделяют в атмосферу целый ряд газообразных соединений и аэрозолей. Кроме того, они являются источником многочисленных поллютантов (в том числе и не имеющих природных аналогов), поступающих за пределы ландшафтов с поверхностным стоком и уже использованными на предприятиях водными растворами. На территории ландшафтов заводов и фабрик химические элементы (их соединения) завозятся в виде сырья. В зависимости от профиля предприятия оно может быть представлено химическими элементами в различных формах нахождения.

Следует отметить, что пока о загрязнении окружающей среды говорят в случаях поступления поллютантов как побочных продуктов производства. Однако важнейшей проблемой является утилизация самих продуктов производства после из использова-

t И связи с этим в стоимость продукции целесообразно заклаоредства, необходимые для ее последующей утилизации в ....их потребления продукции. Об этом писал Ю.А. Жданов в I I I Сами же предприятия можно рассматривать и как источим и шгрязнения среды, удаленной от них на расстояния техноюй и социальной миграции.

II *ландшафтах различных шахт, рудников и карьеров* ввоз химике к их элементов (их соединений) сравнительно мал. Обычно их |1 и .шиком является оборудование, необходимое для функционирования шахт, рудников и т.д. Сами же ландшафты являются инщиками значительных масс химических элементов, нахо• Шихся преимущественно в минеральной и изоморфной формах (икнючая нефть, добывающуюся на ряде шахт). Из рассматриваемых ландшафтов химические элементы как побочные продукты производства поступают в другие ландшафты в виде водных pactnoроВ (в основном при откачке вод), а также коллоидной (час- i им по в виде аэрозолей) и сорбированной формах.

Ландшафты отвалов горных выработок и обогатительных фабрик обычно создаются на месте биогенных ландшафтов в результате перемещения значительных масс минеральных соединений. Во многом они подобны зонам социальных геохимических барьеров (см. гл. 6). Однако в отличие от них в ландшафтах отвалов накапливаются элементы, соответствующие их определенным природным ассоциациям. В то же время многие соединения, попавшие в отвалы, находятся в условиях, не соответствующих их образованию и возможности существования. Значительная часть минералов, поступающих в отвалы, образовалась в восстановительных условиях. Попав в кислородную обстановку, они начинают окисляться. Рассмотрим это на примере одного из распространенных сульфидов — пирита:

$$2FeS_2 + 7O_2 + 2H_2O \rightarrow 2FeSO_4 + 2H_2SO_4,$$
$$4FeSO_4 + O_2 + 10H_2O \rightarrow 4Fe[OH]_3 + 4H_2SO_4,$$
$$4Fe[OH]_3 \rightarrow 4FeO[OH] + 4\,H_2O.$$

Получающаяся в процессе окисления серная кислота начина[1] ет реагировать и с породами, составляющими основную часть отвалов, и с сульфидами других металлов. Одним из продуктов этих реакций может быть ядовитый сероводород:

$$FeS_2 + H_2SO_4 \rightarrow FeSO_4 + H_2S\uparrow + S.$$

Часть реакций окисления идет с выделением тепла, которого оказывается достаточно для возгорания углистого вещества отвалов. В результате горения отвалов в атмосферу выделяется значи-

тельное количество ядовитых газов (CO, H_2S и др.) и аэрозолей различного состава.

Наиболее перспективный способ нейтрализации отрицатель» I ного воздействия отвалов на соседние ландшафты — создание н|] них почв и посадка различных растений.

Ландшафты автозаправочных станций занимают небольшие площади, но резко отличаются от уже рассмотренных ландшаф тов по особенностям привноса в пределы их территорий химических элементов и по составу поступающих от них в другие ландшафты загрязняющих веществ. Среди последних резко преобладают углеводороды и свинец. У сотрудников, работающих или долгое время находящихся в этих ландшафтах, могут возникать профессиональные заболевания. Детальным ландшафтно-геохимическим исследованиям территории автозаправочных станций пока не подвергались.

Ландшафты нефте (газо-, водо-) промыслов по ряду особенностей близки к ландшафтам автозаправочных станций. В них также поступает большое количество углеводородов. Значительная их часть концентрируется в почвах, но, в отличие от ландшафтов автозаправочных станций, здесь остается много металлов от изнашивания инструментов и механизмов, а также от обилия обычно оставляемых на этих территориях различных поломанных механизмов, труб и другого металлолома.

В подавляющем большинстве случаев нефть и газ добываются из скважин. Однако еще сохранились и горные выработки, пройденные для такого способа добычи нефти.

Территории, в пределах которых ведется добыча подземных вод, отличаются от ландшафтов нефте-(газо-)промыслов гораздо меньшим загрязнением углеводородами. Среди них можно выделить ландшафты с добычей питьевых, технических и минеральных вод. Очень часто все эти ландшафты характеризуются повышенными количествами воды, поступающей на поверхность. Это приводит к поднятию уровня подземных вод и, как следствие, к засолению почв. Пока указанные ландшафты изучены недостаточно полно.

Ландшафты аэропортов отличаются своеобразным загрязнением территорий, во многом связанным со сгоранием топлива и износом различных механизмов. Как правило, около аэропортов, выносимых за пределы населенных пунктов, создаются новые небольшие поселения. Их геохимические особенности, как и особенности самих аэропортов, пока изучены недостаточно полно.

і и им образом, каждый из выделенных промышленных гео-
'•ких ландшафтов отличается не только по особенностям по-
пия и удаления за его пределы химических элементов (их
мнений), но и по составу самих соединений. Это делает пра-
тчиым все рассмотренное выделение отдельных промышлен-
і < охимических ландшафтов. Такая детальная классифика-
южна использоваться при крупномасштабных и специаль-
ишдшафтно-геохимических исследованиях.

Особенности миграции химических элементов, поступающих и> промышленных ландшафтов и загрязняющих новые, зависят щ ряда факторов, из которых внешние определяются особенноимми загрязняющих ландшафтов и рассматриваются в следующей главе.

Лесотехнические ландшафты объединяют участки площадных и сопосадок, вырубки лесов (лесоразработок), лесных плантаций и кчозащитных полос, находящихся за пределами населенных пункжж и промышленных ландшафтов (рис. 7.8). Среди рассматриван и я ландшафтов несколько обособленно стоят *ландшафты лесорч чшботок*. В первую очередь они отличаются значительным техногенным вывозом элементов, находящихся в биогенной форме. Кроме того, в почвы этих ландшафтов попадает большое-количе-< і но различных растительных остатков (ветки, кустарник, лесной подрост), срубленных, но не вывозимых с участков лесоразработок. За счет этого в биологический круговорот в первые годы вонлекается гораздо больше элементов, чем в ранее существовавших



Рис. 7.8. Схема объединения лесотехнических ландшафтов на втором классификационном уровне

лесах. Однако под воздействием гумусовых кислот, образующих ся при разложении растительных остатков, из почв возможен и зн« чительный вынос некоторых соединений.

Следует также отметить, что в ландшафты лесоразработок по* ступает определенное количество элементов (их соединений), HI характерных (и даже чуждых) ранее существовавшим лесам. Это различный производственный мусор, продукты износа машин и механизмов, нефтепродукты и др. В своем дальнейшем развитии ландшафты лесоразработок могут постепенно переходить в био генные ландшафты болот, степей и лесов.

Часто на месте лесоразработок ведется посадка новых лесов, т.е. происходит формирование *ландшафтов площадных лесопосадок*. Как правило, они чаще всего располагаются среди биогенных лесных ландшафтов. Рассмотрим основные особенности миграции элементов в этих лесотехнических ландшафтах. Их созданию, как уже указывалось, в большинстве случаев предшествует вырубка ранее существовавших лесов, т.е. техногенный вынос элементов, находящихся в биогенной форме. При этом общее количество элементов, вывозимых с площади в 1 га (биомасса), обычно колеблется от 100 до 600 т. Основными вывозимыми элементами (кроме O, C, и H) являются N, K, Ca, P, Mg, Si, Al, Mn, Fe, Na, S, CI. Их содержание в минеральной (зольной) части вывозимой биомассы колеблется от десятых долей до десятков процентов и меняется в зависимости от породы вывозимого леса и ландшафтно-геохимических условий его существования. Кроме этих элементов, в зольной части удаляемой биомассы в сотых и тысячных долях процента содержатся Ni, Cu, Ti, V, Zn, Zr, Ba, Sr и др.

После вывоза леса производится планировка территории, включающая в себя механическое перемещение почвенных горизонтов, а иногда (при создании в горных условиях террас) и почвоподстилающих горных пород. Затем осуществляется посадка нового леса семенами и саженцами, т.е. в ландшафт привносится небольшое количество элементов в биогенной форме. Посадка часто сопровождается внесением удобрений (поступление элементов в минеральной форме), после чего процесс интенсивного техногенного воздействия на ландшафт прекращается (хотя иногда на протяжении нескольких лет вносятся минеральные подкормки) до созревания леса, которое происходит обычно через десятки, а иногда и сотни лет.

Очень близки к ландшафтам площадных лесопосадок *ландшафты лесных плантаций,* в число которых входят плантации, явля-

книт-си источником сырья для целлюлозно-бумажных комбинаций 11 плантации энергетических лесов. Опыт работ на юге России показал, что к числу «скороспелых» могут относиться и .....шые тополевые леса, «созревающие до требований к сырью і полозно-бумажных комбинатов» примерно за 16 лет. При щдборе пород растений для энергетических лесов, по данным Й К Лукашева, хорошим показателем является длина годового по- і гвыше 3 м. Государственные посадки энергетических лесов •КС существуют на заболоченных участках в Швеции, а по мнению финских ученых, в их стране такие леса позволят в ближай- .....М будущем заменить 3—4 млн т импортируемой нефти. ПротttH'с увеличения площадей с посадками энергетических лесов отражает, вероятно, объективную необходимость и будет продолжать- t и и различных регионах мира.

Подбор специальных пород для выращивания лесных плантаций вызывает определенные отличия в биологическом круговороте)тих лесотехнических ландшафтов. Кроме того, в ландшафтах энергетических лесов проводится специальная обработка почвы и внесение минеральных подкормок. Все это в сумме обусловило их симостоятельное выделение среди лесотехнических техногенных ммпдшафтов (см. рис. 7.8).

Лесополосы отличаются от ландшафтов площадных лесопосадок отсутствием предшествующих вырубок, необычным для лесов подбором деревьев (и для природных ландшафтов, ранее существовавших на месте лесополос), а главное — небольшой шириной песопосадок.

Отсутствие предшествующих вырубок приводит к выпадению in схемы миграции элементов первого звена, рассмотренного для площадных лесопосадок, — техногенного выноса из ландшафтов элементов, находящихся в биогенной форме. В связи с этим в первые годы существования лесопосадок в почвах происходит меньше геохимических изменений, в частности минимален вынос водами органических кислот и некоторых элементов.

С видом растений связаны изменения геохимических рядов потребления и возврата элементов, а следовательно, и биологического круговорота элементов в целом. Кроме того, в лесополосах часто встречаются посадки фруктовых деревьев. В этих случаях из- іа ежегодного вывоза химических элементов с плодами биологический круговорот нарушается, а лесополосы по ряду особенностей приближаются к ландшафтам садов.

От ландшафтов лесных плантаций лесополосы отличаюк і І основном отсутствием ежегодной техногенной обработки и сии] циального внесения подкормок. Небольшая ширина лесополос сгм собствует усилению влияния на этот ландшафт соседних ландшафи тов, которые могут быть как техногенными, так и природными Если лесополосы расположены среди полей (наиболее частое я и ление), то в них попадают удобрения, используемые при выращн* вании отдельных растений на соседних сельскохозяйственных ландшафтах, а также различные химические препараты, приме! НІ • емые для борьбы с болезнями выращиваемых сельскохозяйственных культур и уничтожения вредителей и сорняков. Особенно мно го попадает в ландшафты лесополос удобрений и пестицидов при внесении их на поля с помощью авиации.

Существенное влияние на лесополосы оказывают также соседние природные ландшафты. В этом случае в лесополосах наблюдается большое число растений, «переместившихся» из соседних ландшафтов. Так, в некоторых лесополосах на юге европейской части страны отмечено своеобразное «остепнение».

Приведенные данные указывают на весьма существенные отличия миграции элементов в лесотехнических ландшафтах от миграции во всех остальных техногенных ландшафтах и даже в наиболее близкостоящих к ним ландшафтах садов. В то же время следует отметить, что большинство лесотехнических ландшафтов (за исключением лесных плантаций) может постепенно переходить в ландшафты обычных лесов.

При среднемасштабных ландшафтно-геохимических исследованиях часто становится необходимым более дробное деление лесотехнических ландшафтов, за основу которого следует брать особенности техногенной миграции (см. рис 7.8).

Техногенные дорожные ландшафты объединяют дороги и сопровождающие их дренажные системы. Зоны отчуждения вдоль дорог являются самостоятельными ландшафтами. Они могут относиться к природным (например, степи) или техногенным (огороды), испытывающим постоянную и своеобразную техногенную нагрузку. Дороги не имеют никаких природных аналогов и резко отличаются от пересекаемых ими природных и техногенных ландшафтов по набору химических элементов (соединений) и формам их нахождения, по морфологическим особенностям и особенностям геохимической связи с соседними ландшафтами, а также по миграции элементов в пределах самого ландшафта.

Ландшафты автомобильных и железных дорог различаются между
""И, ио-первых, по «экранирующему воздействию», т.е. способ-
N in іпрепятствовать миграции (обмену элементами) между дву-
н гимн ландшафтов, разделяемых дорогой, во-вторых, по на-
, >цементов, «поставляемых» ими в соседние ландшафты.
l 1▶и дальнейшем делении целесообразно учитывать тип по-
iiMini дорог и интенсивность движения транспорта. Именно
ни параметры определяют геохимическую специфику и самих
Ц»l и их воздействие на соседние ландшафты (рис. 7.9). В прак-
!им' геохимии ландшафта основное внимание пока уделяется не
| ймим дорожным ландшафтам, а их влиянию на соседние ланд-
Шиф'ГЫ.

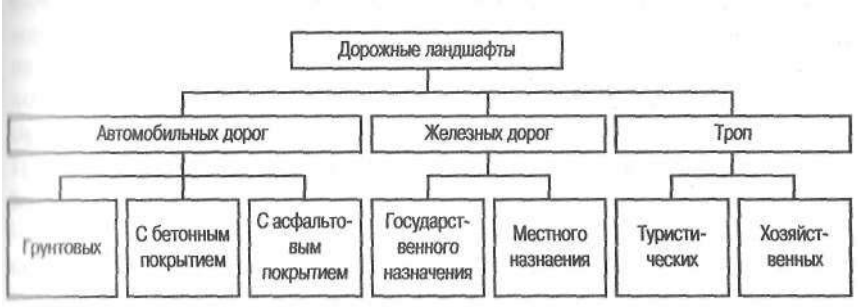


Рис. 7.9. Схема объединения дорожных ландшафтов на втором классификационном уровне

В некоторых случаях (например, в заповедниках, в части горных ландшафтов) к рассматриваемой группе ландшафтов относятся *тропы*. При крупномасштабных исследованиях они разделяются на пешеходные (обычно туристические) и тропы для перевозки грузов вьюками (хозяйственные). При экологических исследованиях основное внимание уделяется не тропам, а их влиянию на окружающие ландшафты.

Ландшафты населенных пунктов (селитебные ландшафты) — это населенные пункты с комплексами жилых зданий, приусадебных участков, городских промышленных предприятий, зон отдыха и рекреации (сады, скверы, парки и др.) (рис. 7.10). Отдельные части ландшафтов имеют много общего с уже выделенными группами техногенных ландшафтов. Так, городские промышленные предприятия во многом подобны как бы несколько уменьшенным промышленным ландшафтам с аналогичными



Рис. 7.10. Схема объединения ландшафтов населенных пунктов на втором классификационном уровне

комплексами и механизмом техногенного поступления химических элементов и их соединений на территории ландшафта. Сады, парки, зоны отдыха и рекреации близки к лесотехническим ландшафтам, а приусадебные участки, по основным закономерностям техногенного привноса и выноса элементов, подобны огородам и садам, относимым к сельскохозяйственным ландшафтам. Однако селитебные ландшафты, отдельные части которых имеют почти полные аналоги среди различных групп техногенных ландшафтов, объединить с какими-то другими техногенными ландшафтами невозможно.

Ландшафты населенных пунктов обладают целым рядом присущих только им особенностей, которые определяют ход миграции элементов в этих ландшафтах. Так, количество грунтовых вод на единицу площади в населенных пунктах выше, чем в окружающих ландшафтах. Это связано, во-первых, с техногенным поступлением воды (полив улиц, приусадебных участков, парков; просачивание и аварийные прорывы питьевых, промышленных и сточных вод), а во-вторых,— с резким уменьшением площадей, с которых возможно непосредственное испарение.

Селитебные ландшафты отличаются от окружающих не только количеством подземных вод, но и их составом, причем характерной особенностью состава подземных вод является мозаичность. Так, в подземных водах, отобранных в различных частях крупного промышленного центра, общая минерализация изменяется в 3—5 раз, содержание сульфатов — в 100—160 раз, количество сум-

мою Na и K — в 300 раз, а хлоридов — в 10 000 раз. Содерини (меньшинства компонентов в водах в центральной части го-
.... yiu-личивается. Это особенно характерно для старых насе-
|н пунктов, начавших формирование вокруг промышленных
приятии.

t утественно отличаются и почвы городских ландшафтов от и HI (оседних с ними и ранее существовавших на их месте ландп н|,к)|(. Следует отметить, что в старых городах первичных почв м' " шчсски нет вообще (они относятся к захороненным), а сонные почвы в таких городах представляют собой смесь при-
И » иных почв с промышленным, бытовым и строительным му-
> и|н>м. Содержание в них некоторых элементов (в том числе и ток-
t Ичпых тяжелых металлов) часто повышено; распределение эле-
И1 т о н — мозаично. Концентрация определенных элементов в почин \ ра УШЧНЫХ участков города зависит от количества и состава на-
|рдящегося в них городского мусора (строительного, бытового, промышленного). Так, по данным И.К. Неждановой и В.И. Сye-
i int;i, увеличение в почвах Ленинграда содержания свинца и цин-
• связано с наличием в них обломков кирпичей, а никеля — с присутствием шлаков.

Содержание в почвах некоторых элементов зависит от коли-Бства и состава загрязняющих веществ, поступивших из подземных и поверхностных вод, из атмосферы (прямое выпадение из дымов и поступление с атмосферными осадками) и путем просто-
i о механического перемещения от зон их концентрации.

От соседних ландшафтов отличается и городская растительность, которую обычно подбирают по принципу максимальной выжива-
•мости в новых ландшафтно-геохимических условиях. Так, во ипогих южных городах основными деревьями являются тополя, <отя среди соседних природных, биогенных ландшафтов тополе-tbie леса практически не встречаются. Городская растительность выделяется и по комплексу концентрирующихся в ней элементов. Например, в золе листьев тополя, произрастающего вдоль улиц с интенсивным автомобильным движением и в зонах загрязнения предприятиями химической промышленности, содержание РЬ в 1есятки раз превосходит обычное.

Характерными особенностями обладает и приземная атмосфера городов. Так, по данным Ж. Детри, в атмосферу города Лос-\нджелеса в течение только одних суток поступает, т: углеводородов — 1320,5; ацетальдегидов — 60,5; других органических газов и паров — 127,5; оксидов азота — 634,5; оксидов серы — 496;

угарного газа — 5068; остальных неорганических газов — 5; аэро« золей — 89.

Таким образом, селитебный ландшафт как единое целое суще» ственно отличается не только от соседних или ранее существовавших на его месте биогенных ландшафтов, но и от всех техногенных ландшафтов. Своеобразные условия миграции химических элементов в ландшафтах населенных пунктов привели к образованию специфического, характерного лишь для селитебных ландшафтов состава почв, вод, растений и приземной атмосферы.

Разделение ландшафтов населенных пунктов производится в первую очередь по особенностям техногенной миграции элементов. С учетом этого признака среди них можно выделить ландшафты: промышленных центров государственного значения; городов регионального (краевого, областного) значения; городов местного значения, поселков, станиц, железнодорожных станций; рудников, шахт, обогатительных фабрик; курортов; хуторов.

Рассмотрим основные отличительные особенности ведущего (техногенного) вида миграции в выделенных ландшафтах, а следовательно, и правомерность предлагаемого деления.

Объем завозимых в населенные пункты продуктов питания, строительных материалов, промышленных товаров зависит от числа жителей, т.е. от размеров населенных пунктов. Этот же показатель обуславливает и развитие городского транспорта (как общественного, так и личного), являющегося постоянным источником поступления в ландшафт специфических соединений: пыли от износа покрышек автомобилей и троллейбусов; колес и рельсов трамваев; выхлопных газов автомобилей. От числа жителей зависит и количество отходов, вносимых в ландшафт в результате нормальной их жизнедеятельности. В значительной мере этим же показателем контролируется и количество удаляемых из ландшафта отходов, степень их очистки и способы захоронения (утилизации). Таким образом, размер населенного пункта (число жителей) во многом определяет баланс техногенной миграции элементов в ландшафте.

Однако количество и состав ввозимого в населенный пункт сырья, способы его обработки, объем отходов, форма нахождения элементов обусловлены профилями предприятий, действующих в рассматриваемом пункте. Часто профиль основных предприятий оказывает значительное влияние и на систему очистки и способ захоронения отходов со всего города или из его отдельных районов. Таким образом, вторым важным фактором, определяющим

.... і MI і мости техногенной миграции элементов в ландшафтах нац иных пунктов, является профиль предприятий, действующих их пунктах.

К *ландшафтам промышленных центров государственного значении* относятся города с населением около миллиона жителей (и • ч.inм-). Подсчеты показывают, что только в процессе обычной жизчельности жители города с миллионным населением ежесу-.'"IIк) выделяют в атмосферу около 0,5 млн м^3 углекислого газа и I но м^3 водяного пара и секрета потовых желез. Завоз продуктов с llll; lll ия и различных промышленных товаров в таких крупных го-*ШЩ* примерно одинаков и зависит больше от числа жителей, чем in природных особенностей зоны, в которой расположен город. • П более приближаются в крупных городах к типовым (стандартным) системы очистки городских сточных вод и способы утили-«ЩИИ твердых городских отходов. Таким образом, техногенная ми-і рация элементов, связанная непосредственно с жизнеобеспечением жителей в крупных городах, имеет гораздо больше общего, чем специфических отличий.

Промышленность городов с населением более одного миллиона жителей отличается разнообразием, но практически всегда нключает в себя предприятия пищевой, химической, легкой промышленности, предприятия, связанные с обработкой металлов, строительные организации. Приведенные данные позволяют ориентировочно считать, что в таких городах состав и количество элементов, попадающих как загрязняющие в городской ландшафт в ре-•.ультате производственной деятельности, примерно одинаковы при пересчете на одного жителя. Следовательно, объединение городов с населением свыше 1 млн жителей в отдельный тип ландшафтов имеет и определенное геохимическое обоснование.

Ландшафты населенных пунктов регионального значения составляют города с населением более 300—500 тыс. жителей. В этих городах развитие определенных предприятий может оказывать решающее влияние на собственно техногенное поступление соответствующего комплекса элементов, в связи с чем дальнейшее разделение населенных пунктов регионального значения целесообразно проводить с учетом преобладающего профиля основных предприятий. Например, отдельно следует выделять города, где в основном распространены нефтеперерабатывающие или цементные предприятия.

Еще большее влияние на особенности техногенной миграции оказывают крупные предприятия в *ландшафтах местного значения*

(поселках, станицах, железнодорожных станциях и городах с наш селением примерно до 300 тыс. жителей). Поэтому при детальных ландшафтно-геохимических исследованиях (особенно связанных с решением проблем охраны окружающей среды) рассматриваемые ландшафты целесообразно подразделять по тому же принципу, что и ландшафты городов регионального значения.

В отдельные ландшафты выделяются небольшие *населенные пункты, существующие у рудников, шахт, обогатительных фабрик, в которых* миграция определяется в значительно большей мере профилем предприятий, чем числом жителей. Сырье, добываемое и перерабатываемое на этих предприятиях, является основным постоянным источником химических элементов, поступающих как в рассматриваемые, так и в соседние ландшафты. При необходимости подразделения данных ландшафтов следует учитывать добываемое (перерабатываемое) сырье. Так, отдельно выделяются ландшафты населенных пунктов у редкометалльных рудников, у обогатительных фабрик, перерабатывающих полиметаллические руды, и др.

Особо должны рассматриваться *ландшафты населенных пунктов, относимых к курортам*. В их пределах техногенная миграция определяется главным образом процессами, обеспечивающими нормальную жизнедеятельность сравнительно ограниченного числа жителей, и особенностями развития транспорта. Важной характеристикой этих ландшафтов является сравнительно большая роль в миграции основных элементов биологического круговорота.

Ландшафты хуторов занимают среди остальных ландшафтов рассматриваемой группы наименьшую площадь. Они представляют собой как бы переход от сельскохозяйственных и лесных ландшафтов к ландшафтам населенных пунктов с довольно интенсивным биологическим круговоротом элементов. От ландшафтов курортов они отличаются резко пониженным числом жителей, меньшей ролью транспорта в техногенном привносе элементов и своеобразным развитием биологического круговорота элементов, приближающегося к круговороту в сельскохозяйственных ландшафтах.

Природные факторы, влияющие на миграцию элементов (особенно связанные с климатическими условиями), также необходимо учитывать при разделении ландшафтов населенных пунктов. Например, ход миграций различных веществ, попавших, особенно в зимнее время года, в ландшафты Ташкента и Иркутска, во многом будет отличаться. Однако, как правило, ландшафтно-ге-

химические исследования и составление карт геохимических l щцшафтов для решения проблем окружающей среды проводят- i и одной климатической зоне, а кроме того влияние техноген- п.11 факторов в населенных пунктах несравненно больше, чем природных. Учитывая все это, предлагается после уже рассмотренной . in i ификации селитебных ландшафтов разделять их (в случае не- • ниодимости) с учетом климатических условий. .

Третий классификационный уровень

На этом уровне все ландшафты объединяются в зависимости ОТ особенностей миграции химических элементов непосредственно в почвах. В почвах *природных ландшафтов* наблюдается наибольшее напряжение геохимических процессов, причем его максимум характерен для гумусового горизонта, который можно считать своеобразным геохимическим центром. Почвы также представляют собой важнейшее звено, связывающее подстилающие породы и грунтовые воды (т.е. постоянные и основные природные источники элементов, поступающих в ландшафт) с приземной атмосферой и живыми организмами.

В *техногенных ландшафтах* почвы остаются их важнейшей составной частью. Именно в них чаще всего происходит наиболее сложное переплетение процессов природной и техногенной миграции элементов. Кроме того, почвы техногенных ландшафтов ос- та ются звеном, связывающим коренные породы (коры выветривания) и грунтовые воды с приземной атмосферой и живыми организмами.

Перемещение элементов в почвах во многом определяется такими факторами, как режим кислорода и серы (окислительные и восстановительные обстановки), щелочно-кислотные условия и набор определенных типоморфных (наиболее подвижных, отличающихся большим кларком) элементов.

В различных ландшафтных условиях выделяются три окислительно-восстановительные обстановки: 1) *окислительная* со свободным кислородом; 2) *глеевая,* восстановительная без свободного кислорода и сероводорода и 3) *сероводородная*. Щелочно-кислотные условия несколько условно разделяются на *сильнокислые* (pH < 3), *кислые* и *слабокислые* (pH=3...6,5), *нейтральные* и *слабощелочные* (pH=6,5...8,5), *сильнощелочные* (pH > 8,5).

Рассматривая набор типоморфных элементов, необходимо вспомнить сформулированный А.И. Перельманом принцип подвиж-

Таблица 7.10

Основные геохимические классы почв и других биокосных систем (по данным А.И. Перельмана)

Щелочно-кислотные условия	Типоморфные водные мигранты	Типоморфные воздушные мигранты и окислительно-восстановительные условия		
		O_2 (окислительная обстановка)	CO_2, частично CH_4 (восстановительная обстановка без H_2S)	H_2S (восстановительная обстановка с H_2S)
Сильно-кислые	H^+, SO_4^{2-}, иногда Al^{3+}, Fe^{3+}	I. Сернокислый	XI. Сернокислое оглеение	XVII. Сернокислый сульфидный
	H^+, Cl^-, Al^{3+}, Fe^{3+}	II. Солянокислый	–	–
Слабо-кислые	H^+, органические кислоты, HCO_3^-	III. Кислый (H^+) IV. Кислый на кварцевых песках (H^+)	XII. Кислый глеевый ($H^+ - Fe^{2+}$)	XVIII. Кислый сульфидный
		V. Кислый, переходный к кальциевому ($H^+ - Ca^{2+}$)		
Нейтральные и слабощелочные	Ca^{2+} (Na^+, Fe^{2+})	VI. Кальциевый (Ca^{2+}) VII. Кальциево-натриевый ($Ca^{2+} - Na^+$)	XIII. Карбонатный глеевый ($Ca^{2+} - Fe^{2+}$)	XIX. Нейтральный карбонатный, сульфидный
	Cl^-, Na^+, SO_4^{2-}, Ca^{2+}, SO_4^{2-}	IX. Соленосный (Na^+, $Cl^- - SO_4^{2-}$) VIII. Гипсовый	XIV. Соленосный глеевый XV. Гипсовый глеевый	XX. Соленосный сульфидный ($Na^+ - H_2S$)
Сильно-щелочные	OH^-, Na^+, HCO_3^-, SiO_2	X. Содовый ($Na^+ - OH^-$)	XVI. Содовый глеевый	XXI. Содовый сероводородный ($Na^+ - OH^- - H_2S$)

ных компонентов, состоящий в том, что роли элемента и ландшафта определяются его содержанием в среде и интенсивностью миграции. В связи с этим типоморфные элементы устанавливаются в водных вытяжках проб, отобранных из гумусового горизонта почв.

С учетом щелочно-кислотных условий, Перельманом был выделен 21 класс водной миграции химических элементов (табл. 7.10). Опыт ландшафтно-геохимических исследований различного масштаба показывает, что миграция химических элементов в почвах во многом определяется содержанием и соотношением в них различных органических кислот, которым при классификации ландшафтов необходимо уделять такое же внимание, как и типоморфным элементам.

Четвертый классификационный уровень

На данном уровне (а он учитывается не при всех ландшафт-|щ I сохимических исследованиях) при объединении отдельных ге-мимических ландшафтов имеют значения особенности миграции *..... центрация химических элементов (в различных формах их нахождения) в подземных водных растворах.

11ри загрязнении подземных вод изменения в других частях ландшафта могут сказаться через довольно продолжительный промежутке времени. Это может быть связано с целым рядом природных и техногенных факторов, например со специфическим состаЮм загрязняющих веществ или наличием в почвах на большей ча-.|м ландшафта определенного геохимического барьера, ограничивающего поступление загрязняющих веществ из вод в расположенные выше по разрезу горизонты почв. В этих случаях, если корни растений не достают до загрязненных вод, то в результатах и лигохимического (почвенного), и биогеохимического опробования продолжительное время будут отсутствовать данные о наличии загрязнения (пока загрязняющие вещества все же не поступят в расп*пия и верхние почвенные горизонты).

Для того чтобы получить оперативную информацию в тех случаях, когда предполагается техногенное загрязнение непосредственно подземных вод, необходимо их систематическое опробо-Вание. Однако опробование подземных вод только одного ландшафта не дает материала для сравнения. Поэтому такое опробование нужно проводить в пределах всего изучаемого участка. Помученные при этом данные следует рассматривать как материал для введения четвертого классификационного уровня.

В определенных ландшафтно-геохимических условиях подземные воды хорошо связаны с поверхностными. Поэтому целесообразно проведение гидрохимического опробования и поверхностных вод, тем более что довольно часто (например, на орошаемых землях) загрязняющие вещества поступают непосредственно в эти воды. (В данном примере в оросительную систему.) В таких случаях оперативную информацию быстрее всего можно получить при гидрохимическом опробовании поверхностных вод. Для исключения ошибок нужны сведения о составе поверхностных вод в каждом ландшафте.

Таким образом, при проведении экологических исследований в определенных условиях становится необходимым введение рассматриваемого таксономического уровня. Он будет характеризо-

ваться особенностями миграции химических элементов (следовательно, и их составом) в поверхностных и (или) подземных водах, При этом к поверхностным водам следует относить только небольшие ручьи и родники. Поверхностные воды, занимающие большие площади, рассматриваются отдельно, как самостоятельные ландшафты.

Пятый классификационный уровень

На этом уровне биогенные и техногенные ландшафты объединяются с учетом особенностей воздушной (атмосферной) миграции элементов. Полученные к настоящему времени данные показывают, что в определенных районах на содержание в почвах многих элементов (и в первую очередь токсичных тяжелых металлов) наибольшее влияние оказывает именно атмосферная миграция. С учетом ее особенностей на пятом классификационном уровне целесообразно выделять ландшафты: 1) *подверженные воздушной эрозии;* 2) *не подверженные воздушной эрозии;* 3) *с современным отложением эолового материала.*

Достаточно подробно геохимические особенности процессов воздушной эрозии рассмотрены в 7.2.1. Почвы же в зонах отложения эолового материала обычно отличаются пониженным содержанием тяжелых металлов. Так, в Джунгарском Алатау в почвах на эоловых суглинках содержание свинца (3 • 1($Г^4$%) примерно в 3 раза, а цинка (1 • 1($Г^3$%) в 5 раз ниже среднего для почв.

Шестой классификационный уровень

На данном уровне учитываются факторы миграции, определяемые наличием (или отсутствием) многолетней мерзлоты. Наличие многолетней мерзлоты во многом изменяет ход и скорости миграции химических элементов и в сезонно-талых горизонтах, и в направлении «горные породы — сезонно-талые горизонты». При этом обычно гумусовый горизонт А (см. рис. 7.6) и основание сезонно-талого горизонта $В_2$ обеднены легкоподвижными соединениями, а значительная часть элементов накапливается в горизонте В,.

Опыт работ в районах с различным развитием многолетней мерзлоты показал целесообразность объединения ландшафтов по этому показателю в следующие четыре группы: 1) с *отсутствием многолетней мерзлоты;* 2) *с ее островным развитием;* 3) *с прерывистым*

развитием; 4) *с широким площадным распространением многолетней мерзлоты.*

Седьмой классификационный уровень

На седьмом классификационном уровне ландшафты объединяются с учетом геоморфологических особенностей регионов. При проведении мелкомасштабных исследований, охватывающих большие территории, а также при работах в горных условиях рекомендуется выделять ландшафты: 1) *равнинных областей, 2) низкогорья и среднегорья* и 3) *высокогорных областей.* Эти ландшафты различаются по интенсивности процессов миграции, определяющейся в основном силами гравитации.

В дальнейшем все выделенные ландшафты целесообразно классифицировать на *элювиальные* (водораздельные); *трансэлювиальные* (верхних частей склонов); *трансаккумулятивные* (нижних частей склонов); *транссупераквальные,* на участках склонов надводных ландшафтов (сюда же следует относить пойменные ландшафты); *супераквальные* (надводные) и *субаквальные* (подводные). По мнению М.А. Глазовской, по геоморфологическим особенностям необходимо дополнительно выделять следующие ландшафты:

1) элювиально-аккумулятивные, расположенные в нижних "Частях склонов и сухих ложбин;

2) аккумулятивно-элювиальные, приуроченные к местным замкнутым понижениям с глубоким уровнем грунтовых вод;

3) трансаквальные, включающие реки и проточные озера, водохранилища, дельтовые болота;

4) аквальные, к которым кроме непроточных озер следует относить и моря.

Рассмотренные особенности классификации ландшафтов на седьмом классификационном уровне являются общими и для природных, и для техногенных ландшафтов.

Восьмой классификационный уровень

На этом уровне в основу классификации положены особенности миграции и соотношения между элементами, поступающими в данный ландшафт от постоянного природного источника. В большинстве случаев особенности миграции определяются минералого-геохимической характеристикой коры выветривания почвообразующих и почвоподстилающих горных пород, служащих глав-

ными источниками поступающих элементов. Исключение составляют техногенные ландшафты с искусственно созданным экраном между горными породами и остальными частями ландшафта (например, часть промышленных отстойников).

Таким образом, на восьмом классификационном уровне объединение ландшафтов производится с учетом изменения состава коренных горных пород, на которых и под влиянием которых формируются почвы. Для объединения различных ландшафтов необходимо в первую очередь сгруппировать разнообразные горные породы. Опыт работ показал, что целесообразно все основные *осадочные породы* объединить в три группы: *карбонатные, карбонатно-терригенные и терригенные* горные породы. Такое объединение осадочных пород обусловлено их большим влиянием на карбонатность и щелочность почв.

Если отдельные аномальные толщи (горизонты, свиты) осадочных пород резко отличаются по геохимическим особенностям (значительно повышено или понижено содержание некоторых элементов) от аналогичных по петрографическому составу пород, то эти толщи, а следовательно, и расположенные над ними ландшафты выделяются особо. В таких случаях кроме состава пород учитывается (частично) и их возраст. Необходимость такого деления обусловлена влиянием аномальных толщ на распределение элементов в почвах и произрастающих на них растениях.

Магматические породы при классификации ландшафтов на восьмом уровне целесообразно разделять лишь на *кислые и основные*. Необходимо также отдельно выделять интенсивно *метаморфизованные породы*.

При детальных ландшафтно-геохимических исследованиях часто требуется более дробное деление горных пород с учетом их минералого-геохимических особенностей.

Объединение ландшафтов на восьмом классификационном уровне практически одинаково для природных и техногенных ландшафтов.

7.2.2. Водные ландшафты

Водные (аквальные) ландшафты занимают значительную часть поверхности Земли и имеют огромное значение для человечества. При этом необходимо отметить особую роль внутриконтинентальных пресноводных ландшафтов, обеспечивающих орошение земель, снабжение населенных пунктов, животноводческих ком-

Нлексов и промышленных предприятий питьевой и технической водой.

Водные ландшафты являются источниками многих продуктов питания и важными транспортными артериями. Их рациональная эксплуатация и охрана, предотвращение отрицательных последствий различных видов антропогенной деятельности и контроль № происходящими в них изменениями требуют проведения специальных комплексных исследований, которые важны для научно обоснованного планирования. Расчеты специалистов показы-1ают, что в следующем тысячелетии потребление пресной воды резко возрастет, причем намного увеличится потребность в технической воде (см. 3.4.2). Несмотря на это, классификация водных ландшафтов до конца не разработана ни для больших внутриконтинен-Тальных водоемов, ни в целом для Мирового океана. Однако имеющиеся данные (В.А. Алексеенко, А.Д. Хованский) позволяют выделить шесть таксономических уровней в классификации водмых ландшафтов.

Первый классификационный уровень

На этом уровне водные ландшафты так же, как и ландшафты суши, объединяются с учетом основных форм движения материи в две группы: *природные (биогненные)* и *техногенные*. Необходимо отметить некоторую условность такого деления, поскольку даже самые удаленные от промышленных и сельскохозяйственных регионов участки Мирового океана испытывают все возрастающее «техногенное давление». В связи с этим к техногенным предлагается относить только водоемы искусственного происхождения — водохранилища, каналы и пруды. Озера, реки, внутриконтинентальные моря, а также Мировой океан с составляющими его морями относятся к природным (биогенным) ландшафтам.

Среди техногенных аквальных ландшафтов наибольшую площадь занимают *водохранилища*. По особенностям миграции элементов они наиболее близки к биогенным ландшафтам. Большинство водохранилищ создано путем техногенного регулирования речного стока. При этом основная миграция элементов, происходившая в реках в виде механически перемещающихся частиц различного размера, а также коллоидных и истинных растворов, стала полностью определяться техногенными процессами, что резко отличает ландшафты водохранилищ от природных. Ландшафты водохранилищ в сравнении с ландшафтами озер харак-

теризуются большей внутригодовой амплитудой колебания уровня вод (например, на Цимлянском она достигает 6 м, на Куйбышевском — 7 м, а на Красноярском — 18 м) и более интенсивным водообменом.

Сложное переплетение природных и техногенных процессов, протекающих в этих водоемах, часто приводит к результатам, значительно отличающимся от ожидаемых при строительстве. Так, водохранилища заиливаются и заболачиваются. Под влиянием гниения массового количества водорослей, бурно развивающихся в хорошо прогреваемых мелководных бассейнах и сносимых в приплотинные участки, возникает бескислородная глеевая обстановка. Почвы ландшафтов суши, прилегающие к водохранилищам, подвергаются засолению. Иногда все это приводит к сокращению срока даже относительно полезного существования водохранилищ в два—три раза по сравнению с проектируемым. Таким образом, все сказанное подтверждает необходимость более детального изучения ландшафтно-геохимических особенностей существующих водохранилищ.

При средне- и крупномасштабном ландшафтно-геохимическом картографировании водохранилища на данном классификационном уровне целесообразно разделять в зависимости от их размеров (объема содержащейся в них воды). Этот показатель во многом обуславливает особенности как эксплуатации водохранилищ, так и техногенной миграции элементов.

Пруды, как и водохранилища, представляют собой искусственные водоемы в естественных или (что бывает чаще) искусственных углублениях. В связи с быстроразвивающимся прудовым хозяйством интенсивное строительство прудов ведется в различных климатических и природных зонах страны. В настоящее время общее их число превышает 100 000. Среди них преобладают небольшие пруды с площадью зеркала вод не больше нескольких гектаров. Их питание в основном связано с таянием снегов и дождями. Обычно они используются для орошения, водопоя скота, а вблизи населенных пунктов служат местом отдыха жителей. Со временем пруды стареют, происходит их заиливание и полное зарастание водно-болотной растительностью. Сроки существования прудов (без их очистки): в равнинных условиях немного более 50 лет, а в условиях пересеченной местности — 10 лет.

В прудах, создаваемых для разведения рыбы, не только проводится чистка, но часто контролируется миграция химических эле-

ментов (в том числе их поступление с кормами и удобрениями в ландшафт), а также видовое разнообразие прудовой флоры и фауны. При этом за счет изменения геохимической (биогеохимической) обстановки продуктивность прудов может измениться во много раз. Для ее увеличения необходим правильный выбор баланса элементов, участвующих в прудовом круговороте, который должен полностью соответствовать конкретным ландшафтно-геохимическим условиям. Существенное увеличение продуктивности прудов при минимальных затратах на создание благоприятных биогеохимических условий делает изучение геохимической обстановки в ландшафтах прудов одной из актуальнейших задач прикладной геохимии ландшафта.

При необходимости более дробной классификации (для составления средне- и крупномасштабных ландшафтно-геохимических карт) ландшафты прудов в первую очередь разделяются на *рыбоводные* и *рыбопроизводящие*. В первые выпускают на несколько месяцев мальков рыб, которые затем отлавливаются для переселения. Воды из этих прудов ежегодно (а иногда и несколько раз в год) сливаются, после чего грунты (подсохший ил) подвергаются перепахиванию. В рыбопроизводящих прудах ежегодных сливов воды и перепахивания грунтов нет.

В ландшафты *каналов* специальный техногенный привнес химических элементов отсутствует, лишь иногда на малопротяженных участках в воды мелиоративных каналов добавляют удобрения. Однако несмотря на это воды рассматриваемых ландшафтов очень часто содержат в больших количествах удобрения, сносимые с полей, особенно орошаемых. В ландшафтах судоходных каналов определенное количество химических элементов (обычно в форме таких специфических соединений, как нефть и нефтепродукты) попадает за счет эксплуатации водного транспорта. Наибольшее техногенное воздействие каналы испытывают при периодически повторяемых работах по углублению и расширению их русла. При проведении средне- и крупномасштабных исследований среди ландшафтов каналов выделяются *мелиоративные* и *судоходные*. Они отличаются по расходу воды, особенностям эксплуатации и чистки фарватера.

Действующие каналы оказывают влияние на ландшафты суши, по которым они проложены. В основном это подъем уровня грунтовых вод, который в свою очередь может вызвать засоление почв, а в биогенных ландшафтах суши — еще и смену растительных сообществ. Заброшенные каналы быстро зарастают и, прой-

дя стадию болот, переходят в обычные ландшафты суши. Однако своеобразными особенностями в рельефе они напоминают о] себе сотни лет.

Природные (биогенные) ландшафты на первом классификационном уровне разделяются на *внутриконтинентальные* и *океанические.* Они во многом отличаются особенностью поступления элементов в водные бассейны, а также их последующим перераспределением и концентрацией в илах. В дальнейшем среди внутриконтинентальных аквальных ландшафтов целесообразно выделять *моря, озера, реки,* а среди океанических — *внутренние моря, окраинные моря и собственно океанические ландшафты.*

Второй классификационный уровень

В отличие от ландшафтов суши в аквальных ландшафтах (и не только в природных, но и в техногенных) роль биогенной миграции довольно велика. Поэтому на данном таксономическом уровне в основу объединения всех ландшафтов положены *биомасса* и *ежегодная продукция,* которые во многом определяются видовым составом растительных сообществ. С учетом этих факторов и проводится деление ландшафтов. В качестве примера разделения техногенных аквальных ландшафтов на втором уровне рассмотрим схему выделения ландшафтов на Цимлянском водохранилище. Здесь по приведенным признакам выделены ландшафты *планктонных водорослей* (низко-, средне-, высокопродуктивные) и *тростниковых формаций.* Отличия по продуктивности даже среди близких друг другу ландшафтов планктонных водорослей весьма существенны. Так, на Калачском и Чирском участках продукция органического вещества на 1 $м^2$ поверхности составляет 364 т, на центральном участке — 766 т, а на приплотинном — 1440 т.

Следует отметить, что в рассматриваемом примере, как и в большинстве случаев на других водохранилищах, значительный объем ежегодной продукции не только не используется в народном хозяйстве, но и наносит ему значительный ущерб, поскольку во время максимального развития водорослей сокращается содержание в воде кислорода, приводящее к гибели рыб. При правильном подходе водоросли могли бы стать поставщиками большого количества кормовых добавок для животноводства. Но для этого нужно решить две задачи (вполне посильные при современном уровне развития науки) —- организовать дешевую переработку водорослей и их извлечение из водохранилищ. Уничтожение же водорос-

Чей с помощью различных химических препаратов может иметь еще худшие экологические последствия.

Разделение на втором уровне природных аквальных ландшафi on ведется аналогичным образом. Так, в нижнем течении Дона i наделены ландшафты: 1) сообществ планктонных водорослей; 2) тростниковых формаций; 3) озерно-камышово-рогозово-тростниковых формаций. С ландшафтами различных растительных сообществ, а точнее с процессами образования и разложения органических веществ, происходящими в их пределах, в значительной мере связано формирование определенных окислительно-восстановительных условий как в воде, так и в донных отложениях. Именно по этому признаку производится разделение аквальных геохимических ландшафтов на третьем классификационном уровне.

Третий классификационный уровень

Среди окислительно-восстановительных условий миграции элементов в водах и донных отложениях выделяются *различные сочетания окислительной, восстановительной глеевой* и *восстановительной сероводородной обстановок*. Иногда окислительно-восстановительная обстановка изменяется даже в разных горизонтах водной толщи. Наибольшие различия обычно характерны для верхних горизонтов, соприкасающихся с атмосферой, и придонных горизонтов водной толщи. В таких случаях учитываются особенности обстановок в верхних и нижних горизонтах вод, а также в донных отложениях.

Таблица7.11

Среднее содержание элементов в донных отложениях ландшафтов третьего классификационного уровня реки Дон

Обстановка в донных отложениях	Число проб	Среднее содержание элементов с вероятностью 95%, л · 10^{-3}% по массе								
		Zn	Cu	Ni	Mn	Co	Cr	Y	Yb	Ga
Кислородная	27	6,8± 3,0	1,7± 0,6	1,1± ±0,5	21± ±4	<0,1	4,7± ±1,6	1,1± ±0,2	0,14± ±0,04	0,57± ±0,18
Глеевая	18	4,3± ±1,2	2,0± ±0,6	1,7± ±0,6	36± ±11	0,7± ±0,3	6,3± ±1,8	1,4± ±0,2	0,19± ±0,04	0,67± ±0,2
Сероводородная	42	10,0± ±2,5	3,5± ±0,6	2,6± ±0,6	37± ±6	1,0± ±0,2	10,7± ±1,6	1,7± ±0,2	0,26± ±0,03	1,2± ±0,2

Таблица 7.12

Среднее содержание элементов в золе тростника ландшафтов третьего классификационного уровня реки Дон

Обстановка	Число проб	Среднее содержание элементов с вероятностью 95%, n · 10^{-3}% по массе					
		Mn	Ni	Cu	V	Zn	Pb
Окислительная	14	250±70	1,5±0,4	4,6±1,0	0,8±0,03	5,3±2,8	1,2±0,4
Восстановительная глеевая	24	160±40	2,4±0,4	5,2±0,8	2,5±0,8	16,1±6,5	3,4±0,8
Восстановительная сероводородная	21	230±60	2,8±0,8	6,0±1,0	1,9±0,4	25,3±9,4	5,3±1,3

Уже само изменение окислительно-восстановительных условий является важным показателем техногенного воздействия на аквальные ландшафты. Так, в нижнем течении Дона бескислородная глеевая обстановка в илах возникает после впадения в нее очень загрязненной реки Северский Донец.

С изменением окислительно-восстановительных условий происходит концентрация в илах (а затем и в растениях) целого ряда элементов, включая тяжелые металлы. Это подтвердили детальные ландшафтно-геохимические исследования Дона (В.А. Алексеенко, А.Д. Хованский), результаты которых приведены в табл. 7.11, 7.12.

Четвертый классификационный уровень

На этом уровне объединение ландшафтов проводится в зависимости от распределения *типоморфных элементов в илах и водах.*

Таблица 7.13

Среднее содержание элементов в илах ландшафтов четвертого классификационного уровня реки Дон

Класс ландшафта	Число проб	Среднее содержание элементов с вероятностью 95%, n · 10^{-3}% по массе							
		Zn	Cu	Ni	Pb	V	Co	Cr	Ga
HCO_3^-, Ca^{2+}	14	< 1	1,5± ±0,5	1,2± ±0,4	1,1± ±0,2	6,3± ±1,6	0,5± ±0,2	5,9± ±1,7	0,7± ±0,3
Ca^{2+}, Na^+	31	7,0± ±3,1	2,2± ±0,6	2,0± ±0,6	1,5± ±0,2	7,1± ±1,3	1,1± ±0,4	7,5± ±1,4	0,9± ±0,2
HCO_3^-, SO_4^{2-}, Ca^{2+}, Na^+	21	3,1± ±0,8	1,7± ±0,6	0,8± ±0,4	0,9± ±0,2	3,6± ±1,0	0,5± ±0,2	2,6± ±0,9	0,4± ±0,1

Еще В.И. Вернадский отмечал, что у илов существует глубокая аналогия с почвами. Это позволяет использовать учет типоморфных элементов в илах (по аналогии с почвами) при классификации водных ландшафтов. Однако в аквальных ландшафтах, в отличие от ландшафтов суши, следует учитывать типоморфные элементы не только в водных вытяжках из донных отложений, но и **в** самих водах. Каким образом условия, учитываемые на этом классификационном уровне, влияют на концентрацию химических элементов в илах реки Дон, ясно из табл. 7.13.

Пятый классификационный уровень

На рассматриваемом уровне предлагается объединение водных ландшафтов в зависимости от *геоморфологических особенностей, определяющих в основном механическую миграцию элементов и их соединений* (табл. 7.14).

Таблица 7.14

Среднее содержание элементов в илах ландшафтов пятого классификационного уровня реки Дон

Ландшафт	Число проб	Среднее содержание элементов с вероятностью 95%, n · 10^{-3}% по массе				
		Zn	Cu	Ni	V	Co
Трансэрозионные	27	3,0±0,8	1,4±0,4	1,3±0,5	6,1±1,6	0,57±0,2
Трансаквальные	25	2,9±0,8	1,8±0,5	1,3±0,5	1,8±1,0	0,70±0,2
Трансаккумулятивные	33	1,0	1,5±0,3	0,9±0,3	5,0±0,9	< 0,1

На данном уровне четко выделяются следующие ***речные ландшафты.***

• *трансэрозионные* — участки интенсивного размыва берегов и поступления большого количества материалов преимущественно в минеральной форме;

• *трансаквальные* — участки с существенным преобладанием процессов переноса материала;

• *трансаккумулятивные* — участки с преобладанием процессов отложения механически переносимого материала.

Для ***ландшафтов озер*** (и в значительной мере морей) на рассматриваемом уровне классификации должны учитываться геоморфологические особенности как на дне водоемов, так и на его берегах. В большинстве случаев выделяются такие ландшафты водоемов:

• *абразионно-аккумулятивные* — участки вдоль высоких крутых берегов, размыв которых обуславливает поступление в водоем значительного количества элементов в минеральной форме;

• *нейтральные* — участки у пологих берегов со слабой абразией, приводящей в основном к нивелированию поверхности дна;

• *аквально-супераквальные* — участки, периодически затопляемые во время поднятия уровня вод в водоеме;

• *трансаккумулятивные* — участки отложения твердого стока рек и крупных балок с временными водными потоками;

• *аккумулятивные* (глубоководные участки водоема, в пределах которых происходит отложение материала).

Шестой классификационный уровень

На данном таксономическом уровне объединение водных ландшафтов определяется *геохимическими особенностями,* а следовательно, и *типом донных отложений*.

Объединенные по рассмотренной схеме геохимические ландшафты представляют собой участки, покрытые водой, отличающиеся происходящими в них техногенными процессами и расположенные в определенных геоморфологических условиях с характерными растительными сообществами, окислительно-восстановительными условиями, типоморфными элементами и определенным типом донных отложений. Все перечисленные особенности создают в пределах таких ландшафтов специфические условия миграции и концентрации элементов. При этом в аналогичных геохимических ландшафтах существуют аналогичные условия миграции и концентрации химических элементов, содержание которых в равнозначных частях таких ландшафтов (донные отложения, воды, растительные организмы и др.) должно быть одинаковым. Наблюдающиеся в аналогичных геохимических ландшафтах отличия в концентрации определенных элементов объясняются их неодинаковым поступлением в воды. Чаще всего такие отклонения (геохимические аномалии) связаны с техногенным поступлением данных элементов и их соединений.

В заключение необходимо еще раз отметить, что классификация аквальных ландшафтов, особенно морских, требует определенного уточнения. Однако работы, проведенные по рассматриваемой методике, позволяют составлять достаточно точные карты геохимических ландшафтов и на их основе выделять аномалии, а также выявлять техногенные загрязнители.

7.2.3. Ландшафты населенных пунктов

Решение целого ряда важнейших экологических проблем связано с улучшением внешних условий в местах наибольшей и продолжительной концентрации людей, т.е. с улучшением экологической обстановки в населенных пунктах. Для решения этой задачи в пределах населенных пунктов стали выделять в первую очередь зоны с высокой концентрацией загрязняющих веществ В почвах, поверхностных и подземных водах, атмосферном воздухе, растениях. Выполнение этих работ (при наличии соответствующей аналитической базы) не составляло особого труда: по сетке отбирались пробы почв, снега, воздуха, пыли, растений и Т.д., проводился их анализ, выделялись зоны с наибольшей концентрацией различных поллютантов. Такими исследованиями было быстро охвачено довольно большое количество населенных пунктов. При этом говорилось, что человеку все равно, в каких ландшафтных условиях в его организм попадает наибольшее количество поллютантов, важно лишь знать, где расположены эти зоны. Места положения таких зон в крупных городах стали даже публиковать в газетах.

Однако для решения целого ряда практических задач, необходимых для улучшения экологической обстановки, этого оказалось недостаточно. Во-первых, при таком подходе к оценке состояния населенных пунктов не ясно, какие факторы способствуют накоплению тех или иных поллютантов. Во-вторых, непонятно, как по полученным данным принимать обоснованные решения (и какие) для улучшения уже сложившейся обстановки. В-третьих, оказалось невозможным достоверное эколого-геохимическое районирование населенных пунктов для их паспортизации, а также паспортизации предприятий. В-четвертых, после таких исследований было невозможно давать рекомендации по застройке новых районов.

Таким образом, появилась практическая необходимость разделить техногенный селитебный ландшафт (ранее выделяемый как единое целое) на отдельные составные части. Они должны отличаться друг от друга особенностями перемещения химических элементов (соединений), закономерностями их (особенно токсичных соединений) концентрации, продолжительностью нахождения и родом занятий жителей в пределах таких участков населенных пунктов. Эти участки получили название городских геохимических ландшафтов и впервые были выделены при изучении эколого-геохимической обстановки и прогнозе ее измене-

ний в ряде городов юга России и Украины (Новороссийск, Стаханов и др.)

Классификацию в самих ландшафтах населенных пунктов нами предложено проводить, как это делалось и при более мелкомасштабных исследованиях (В.А. Алексеенко, 1985), по отдельным таксономическим уровням, на каждом из которых учитываются определенные ландшафтно-геохимические особенности внешних факторов миграции элементов. К настоящему времени выделилось пять основных таксономических уровней.

Учитывая особо большое значение селитебных ландшафтов, а также неравномерность распределения в городах ландшафтов с определенными условиями миграции и концентрации элементов, приводим отдельно классификацию городских ландшафтов.

Первый таксономический уровень. Классификация городских геохимических ландшафтов ведется *с учетом особенностей ведущего в них вида миграции химических элементов — техногенной*. По этому признаку в первую очередь выделяются ландшафты: предприятий; жилых зон; улиц; зон, занятых военными ведомствами; зон рекреации и отдыха; пустырей; кладбищ.

К ***ландшафтам предприятии*** относятся территории, расположенные в пределах населенных пунктов и занятые различными промышленными предприятиями (фабриками; заводами и их отдельными цехами; мастерскими; автомобильными, троллейбусными и трамвайными парками; электростанциями и т.п.), карьерами и шахтами. К этим же ландшафтам относятся территории, занятые постройками, необходимыми для эксплуатации перечисленных предприятий.

С точки зрения миграции элементов городские ландшафты предприятий практически идентичны промышленным ландшафтам, расположенным за пределами населенных пунктов. К числу основных экологических отличий следует в первую очередь отнести большее влияние побочных продуктов производства на всех жителей, а не только на рабочих предприятий. Кроме того, в городах меньше рассеяние поллютантов, особенно аэрозолей, чем за его пределами. (Подробнее особенности техногенной миграции см. в гл. 8.)

Рассматривая ландшафты предприятий, следует иметь в виду, что в результате работы многих из них может происходить и весьма своеобразное «загрязнение» — электромагнитное, тепловое, звуковое (шумовое), радиоактивное. Воздействию такого загрязнения люди могут подвергаться не только в рассматриваемых ландшафтах, но и в других ландшафтах во время как работы, так и отды-

ха. В этом отношении оно приближается к геохимическому загрязнению, вызываемому изменением концентрации химических элементов.

При крупномасштабных исследованиях, проводимых на территории населенных пунктов, а также при эколого-геохимической паспортизации иногда требуется более дробное деление ландшафтов предприятий. Основой деления продолжают оставаться особенности техногенной миграции и концентрации химических элементов.

В первую очередь целесообразно отдельно выделить ландшафты: *карьеров; шахт и рудников с подземной добычей; отвалов горных выработок; различных фабрик и заводов; электростанций; гаражей, трамвайных и троллейбусных парков; автозаправочных станций; предприятий по переработке мусора; базаров,* а также ландшафты *авто- и железнодорожных вокзалов и станций; аэро-, речных и морских портов.* Все они отличаются друг от друга по составу, форме нахождения и количеству загрязняющих веществ, как находящихся в их пределах и воздействующих на людей, работающих в этих ландшафтах, так и выносимых в соседние ландшафты населенных пунктов.

Для каждого их них характерны свои особенности теплового, электромагнитного, шумового и радиоактивного загрязнения.

Ландшафты жилых зон составляют основную часть населенных пунктов.*Кроме того, значительная часть жителей проводит в них большую часть своей жизни. Поэтому оценка эколого-геохимической обстановки таких зон и ее улучшение относятся к числу важнейших экологических проблем.

Довольно часто в ландшафтах жилых зон существенную роль играет биологический круговорот элементов. Особенно это касается небольших пунктов с одноэтажными домами и приусадебными участками. Однако БИК в жилых зонах городов существенно отличается от круговорота в соседних городских ландшафтах. По своим особенностям ландшафт жилых зон ближе всего стоит к техногенным сельскохозяйственным ландшафтам, а точнее — к ландшафтам с овощными и многолетними сельскохозяйственными культурами.

От этажности домов в жилых зонах прямо и косвенно во многом зависят особенности поступления, перемещения, накопления и выноса очень многих химических элементов (соединений). Так, от этажности часто зависят направление, скорость и соотношение в воздушном потоке турбулентного и ламинарного перемещений. При прочих равных условиях эти показатели становятся определя-

ющими для содержания в воздухе, а следовательно, и попадания из него в почвы, растительные и животные организмы (включая человека) многих, в том числе и токсичных, веществ.

От этажности зависит плотность населения в жилой зоне, а с нею связаны количество и способы утилизации различных отходов и продуктов жизнедеятельности. Этажностью во многом определяются водоснабжение и отопление, которые в свою очередь контролируют привнос и вынос элементов не только в форме растворов и газовых смесей, но и элементов, находящихся в других формах. От этого показателя также во многом зависят видовое разнообразие и количество домашних животных, а следовательно, особенности поступления, выноса и форм нахождения химических элементов в ландшафтах жилых зон.

Этажность жилых зон сказывается и на степени комфорта проживающих в них жителей, а также на скорости и уровне распространения различных инфекций и даже специфических болезней (часто психических расстройств).

Таким образом, сочетание в ландшафтах жилых зон зданий различной этажности может считаться для них основным эколого-геохймическим показателем. В соответствии с этим показателем следует разделять рассматриваемые ландшафты при детальных и специальных исследованиях. Необходимо отметить, что в последние годы во многих городах застройка ведется по принципу создания микрорайонов со специфическим сочетанием и взаиморасположенностью зданий разной этажности. Такие участки при детализации целесообразно рассматривать как отдельные ландшафты. Их эколого-геохимические особенности при проектировании новых районов необходимо учитывать.

Ландшафты улиц наиболее близки по геохимическим особенностям к дорожным ландшафтам, выделяемым за пределами населенных пунктов, и так же, как и они, не имеют природных аналогов. К ним относятся проезжие части дорог и тротуары (обычно с посадками) до жилых зданий, промпредприятий или заборов, отгораживающих приусадебные участки или другие ландшафты населенного пункта. Несмотря на обычные насаждения вдоль тротуаров, БИК в рассматриваемых ландшафтах обычно отсутствует, так как весь опад и сухие ветви деревьев и кустарников, как правило, вывозятся за пределы населенного пункта или сжигаются, а зола чаще всего рассеивается.

Как и в остальные ландшафты населенных пунктов, в уличные значительная часть элементов поступает через атмосферу.

11ри этом в отличие от соседних ландшафтов в приземном воздухе улиц в настоящее время значительную роль играют газы от автомобилей. Они же являются наиболее токсичными соединениями, постоянно входящими в состав атмосферных газов на улицах. Их концентрация связана с интенсивностью движения транспорта. От последнего во многом зависит запыленность и поступление в описываемые ландшафты специфических соединений за счет износа покрышек, двигателей, рельсов трамвайных путей и т.д.

Косвенно интенсивность движения транспорта связана с типом *дорожного покрытия* (асфальтированные, грунтовые и т.д.). Особый случай представляют собой улицы, по которым происходит движение *железнодорожного транспорта;* в такие ландшафты поступление химических элементов идет непрогнозируемо, в различных формах, хотя и в относительно небольших количествах (за счет просыпания из вагонов).

Существенного накопления веществ из соседних ландшафтов па улицах обычно не происходит. Сами же они являются источниками многих соединений, поступающих в окружающие их ландшафты через атмосферу. Большое влияние на такое перемещение элементов оказывает высотность зданий, ограничивающих улицы, а также насаждения и тип составляющих их растений. Значительное количество различных веществ удаляется с улиц поверхностными и подземными водами. На отдельных геохимических барьерах они могут концентрироваться, создавая техногенные- аномалии, не связанные с какими-либо предприятиями, что необходимо учитывать при эколого-геохимических исследованиях, составляя специальные карты.

При специальных и детальных исследованиях ландшафты улиц *целесообразно разделять с учетом интенсивности движения, преобладающего вида транспорта и особенностей дорожного покрытия.*

Ландшафты рекреации и отдыха располагаются как в центре, так и на окраинах населенных пунктов. К ним относятся парки, стадионы, скверы и спортивные площадки, парковые аллеи, зоны отдыха по берегам рек, водохранилищ, морей и т.д. Для части из них (парки, скверы и т.п.) характерен БИК, и они близки к выделяемым за пределами населенных пунктов лесотехническим ландшафтам.

В рассматриваемые ландшафты какие-либо специфические соединения не поступают, если не считать кислорода и различных биолинов — твердых, жидких и газообразных продуктов жизнеде-

ятельности организмов. Среди поступающих в зоны отдыха веществ большая часть переносится по воздуху от близко расположенных предприятий, улиц и т.д. В последние годы начало широко распространяться загрязнение данных ландшафтов выхлопными газами автомобилей и моторных лодок.

Для населенных пунктов, особенно крупных, весьма важными экологическими показателями являются процент городской территории, занятой зонами рекреации и отдыха, и равномерность распределения последних по всей площади города.

Ландшафты зон, занятых военными ведомствами, к настоящему времени относятся к числу наименее изученных. О вызываемом ими специфическом загрязнении окружающей среды и необходимости их эколого-геохимического изучения заговорили только в самое последнее время, в связи с выводом войск из стран Восточной Европы.

Кроме собственно эколого-геохимического загрязнения, они *могут вызывать радиационное, электромагнитное, шумовое, тепловое и другие* виды экологического загрязнения. Поэтому такие ландшафты необходимо выделять даже при незначительных размерах и невозможности их изучения. Их классификация при крупномасштабных и детальных исследованиях не разработана.

Ландшафты пустырей получили развитие во многих населенных пунктах. Их появление обычно связано или со сносом старых зданий, или с реконструкцией городов, или неравномерной застройкой отдельных районов, при которой остаются «пустые площади». В первом случае ландшафты (особенно в старых городах) могут отличаться большим геохимическим разнообразием. Однако, как правило, основное эколого-геохимическое воздействие на соседние городские ландшафты оказывают не они, а свозимый с них строительный мусор.

Довольно часто сами пустыри становятся зонами временного складирования самого различного мусора — от бытового до строительного. В этом случае им следует уделять большое внимание, изучая их как своеобразные социальные геохимические барьеры.

Ландшафты кладбищ несколько условно можно разделить на старые и действующие. Старые кладбища обычно расположены ближе к центру населенных пунктов и по своим эколого-геохимическим особенностям близки к ландшафтам зон рекреации. При проектировании новых кладбищ в первую очередь следует обращать внимание на поверхностный и подземный сток вод от них. Он не

1 должен происходить в сторону существующих или проектируемых I городских ландшафтов.

Среди городских ландшафтов практически всех населенных пунктов встречаются *различные образовательные заведения, детские са-* j *ды, больницы, бани*. Оценивая общую экологическую обстановку в населенных пунктах, необходимо уделять особое внимание как их числу, так и равномерности распределения. На картах геохимических ландшафтов населенных пунктов все эти учреждения должны обозначаться внемасштабными знаками.

Второй таксономический уровень. На этом уровне, несмотря на практическое отсутствие БИК в населенных пунктах, объединение городских ландшафтов целесообразно осуществлять *по особенностям сообществ растений и их сохранности*. Это объясняется двумя основными причинами. Во-первых, растения очень чутко реагируют на изменения не только комплекса эколого-геохимических условий, но и таких важнейших для нормальной жизни человека показателей, как радиационная обстановка, тепловое загрязнение и т.д. По сохранности (выживаемости) тех или иных видов растений часто можно предварительно (без анализов, иногда очень дорогостоящих) судить об изменениях в городской среде. Во-вторых, во многих населенных пунктах значительная часть сельхозпродукции (фрукты, овощи, разнообразные травы для растительных приправ) поставляется с приусадебных участков. Во избежание отравлений (да и вообще для получения экологически чистой продукции) зоны с определенными сельскохозяйственными культурами необходимо выделять и детально изучать их геохимические особенности.

При детальных и специальных эколого-геохимических исследованиях часто требуется более дробное деление ландшафтов. В этих случаях можно выделять отдельно *ландшафты с определенными сельскохозяйственными культурами (как многолетними, так и однолетними), декоративными растениями или с их различными сочетаниями*. Кроме того, для специальных исследований обычно следует составлять отдельные *карты санитарного состояния насаждений*.

Третий таксономический уровень. На этом уровне ландшафты объединяются в зависимости от *геохимических особенностей городских почв*. Связь между содержанием большинства химических элементов, в том числе металлов, и особенностями развития живых организмов и концентрацией в них этих элементов рассмотрена во многих работах (В.Стайлс, 1949; А.И.Перельман, 1975,1989;

В.В.Добровольский, 1983 и др.). Поэтому нет необходимости в дополнительном обосновании рассматриваемого уровня классификации. Отметим только, что, как и при классификации других ландшафтов, в городских на этом уровне необходимо учитывать следующие факторы:

• окислительно-восстановительную обстановку *(окислительна» со свободным кислородом; восстановительная — глеевая* и *сероводородная);*

• щелочно-кислотные условия, которые удобнее всего разделить на *сильнокислые, кислые, нейтральные* и *сильнощелочные;*

• набор *типоморфных элементов* и, как итог, класс водной миграции химических элементов.

Довольно часто, особенно при детальных работах, в условиях городских ландшафтов рассмотренного выделения бывает недостаточно. В таких случаях на этом же уровне следует учитывать набор типоморфных элементов в грунтовых водах. Целесообразно также отмечать *щелочно-кислотные свойства грунтовых вод и режим кислорода и серы,* так как эти показатели в водах и почвах населенных пунктов могут отличаться.

Четвертый таксономический уровень. На данном уровне городские ландшафты объединяются *с учетом геоморфологических особенностей территории.* В условиях населенных пунктов удобно объединять *элювиальные, трансэлювиальные, трансаккумулятивные и транссупераквальные* ландшафты. Друг от друга они в первую очередь отличаются по особенностям механической миграции элементов (их соединений). Кроме того, часто требуется составление дополнительных *карт поверхностного сноса материала.*

Пятый таксономический уровень. В основу классификации на этом уровне взяты *минералого-геохимические особенности почвоподстилающих почвообразующих пород,* являющихся постоянным источником химических элементов для расположенных выше ярусов ландшафта. Объединение ландшафтов ведется по ранее разработанной схеме в зависимости от состава пород. .

Однако при составлении эколого-геохимических карт населенных пунктов на рассматриваемом уровне приходится учитывать мощность рыхлых образований, располагающихся между коренными породами и почвами, а также положение зон разрывных нарушений. Эти факторы могут стать решающими при строительстве жилых и производственных зданий, особенно в сейсмоопасных районах.

7.3. Законы поведения химических элементов в ландшафтах и развития в них эколого-геохимических изменений

7.3.1. Основные положения

Выше отмечалось, что геохимические ландшафты можно рассматривать как биокосные составные части биосферы с определенными условиями миграции и концентрации химических элементов (их соединений). Как и биосфера в целом, они претерпевают со временем различные эколого-геохимические изменения, которые могут быть природными и антропогенными. Существование закономерных связей между отдельными частями геохимического ландшафта и между самими ландшафтами позволяет считать, что эколого-геохимические изменения происходят в ландшафтах и их сообществах закономерно, по определенным законам. Вероятно, их достаточно много. Для установления этих законов необходимо при анализе имеющейся информации соблюдать ряд требований:

• исследования, дающие необходимую информацию об эколого-геохимических изменениях, должны быть комплексными;

• такие исследования должны проводиться не только в отдельных геохимических ландшафтах, но и в их совокупностях, представляющих собой крупные планетарные (биосферные*) структуры. Лишь в данном случае выявленные закономерности развития эколого-геохимических изменений будут представлять собой законы, а не иметь характер частных положений;

• исследуемая биосферная структура должна состоять из различных природных и техногенных ландшафтов, испытывающих разнообразную (по величине и форме воздействия) антропогенную нагрузку;

• установленные законы должны найти полное подтверждение на других участках биосферы, в других структурах, удаленных от основного района исследований.

Описываемые в этой главе законы развития эколого-геохимических изменений были установлены на основе базовых исследо-

• Биосферные структуры ограничиваются крупными (с планетарной точки зрения) водоразделами и областями накопления материала, смываемого и переносимого (имеются в виду поверхностный и подземный стоки) на этой территории.

ваний преимущественно в двух биосферных структурах. Одна им них, относящаяся к крупнейшим и ограниченная водоразделом Среднерусской возвышенности на севере, Кавказским хребтом на юге,' Черным и Азовским морями на западе и Каспийским — на воо токе, охватывает юг России и Украины. Вторая структура — При» черноморская. Их общая площадь — свыше 500 000 км^2.

Указанный регион характеризуется разнообразием природных ландшафтно-геохимических условий (горы, равнины, поймы рек, леса, степи, полупустыни и т.д.). Кроме того, он чрезвычайно разнороден с точки зрения развития процессов техногенеза, а следовательно, и распространения не только природных, но и техногенных геохимических ландшафтов. В его пределах находятся такие крупные промышленные центры, как Ростов-на-Дону, Краснодар, Ставрополь, Волгодонск, Каменск-Шахтинский, Новороссийск, Невинномысск, Владикавказ, Грозный и др. Находящиеся в них предприятия являются важнейшими в химической, горнодобывающей, нефтяной и цементной промышленности, а также в сельскохозяйственном и атомном машиностроении.

В равнинных районах рассматриваемого региона (например, в Ростовской области) до 80% всей площади занимают пашни, сады, виноградники, пастбища и выгоны, относимые к техногенным агроландшафтам. На этой же территории находятся и многочисленные техногенные аквальные ландшафты. В их числе крупные равнинные водохранилища — Цимлянское, Краснодарское, Веселовское и др., а также такие каналы, как Волго-Донской, Терско-Кумский, Кумско-Манычский.

Изучение всей территории проводилось по единой комплексной методике, необходимым условием выполнения которой были полевые исследования с отбором почв, илов и основных видов растений по сетке, соответствующей масштабу 1:500 000 ландшафтно-геохимических работ. На отдельных участках сеть отбора проб уменьшалась до 20х50 м. Все пробы подвергались спектральному и частично химическому анализам.

На многих участках ландшафтно-геохимическая съемка проводилась (полный комплекс исследований) начиная с 1978 г. уже несколько раз. А съемка всего Краснодарского края производилась дважды (с перерывом в 10 лет) в масштабе 1:500 000. Это был первый в стране региональный ландшафтно-геохимический мониторинг.

Для получения наиболее объективных выводов автором были использованы, кроме того, данные геохимических исследований,

Цциеденных им и под его руководством в Южном и Центральна! Казахстане, а также в Сибири и Северном Вьетнаме. Помигото были привлечены многочисленные опубликованные и фони,тле материалы многих исследователей.

| июбщение и осмысливание всего материала позволило устамиипть излагаемые в этой главе эколого-геохимические законы*, чмжающие особенности развития эколого-геохимических измеиий в биосфере.

7.3.2. Геохимическое поведение химических элементов в биосфере

Под особенностями геохимического поведения химических шементов (их соединений) мы в первую очередь понимаем их оснонные показатели: содержание (распространенность), закономерности распределения и формы нахождения в биосфере в целом или и составляющих ее биокосных системах (телах). В тех случаях (при глобальных, космических, космогонических и т.п. построениях), когда изучается вся биосфера, содержание элементов определяется их кларковыми величинами в земной коре, лито-, атмо-, гидросферах и живом веществе. Если распределение химических элементов принимается за нормальное, то кларки представим ют собой средние содержания. Основными формами нахождения являются: минеральная, изоморфная, водные растворы, газоиые смеси, коллоидная и сорбированная, магматические расплавы, Ьиогенная, состояние рассеяния, техногенная, не имеющая природных аналогов. Эти показатели были рассмотрены в предыдущих главах. При практическом разрешении многих экологических проблем они часто используются лишь как необходимые точки отсчета, как своеобразные реперы. Поскольку в подавляющем большинстве случаев указанные проблемы решаются на ландшафтно-1сохимическом уровне, то появляется настоятельная необходимость проанализировать особенности геохимического поведения химических элементов в ландшафтах.

Само выделение отдельных геохимических ландшафтов можно представить, как обособление отдельных участков биосферы, характеризующихся различным сочетанием внешних ландшафтио-геохимических факторов миграции элементов, учитываемых на

* Диплом на открытие № 53, рег. № 4. Заявка на открытие № А-004,04.01.93 г.

рассмотренных выше классификационных уровнях. Этими факторами и определяются различия в геохимическом поведении элементов в отдельных ландшафтах.

Если считать, что особенности миграции, рассматриваемые на всех таксономических уровнях, оказывают примерно равноценное воздействие на миграцию и концентрацию химических элементов, то возможное число ландшафтов, отличающихся хотя бы по одному признаку, учитываемому только при работах в масштабе не крупнее 1:500 000, превысит многие сотни. Таким образом, становится ясным, что даже для региональных исследований невозможно составить в настоящее время какие-либо эталонные геохимические ландшафты. Тем более их невозможно даже представить для крупномасштабных исследований, когда изучают отдельные геохимические ландшафты, а не их ассоциации.

Влияние отдельных внешних факторов миграции и концентрации химических элементов в идеальных условиях анализировалось в этой и предыдущих главах. Иногда большинство этих факторов действует в конкретной геохимической системе (ландшафте) однонаправленно, например усиливает вынос какого-либо элемента. В результате концентрация этого элемента в данном ландшафте будет понижена по сравнению с другими. В некоторых случаях из-за однонаправленного действия факторов может резко увеличиться концентрация отдельных элементов. Возможны случаи, когда воздействия одних факторов нивелируются другими. В результате концентрация одних и тех же элементов в различных ландшафтах может быть и резко отличной и практически одинаковой.

Изучение содержания элементов в ландшафте в целом может практически свестись к определению концентраций элементов в почвах, так как по массе они резко доминируют в большинстве ландшафтов. Чтобы не ограничиваться установлением закономерностей поведения химических элементов только в почвах отдельных геохимических ландшафтов, целесообразно дополнительное изучение содержаний химических элементов в живом веществе и в водах ландшафтов. Именно такая работа была проведена автором и сотрудниками НИИ Геохимии биосферы и рассмотрена в этой книге в предыдущих главах.

Поведение химических элементов в геохимических ландшафтах отдельных регионов. В предыдущих разделах уже разбиралось поведение отдельных химических элементов при изменении ландшафтно-геохимических факторов миграции. В добавление к этим

данным рассмотрим обобщенные сведения о поведении целого ряда элементов при изменении ландшафтно-геохимических условий в пределах крупных регионов.

В биогенных ландшафтах Центрального и Восточного Кавказа (где мощность почвенных горизонтов мала и чрезвычайно большое воздействие на их состав оказывают горные породы) влияние смены растительности на содержания металлов в почвах сравнительно невелико. Однако и в этих случаях степень отличия по содержанию большинства металлов в почвах составляет для многих ландшафтов 10—15% (В.В.Дьяченко, 1995).

Переход рассматриваемых ландшафтов в техногенные (сады, виноградники, пашни) обычно сопровождается резким увеличением дисперсии содержания большинства металлов. Наряду с этим часто наблюдается уменьшение фонового содержания таких элементов, как W, Ti, Mn и Ag и увеличение содержания Mo, Си, V, Li. При этом влияние типоморфных катионов на поведение многих металлов в почвах более существенно, чем анионов.

Что касается влияния геоморфологических особенностей, то в условиях Кавказа оно довольно велико. Так, почвы ландшафтов высокогорья отличаются высоким фоновым содержанием W, Sn, Ni, Cr, Mn и низким Mo. В ландшафтах низко- и среднегорья понижены концентрации Си, Sn, Ni, V, Li; в предгорных равнинах повышено содержание Mo.

Более детальное изучение влияния геоморфологических особенностей на концентрацию металлов в почвах показало, что минимальные значения среднего содержания Си, Ag, W, Ni, V, Cr, Ga характерны для почв плосковершинных ландшафтов. Наиболее высокими содержаниями РЬ и Zn отличаются почвы трансэлювиальных, а Си — трансаккумулятивных ландшафтов.

Суммарное влияние всех внешних факторов привело к увеличению различий в фоновых (средних) концентрациях в почвах различных ландшафтов одних элементов и нивелированию — других (рис. 7.11). Подобная картина выявилась и при анализе поведения металлов в основных растениях Кавказа (рис. 7.12).

Существенное влияние внешние факторы миграции, учитываемые на различных таксономических уровнях, оказывают на поведение химических элементов в почвах *техногенных ландшафтов*. Рассмотрим это на примере наиболее распространенных из них — сельскохозяйственных ландшафтов (В.А.Алексеенко, Л.ПАлексеенко, В.Н.Сериков, 1993, 1995). Переводу природных ландшафтов степей и лугов в пашни соответствует тенденция к на-

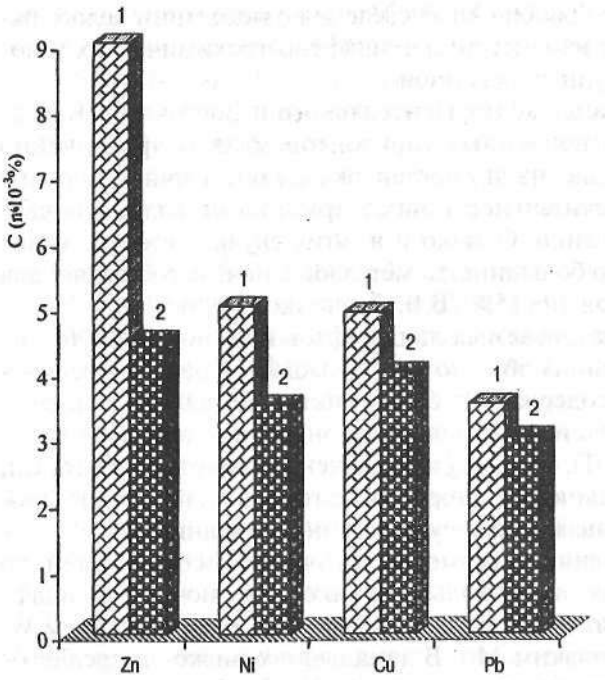


Рис. 7.11. Особенности распределения фоновых содержаний ряда металлов в почвах различных ландшафтов Западного Кавказа:
1 — биогенный элювиальный ландшафт лиственных лесов с гидрокарбонатно-кальциевым классом водной миграции на триасовых карбонатно-терригенных отложениях; 2— биогенный трансэлювиальный ландшафт лиственных лесов с кислым, переходным к кальциевому классом водной миграции на неогеновых терригенных отложениях

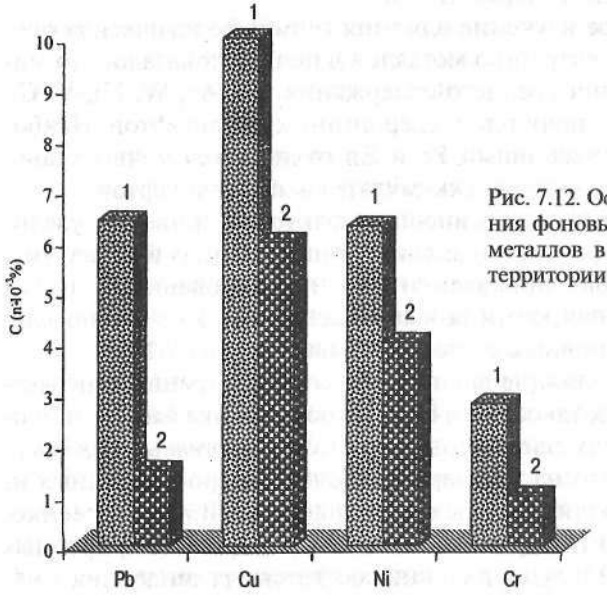


Рис. 7.12. Особенности распределения фоновых содержаний тяжелых металлов в золе листьев дуба на территории Западного Кавказа:
1 — биогенный трансаккумулятивный ландшафт лиственных лесов с гидрокарбонатно-кальциевым классом водной миграции на четвертичных аллювиальных отложениях; 2— биогенный трансэлювиальный ландшафт лиственных лесов с гидрокарбонатно-кальциевым классом водной миграции на неогеновых терригенных отложениях

конлению в почвах Zn, Pb, Ni, V, Mo. Дальнейший переход бо-
і фных пашен в орошаемые и периодически заливаемые (рисовые
ик и) приводит в регионе к относительному накоплению Cr, Ba, V, Pb, Zn при частом выносе Ni и Cu (подробнее см. гл. 8).

На поведение химических элементов в *ландшафтах пашен* продолжают воздействовать и природные факторы. Так, детальное рас-
• мотрение распределения металлов в сопряженных полеводческих паидшафтах (элювиальные — трансэлювиальные — трансаккумунитивные — транссупераквальные) показало, что Cu, Zn, Pb, Ba, Mn, V, Cr, Ti накапливаются в почвах транссупераквальных ландшафтов; Zn, Mn, V, Cr, Ba — в почвах пашен с гидрокарбонатмо-натриевым классом водной миграции; Pb, Cr, Ni, Mn, Cu, Zn, V — в почвах элювиальных ландшафтов, подверженных воздушной эрозии.

Существенное влияние на распределение металлов оказывает и состав почвообразующих пород. Так, Pb и Zn, при прочих равных условиях, накапливаются в почвах над лиманными отложениями четвертичного возраста.

Как и в случаях с природными ландшафтами, суммарное воздействие внешних факторов, рассматриваемых на различных таксономических уровнях, приводит к нивелированию различий в концентрации для одних химических элементов и возрастанию различий для других.

Изменение ландшафтно-геохимической обстановки может привести и к смене форм нахождения химических элементов. Так, значительная часть железа, содержащегося в форме водных растворов в ландшафтах с бескислородной глеевой обстановкой, при смене последней на кислородную переходит в коллоидную, а затем в минеральную форму.

При техногенном изменении ландшафтно-геохимической обстановки ее влияние на поведение химических элементов сохраняется и в аквальных ландшафтах. Так, появление в результате антропогенной деятельности в реке Дон, около Ростова, ландшафтов с глеевой обстановкой в илах и придонном слое воды привело к резкому увеличению содержания в илах целого ряда тяжелых металлов. При этом по сравнению с соседними ландшафтами для многих из них возросла роль минеральной формы нахождения.

Число примеров, показывающих влияние ландшафтно-геохимической обстановки (в конкретных условиях отдельных участков биосферы) на геохимическое поведение химических элементов в различных климатических обстановках, чрезвычайно велико.

Все изложенное выше послужило основанием для формулировки следующего закона*:

геохимическое поведение химических элементов (их соединений) в биосфере (содержание, распределение, а часто и форма нахождения в отдельных частях ландшафтов) определяется в основном ландшафтно-геохимическими особенностями данного участка биосферы.

Из рассмотренного закона вытекают следующие следствия, важные для разрешения многих проблем охраны окружающей среды и поисков месторождений полезных ископаемых:

1. *Поведение веществ, поступающих в результате антропогенной деятельности в биосферу, определяется в основном ландшафтно-геохимическими особенностями участка биосферы, в который они попадают.*

2. *Фоновые содержания химических элементов в одном ландшафте могут превосходить аномальные содержания этих же элементов в других ландшафтах.*

7.3.2. Связь между эколого-геохимическими изменениями в пределах ландшафта

Различные части ландшафта тесно связаны между собой. Эта их особенность позволила предположить, что изменения, первоначально охватившие только одну часть ландшафта, должны постепенно сказаться во всех его частях (ярусах). Детальный анализ этого явления при различной антропогенной нагрузке и ее практическом отсутствии в различных климатических зонах, аквальных ландшафтах и ландшафтах суши подтвердил высказанное предположение и позволил сформулировать следующий закон**:

изменения, происшедшие в определенной части (ярусе) геохимического ландшафта, скажутся практически во всех частях этого ландшафта за счет связей между ними.

Рассмотрим действие данного закона на нескольких примерах. Сначала простейший случай: в ландшафте под воздействием природных или техногенных факторов существенно (выше фоновых

* Диплом на открытия № 53, рег. № 4.
** Там же.

сезонных колебаний) увеличилось количество грунтовых вод. (Фоновые, сезонные колебания являются обычными для конкретных периодов и не могут рассматриваться как изменения в ландшафте.) Такое увеличение вызывает подъем уровня грунтовых вод, и, как только расстояние от него до дневной поверхности станет меньше высоты капиллярного поднятия, начинается интенсивное испарение воды и засоление верхнего гумусового горизонта почв. При этом в почвах происходит смена типоморфных элементов (обычно Ca^{2+}, HCCV на Na^{+}, СГ, $S0_4^{2"}$).

Часто одновременно с засолением наблюдается накопление ряда металлов (Pb, Zn, Cr, V, Си, Ni). В этих условиях в рассматриваемом ландшафте начинает уменьшаться биомасса растений, а при дальнейшем засолении происходит смена растительных сообществ. При этом изменяется количество и состав паров воды и элементов, попадающих в приземную атмосферу за счет транспирации. В случае высокой степени засоления частицы солей могут попадать в воздух и непосредственно из почв. Следует отметить еще раз, что рассматриваемый процесс идет независимо от того, за счет каких процессов — природных или техногенных — произошло исходное поднятие уровня грунтовых вод.

Уровень грунтовых вод может изменяться и в результате природного или техногенного изменения геоморфологических особенностей территории. Таким природным изменением могут быть оползни.

Как пример техногенного изменения можно рассмотреть распахивание гривистой поймы. В условиях Нижнего Дона, если пашни после распахивания перестают использоваться, то на выровненных участках появляются так называемые «сорные» растения: циклахена дурнишниколистная, амброзия, донник и т.п. И даже через десятилетия первоначально существовавшие в ландшафте растительные группировки повышенных и пониженных местообитаний не восстанавливаются. С происходящим изменением растительных сообществ изменяется БИК, а соответственно и концентрация ряда элементов в почвах.

Закон действует и в том случае, если изменения начинаются в верхних ярусах. Рассмотрим, как пример, развитие изменений в ландшафтах у кожевенного завода в Краснодаре. Завод выбрасывает в атмосферу серу в повышенных количествах. Ее избыток в соответствии с известными биохимическими процессами способствует накоплению в растениях целого ряда тяжелых металлов. В результате деревья около завода содержат в аномальных кон-

центрациях Cu, Zn, Pb, Ba, Sr, Sn, Co и др. Это способствует развитию у растений различных заболеваний. Идет процесс засыхания и отмирания растений. В результате участки с полностью сухими и суховершинными деревьями как бы оконтуривают завод полосой около 400 м. Опад растений, обогащенных тяжелыми металлами, является одним из источников повышенных концентраций этих металлов в почвах. Таким образом, изменения в приземной атмосфере городского ландшафта сказались и на растительности, и на почвах.

Указанные изменения выявлены в виде контрастных биогеохимических и почвенных аномалий упомянутых металлов. Аномалии столь контрастны, что выделяются даже на фоне городских ландшафтов, практически всегда характеризующихся повышенными фоновыми концентрациями тяжелых металлов. Кроме того, изменения выразились в засыхании деревьев, т.е. в изменении биомассы в ландшафте.

Охватывают весь ландшафт и изменения, затронувшие первоначально только его растительные сообщества. Рассмотрим это на примере рубки лесов на Западном Кавказе. Первый результат этого антропогенного воздействия на ландшафт — исчезновение леса. На его месте остаются кустарники и молодая поросль ранее произраставших здесь деревьев. При этом меняется количество биомассы в ландшафте, а видовой состав остается в целом прежним. Но одновременно с исчезновением леса в ландшафте на вырубках изменяется водный режим и начинается процесс заболачивания, при котором в почвах кислородная обстановка начинает сменяться глеевой. При этом по обе стороны всей границы болот возникают глеевый и кислородный барьеры, на которых осаждаются соответствующие элементы (см. гл. 2, 6).

Следует еще раз подчеркнуть, что все это происходит без непосредственного воздействия на почвы. Результатом развития данного процесса (вторичного по своей сути) является полная смена растительности. На местах сплошной вырубки дубово-буковых лесов появляются заболоченные луга с преобладанием щучки обыкновенной или дернистой, полевицы, душистого колоска, осоки и ситника. Часто по их краям возникают заросли зверобоя и дербенника, которые сменяются ажиной и терном, а потом осиной. Таким образом, со временем ландшафт дубово-буковых лесов, постепенно саморазвиваясь, даже после одноактного и непродолжительного антропогенного воздействия переходит в ландшафт болот, а затем снова в ландшафт лесов, но уже осиновых.

Характерно, что и в *той части ландшафта, которая подвергалась непосредственному первичному воздействию, степень происходящих изменений со временем может возрастать и даже меняться их характер* (вплоть до полной смены ландшафта). Так, в рассматриваемом примере с вырубкой леса постепенно начинает изменяться сам состав растительных сообществ.

Действие данного закона относится к различным геохимическим ландшафтам суши и к аквальным ландшафтам. При этом следует особо отметить, что в большинстве случаев изменения быстрее сказываются во внутриконтинентальных водных ландшафтах. Объясняется это особенностями связи между составными частями таких ландшафтов и большой скоростью миграции химических элементов в водной среде и в среде, насыщенной водой (илы).

При более детальном изучении действия этого закона устанавливается следующая закономерность: *наиболее глубокие и быстрые изменения в частях ландшафта, не испытывающих непосредственного воздействия, происходят в тех случаях, когда само воздействие затрагивало ландшафтно-геохимические условия, учитываемые на высших (первом и втором) классификационных уровнях.* Подтверждение этой закономерности можно рассмотреть и на уже приведенных примерах. Так, вырубка леса оказала большее влияние на геохимический ландшафт, чем выравнивание рельефа, и даже более сильное, чем постоянное воздействие на состав газов при их атмосферном переносе.

У рассмотренного закона можно выделить три основных следствия, имеющих довольно большое прикладное значение:

1. *Нельзя техногенным путем произвести изменения только в одной части яруса геохимического ландшафта.*

Это следствие надо иметь в виду при планировании казалось бы незначительных изменений в окружающей среде, например замене растительных сообществ. Отметим также, что ежегодная смена растительности (как и полное перепахивание пашен) при севооборотах вносит нестабильность в ландшафт.

2. Последствия многих антропогенных изменений, недавно происшедших только в одной части геохимического ландшафта, еще могли не сказаться в остальных его частях.

Эти последствия необходимо прогнозировать. Особо следует учесть, что они не всегда должны быть отрицательными. В указанных случаях целесообразен ландшафтно-геохимический мониторинг. Затраты на его проведение в итоге обязательно должны окупиться.

3. *Изменения ландшафтно-геохимической обстановки, вызванные выветриванием месторождений полезных ископаемых, как правило, начались достаточно давно и уже сказались во всех частях ландшафтов, в которых они имели место.*

Это следствие из рассматриваемого закона позволяет считать, что при поисках долго выветривающихся месторождений (а они составляют подавляющее большинство) можно использовать и геоботанический и любой из геохимических методов поисков. При выборе методов решающую роль должны сыграть контрастность проявленных изменений и стоимость работ.

7.3.3. Влияние смены одних ландшафтов другими на эколого-геохимическую обстановку в соседних ландшафтах

Анализ эколого-геохимических изменений, начавших проявляться в ландшафтах после того, как соседние ландшафты под воздействием различных факторов исчезли и на их месте возникли новые, привел к открытию следующего закона*:

коренные изменения ландшафтно-геохимической обстановки (смена одного ландшафта другим) сказываются в соседних ландшафтах, при отсутствии непосредственного воздействия на них, за счет связей между ландшафтами.

Так же, как и предыдущие, этот закон является действенным и для ландшафтов суши, и для водных. Он остается в силе и при рассмотрении такой пары ландшафтов, как аквальные—субаквальные. Степень изменений в «соседних ландшафтах» может быть довольно различной. Ее предельным случаем следует считать уже вторичную смену соседнего геохимического ландшафта другим, без непосредственного воздействия на него первичных факторов. Однако если «коренные» первичные изменения представляют собой быструю (революционную) смену одних ландшафтов другими, то изменения в соседних ландшафтах происходят довольно медленно, эволюционно. Причиной первичных коренных изменений могут быть природные катаклизмы (новые ландшафты появляются после пожара, прохождения селевого потока и т.д.) и

* Диплом на открытия № 53, рег. № 4.

интенсивные антропогенные процессы (строительство водохранилищ, распахивание степей и т.д.).

Среди многочисленных примеров действия этого закона рассмотрим сначала развитие изменений в такой паре ландшафтов, кик супераквальный—аквальный. Вырубка лесов у водохранилищ и прудов (т.е. смена лесных ландшафтов степными или сельскохозяйственными) способствует усиленному сносу почв и удобрений в эти водоемы. В результате происходит их обмеление, усиленный прогрев вод и очень быстрый рост водорослей. Дальнейший процесс эвтрофикации может привести (и приводит) к изменению ландшафтно-геохимической обстановки в водохранилище и появлению новых водных ландшафтов. Они могут отличаться от ранее существовавших по продуктивности (в Цимлянском водохранилище оно меняется от 364 до 1440 m/u^2), окислительно-восстановительной обстановке (в донных отложениях и придонном слое мри разложении массового количества водорослей может возникнуть бескислородная глеевая обстановка), изменению геоморфопогической обстановки (трансаквальные с преобладанием механического переноса материала могут перейти в трансаккумулятивные с преобладанием отложения осадков), составу донных отложений (в равнинных условиях возможно увеличение количества тонкой фракции осадков, а в горных — более грубых).

Со временем может наступить предельная степень изменений — за счет ускоренного поступления материала, вызванного уничтожением прибрежных лесных ландшафтов, произойдет полное заиливание водохранилищ и прудов. В условиях пересеченной местности полное зарастание прудов водно-болотной растительностью может наступить менее чем за 10 лет, а в равнинных — за первые десятилетия.

Продолжая рассматривать примеры действия второго закона В аквальных и супераквальных ландшафтах, следует отметить, что создание таких техногенных аквальных ландшафтов, как водохранилища, приводит к резкому изменению водного режима в пойменных ландшафтах. В результате происходит их своеобразное остепнение и засоление сернокислым натрием на обширных пространствах (В.Н.Карпенко, 1960). По данным Б.Н. Горбачева с соавторами (1976), в пойме и дельте Дона произошло уменьшение площадей, занятых ландшафтами болот, и возросла площадь лугов. При этом увеличилось распространение галофильных растительных сообществ, а на положительных формах рельефа уже к 1975 г. отчетливо проявилось остепнение.

Необходимо отметить, что в общих чертах скорость рассматриваемых процессов находится в прямой зависимости от удаленности созданного крупного техногенного ландшафта — Цимлянского водохранилища. К 1976 г. в придельтовом районе ранее существовавшее соотношение между ландшафтами болот и лугов изменилось незначительно, причем в сторону увеличения последних. Однако ближе к водохранилищу, в районе Дон-Аксайского займища площадь болот сократилась довольно резко, и заметное развитие получили галофильные сообщества. Еще ближе к водохранилищу остепнение более выражено: ландшафты болот стали сравнительно редки, а на лугах травостой злаков изрядился и в промежутках развились «однолетки степной экологии», главным образом однолетние костры.

В приведенном выше примере изменения в ландшафтах, прилегающих к вновь созданному техногенному, отмечаются на расстоянии около 100 км. Это связано с особенностями конкретной пары (аквальный—супераквальный) геохимических ландшафтов. Обычно же указанное расстояние меньше. Так, антропогенная замена предгорных ландшафтов лугов и степей пашнями в Предкавказье вызвала заметные трансформации в соседних ландшафтах только на расстоянии в сотни метров. Эти изменения выразились в появлении в травостое граничных лесных ландшафтов таких нехарактерных для них растений, как пырей ползучий, морковь дикая, береговой костер, лабазник и др. Таким образом, появление нового техногенного ландшафта вызвало в соседних изменение биологического круговорота за счет преобразований в составе растительности. Явление это довольно широко распространено в Предкавказье.

В ранее рассмотренном примере с распахиванием гривистой поймы (см. разд. 7.4) итоговые изменения ландшафтно-геохимической обстановки, происходящие под воздействием этого антропогенного процесса, приведшего к образованию нового ландшафта, вызвали изменения и в прилегающих ландшафтах. Так, в них практически исчезали растительные группировки, характерные для понижений в рельефе: осоки, сусак зонтичный и т.д.

Подобных примеров, иллюстрирующих действие этого закона, очень много, и необходимо отметить, что в каждом из них к числу последствий антропогенной деятельности следует также относить изменения хода миграции химических элементов и особенности их биологического круговорота.

Основными следствиями рассматриваемого закона можно в настоящее время считать следующие:

1. *Нельзя заменить одни или группу геохимических ландшафтов другими, не вызвав изменений в ландшафтно-геохимической обстановке в соседних ландшафтах, даже без непосредственного воздействия на них.*

2. Революционные (катастрофические) воздействия на отдельных участках биосферы постепенно вызывают эволюционные изменения в соседних участках.

Без учета рассматриваемого и предыдущего законов и следствий, вытекающих из них, невозможно рациональное использование природных ресурсов. Это подтверждается дорогостоящими исправлениями ошибок, явившихся следствием выполнения проектов, составленных без учета указанных законов. К числу таких проектов в первую очередь относятся проекты по созданию крупных водохранилищ в равнинных частях страны, по сплошной рубке леса на Кавказе и т.д.

7.3.4. Ландшафтно-геохимические условия и соотношение концентраций химических элементов в организмах

Как уже говорилось выше, развитие жизни в целом происходило на Земле в условиях определенных разбросов содержаний химических элементов. Развитие тех или иных видов животных и растительных организмов (и их конкретных сообществ), проживающих в отдельных районах биосферы, ограничено разбросом содержаний химических элементов, уже гораздо меньшим, соответствующим этому участку биосферы.

Кроме того, на развитие определенных видов и их сообществ большое влияние оказывают формы нахождения этих химических элементов, определяющие их доступность организмам в среде обитания. В сумме геохимические факторы среды обитания (питания) организмов, а также биогеохимические особенности самих организмов привели, во-первых, к определенной концентрации элементов в каждом конкретном виде и, во-вторых, к определенному соотношению содержания элементов в каждом из этих видов.

Еще в 30-е годы нашего столетия английским исследователем Херд-Каррер было установлено, что очень высокие концентрации в почвах Se «передаются» сначала растениям, произрастающим в этих районах, а затем — съедающим их животным, вызывая у них специфические болезни, вплоть до смертельных исходов (см. 6.4.2).

Очень важным в этой работе оказалось то, что для лечения мож« но использовать серу. Ее повышенная концентрация как бы ней» трализовала селеновое отравление при неизменной концентрации самого селена. Это наталкивало на мысль о важности для органич» мов в определенных ландшафтно-геохимических условиях соотч ношения концентраций химических элементов, в частности Se/S.

Позже отечественными геохимиками было установлено, что I аномальных ландшафтно-геохимических провинциях с резким избытком в почвах Sr не только развивается «уровская болезнь») но в скелете животных организмов, включая человека, существен* но повышается содержание Sr (А.И.Перельман, 1972). А это при« водит к нарушению соотношений Ca/Sr и Ba/Sr. В материалах ис« следований можно усмотреть не только токсичную роль Sr, что бы« ло сразу же отмечено, но и важность изменения соотношений элементов в организмах в зависимости от ландшафтно-геохимических условий.

Для проверки этих предположений автором проводились специальные исследования (В.А.Алексеенко, 1965—1997). Они показали, что в растительных и животных организмах существуют довольно четкая связь между элементами (см. 6.4.2). При резком изменении условий существования организмов, что обычно связано со сменой геохимических ландшафтов, эти соотношения изменяются, вызывая другие изменения в организмах и заболевания. Обобщая полученные данные, можно сформулировать следующий закон*:

резкое изменение ландшафтно-геохимических условий существования живых организмов приводит к изменению соотношения концентраций ряда химических элементов в этих организмах, часто сопровождается болезнями.

Использование этого закона в практической деятельности сразу же дало положительный эффект. Например, полиметаллические месторождения при поисках биогеохимическими методами определяются по резко уменьшающемуся отношению содержания Mo/Pb в растениях даже при большой мощности перекрывающих наносов. По этому же признаку наиболее четко выявляются и участки загрязнения свинцом.

По изменению соотношения содержаний в золе растений Си и Мо впервые биогеохимическим методом (В.А.Алексеенко, 1965) были выявлены границы между различными породами, перекры-

* Диплом на открытия № 53, per. № 4.

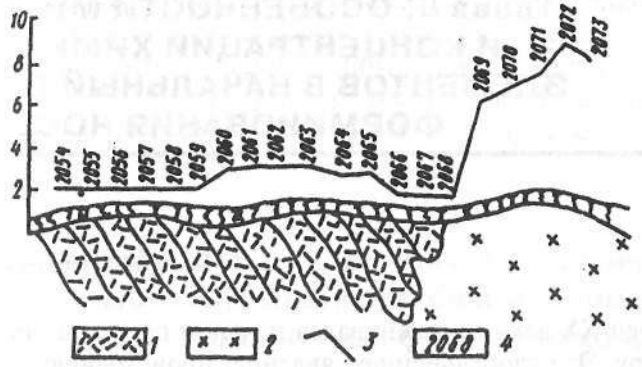


Рис. 7.13. Изменение отношения содержания меди к молибдену в золе таволги над различными породами (Джунгарский Алатау):
1 — эффузионно-туфогенные; 2— граниты; 3 — кривая изменения отношения; 4 — номер пробы

тыми рыхлыми отложениями, т.е. была установлена граница между двумя геохимическими ландшафтами (рис. 7.13). Позднее по изменению соотношений концентраций в растениях между определенными химическими элементами неоднократно определялась граница между различными горными породами под наносами, т.е. между различными геохимическими ландшафтами.

Глава 8. ОСОБЕННОСТИ МИГРАЦИИ И КОНЦЕНТРАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В НАЧАЛЬНЫЙ ПЕРИОД ФОРМИРОВАНИЯ НООСФЕРЫ

8.1. Общие сведения

Конец XX века ознаменовался началом перехода биосферы в ноосферу. Это глобальнейшее явление, происходящее на наших глазах, с позиций общего развития Земли идет чрезвычайно быстро, можно сказать, катастрофически быстро. При этом с точки зрения экологической геохимии изменяются условия миграции (внешние факторы); появляются новые, техногенные источники интенсивного вовлечения химических элементов в геохимический цикл миграции; во многом изменились и сами малые циклы миграции; изменился БИК; широкое распространение получила не просто техногенная миграция, а, как выделил ее А.И. Перельман, миграция социальная, вообще не имеющая природных аналогов. Часть этих изменений носит глобальный (биосферный) характер, часть — региональный и местный.

К глобальным изменениям относят увеличение в биосфере концентрации углекислого газа; уменьшение мощности озонового слоя, вплоть до образования «дыр»; начинающееся повышение температуры в биосфере; ее металлизацию и т.п. К региональным и местным — резкое увеличение в атмосфере определенных регионов содержания пыли, оксидов серы; повышение концентрации ряда соединений в почвах сельскохозяйственных ландшафтов отдельных областей и районов и т.п. В целом же, как уже отмечалось, идет рост площадей, занимаемых техногенными ландшафтами, за счет биогенных и даже абиогенных ландшафтов.

Все эти изменения в биосфере, связанные с первыми периодами формирования ноосферы, внесли свои коррективы в ранее существовавший процесс природной миграции. Таким образом, миграция химических элементов в биосфере (и в ее биогенных, а также техногенных ландшафтах) идет под воздействием как природных, так и антропогенных факторов. При этом роль последних постоянно возрастает.

К числу основных показателей, определяющих особенности миграции элементов в период формирования ноосферы, относятся следующие: 1) соотношение масс химических элементов, находящихся в биосфере и мигрирующих в разных формах; 2) интенсивность миграции; 3) формирование новых геохимических барьеров; 4) дальность миграции.

8.2. Изменение соотношения масс химических элементов, находящихся и мигрирующих в различных формах нахождения

8.2.1. Общие положения

В условиях перехода биосферы в ноосферу произошло весьма существенное увеличение массы химических элементов, в том числе тяжелых металлов, мигрирующих в коллоидной, сорбированной, минеральной формах, а также в форме техногенных соединений, обычно не имеющих природных аналогов. На отдельных участках биосферы увеличилась и масса химических элементов в биогенной форме.

Относительно условно массу химических элементов, миграция которых в перечисленных формах нахождения связана с начавшимся формированием ноосферы, можно разделить на две группы. К первой относится масса элементов (их соединений), поступление и миграция которых обусловлены работой промышленных предприятий и транспорта, а ко второй — непосредственно сельскохозяйственным производством. Это связано с тем, что вещества, относимые к первой группе, поступают в биосферу преимущественно в местах большого скопления жителей (в населенных пунктах), а вещества второй группы оказывают большое влияние на качество продуктов питания. Такое разделение удобно и для последующей выработки конкретных рекомендаций по улучшению состояния среды, окружающей человека.

8.2.2. Коллоидная и сорбированная формы нахождения

Химических элементов, находящихся и мигрирующих в коллоидной и сорбированной формах в биосфере, было довольно мно-

го и до начала ее перехода в ноосферу. В процессе же формиро вания ноосферы к ним добавились многочисленные коллоиды тех ногенного происхождения. Кроме того, часть природных колло идов, находившихся ранее в состоянии относительного покоя, I результате антропогенных процессов начала мигрировать.

От *промышленных предприятий и транспорта* основное коли ство коллоидов и сорбированных ими веществ поступает в атмо' сферу. В крупных городах только за счет износа автопокрышек ко« личество образующейся за сутки тонкой пыли превышает 50 т. Во- обще же основными источниками техногенных коллоидов, посту« пающих в атмосферу, являются металлургические предприятия, обо< гатительные (рудные и нерудные) фабрики, коксовые и цемент- ные заводы. Об их вкладе в образование аэрозолей техногенного (промышленного) происхождения можно судить по нормам допу< стимых выбросов в атмосферу от различных промышленных ланд- шафтов (табл. 8.1).

Таблица 8.1

Допустимые величины выбросов пыли в атмосферу промышленными предприятиями (по документам США, Германии, Франции, Швеции)

Источник пыли	Концентрация, мг/нм^3	Источник пыли	Концентрация, мг/нм^3
Сжигание мусора	200–1280	Предприятия цветной металлургии:	
Предприятия черной металлургии:		отдельные цеха	100–500
конверторы	240–800	отдельные печи	около 250
доменные печи	около 600	Цементные заводы	100–150
электрические печи	240–370	Отдельные цеха по обогащению и переработке угля	300
вагранки	50–1150		
цехи спекания	240–700	Дробление кокса	300

Для получения общей картины поступления аэрозолей от про- мышленных предприятий отметим, что на 1 т продукции металлургических предприятий приходится до 100 кг пыли. Различные мусоросжигающие заводы поставляют твердых аэрозолей от 2 до 14 кг на тонну мусора. Цементные заводы только Франции выбрасывают за год в атмосферу около 700 тыс. т пыли (Ж. Детри, 1973). А в Краснодарском крае, не относящемся к основным промышленным регионам страны, твердых веществ за год поступает в ат-

и фору от стационарных промышленных источников и авто-
| цтнспорта примерно 20 тыс. т.

!пачительное количество коллоидных частиц, относимых к промышленным, образуется в результате сжигания топлива. Часть их поступает в атмосферу при горении, часть (в виде золы) — в раз-
м| ые накопители. Из последних частицы золы различными
| имгобами поступают в соседние ландшафты. Отметим, что зольность дров колеблется в зависимости от вида растений в предеЙЙХ 0,5-3%, а угля — от 12 до 40%. Количество пыли, выделяемое при сжигании нефти в специальных установках, составляет около 0,1%, а при аналогичном сгорании 10 000 м^3 газа ее выделяет-
< и около 1 кг.

Значительная часть поступающих в атмосферу твердых коллоидиых частиц изначально содержит тяжелые металлы, способствуя отмечаемой многими исследователями металлизации биосферы. От металлургических предприятий таким путем поступают в шачительных количествах Fe, Mn, Co, As, Pb, Zn, W, Cu, Cd и др. (>т ТЭЦ, сжигающей около 500 т угля в сутки, ежегодно выбра-
i сывается в атмосферу примерно: V — 37, РЬ — 21, As — 20, F — И Ni _ ю, Be — 1 т. Не меньшие их количества дополнительно поступают в атмосферу из золонакопителей.

Однако даже те твердые аэрозоли промышленного происхождения, которые первоначально содержат металлы в количествах, близких к кларковым, ко времени осаждения существенно обогащаются многими элементами за счет процессов сорбции. Это г низано с тем, что в атмосфере селитебных ландшафтов (а именно в них расположено подавляющее большинство предприятий) обычно повышена концентрация металлов (табл. 8.2). Процессу сорбции способствуют малые размеры частиц, выбрасываемых с пымами в атмосферу. Так, диаметр частиц оксидов цветных металлов, как правило, не превышает 1 мкм, а цементной пыли — И) мкм.

В результате осаждения промышленных аэрозолей состав образующихся крупных техногенных аномалий аналогичен. При)том во многих лито- и биогеохимических аномалиях коэффициент аномальности ряда элементов, находящихся в наибольших концентрациях и относимых к так называемым приоритетным загрязняющими веществами, может быть в 1000 раз выше, чем у других элементов, составляющих эти же аномалии. Крупные лито- и биогеохимические аномалии, образующиеся за счет осаждения техногенных аэрозолей, часто встречаются вблизи относительно не-

Таблица 8.2

Концентрация ряда элементов, мкг/м³, в атмосферном воздухе (по В.А. Михайлову, 1980)

Элемент	Южный полюс, $n \cdot 10^{-3}$	Пригородный фон	Промышленные города	Центры очагов загрязнения
Al	0,082	0,9	18	–
Br	0,26	0,05	1,3	–
W	–	0,001	0,02	–
Fe	0,062	1,5	24	1000
Cd	0,0015	0,006	0,13	1
Co	0,00005	0,001	0,04	8
Mn	0,001	0,06	0,6	100
Cu	0,003	0,07	1,1	6
Mo	0,000002	0,01	–	–
As	0,003	0,005	0,1	60
Ni	–	0,06	0,12	7
Hg	–	0,001	0,005	3
Pb	–	0,3	3	9
Se	0,084	0,001	0,019	10
Ag	0,00004	0,001	0,002	–
Sb	0,00008	0,01	0,4	–
Ti	0,01	0,1	1,4	–
Cr	0,004	0,009	0,12	–
Zn	0,003	0,3	1,7	10

больших селитебных ландшафтов (регионального и местного значения), а также у рудников и обогатительных фабрик. На юге европейской части России около крупных промышленных городов (государственного значения) такие аномалии не установлены. Это можно объяснить двумя основными причинами.

Во-первых, города с числом жителей около 1 млн и более расположены в регионе среди пашен. В их почвах при постоянных перепахиваниях происходит усреднение содержания поллютантов на больших площадях. В результате идет постепенное увеличение фоновой концентрации загрязняющих веществ в почвах агроландшафтов, а не формирование техногенных аномалий.

Во-вторых, в городах государственного значения всегда находятся разноплановые предприятия (см. 7.2.1), выбрасывающие в атмосферу аэрозоли разного состава и зарядов. Обычно основные

вещества (CaO, ZnO, MgO, $Fe_2 0_3$ и т.д.) заряжены отрицательно, а кислые ($Si0_2$, P_2O_s и т.д.) и угольная пыль - положительно. Чем больше разноименно заряженных частиц находится в определенной части атмосферы (над отдельным предприятием, городом), тем чаще они сталкиваются, соединяются и оседают (В.А. Алексеенко,1994). Расчеты показывают, что скорость оседания коллоидных частиц в воздухе в 600 раз больше, чем в воде.

Итак, чем больше разнообразных предприятий - источников разнозаряженных аэрозолей находится рядом, тем меньше становится дальность переноса частиц аэрозолей. В данном случае, с одной стороны, уменьшаются глобальные (с точки зрения пространственного распространения) последствия атмосферного переноса коллоидов техногенной природы, а с другой стороны, на относительно небольшой территории (обычно с максимальной плотностью населения, среди которого дети с еще только формирующимся организмом) оседает максимум загрязняющих веществ в коллоидной форме. В результате резко возрастает их токсичное воздействие.

Это при учете большого количества крупных промышленных центров в различных частях биосферы, позволяет относить последствия рассматриваемого переноса к глобальным явлениям в биосфере. Здесь уместно отметить, что отрицательные последствия концентрации веществ из аэрозолей не всегда пропорциональны массе последних. Миллиграммы аэрозолей РЬ, находящиеся в атмосфере городов и попавшие через легкие в организм человека, гораздо опаснее килограммов природных глинистых частиц, переносимых в виде аэрозолей.

В результате осаждения большого количества аэрозолей в черте городов в их почвах и растениях повышены концентрации многих химических элементов, и в первую очередь металлов. Так, в относительно небольшом городе Новороссийске (менее 500 тыс. жителей), где практически отсутствуют металлургические предприятия превышение содержания в почвах металлов по отношению фоновому содержанию в соседних природных ландшафтах составляет на 36 км^2: Sr - 2200, Zn - 1190, Pb - 1000, Си - 262, Sn - 43, Mo - 7, Ag - 1 т.

Резкое повышение концентрации металлов в городских почвах за счет осаждения коллоидных частиц наблюдается во всех крупных городах мира. Наиболее сильно увеличивается концентрация металлов в городах с преобладанием металлургических и химических предприятий. В табл. 8.3 в качестве примера приведены дан-

Таблица 8.3

Содержание цинка в городских почвах

Город (страна)	Содержание, n · 10^{-4}%	Примечание
Алаверди (Армения)	170–330	Меднохимический комбинат
Алма-Ата (Казахстан)	300	Среднее содержание
Белово (Россия)	12 000–16 000	Цинковый завод
Будапешт (Венгрия)	37–403	–
Варшава (Польша)	389	–
Владикавказ (Россия)	1000–3000	Завод «Электроцинк»
Восточное Чикаго (США)	2456	Химические и металлургические предприятия
Гамбург (Германия)	7–590	–
Краснодар (Россия)	300	Среднее содержание
Лос-Анджелес (США)	72–896	–
Москва (Россия)	28–600	–
Новороссийск (Россия)	160	Среднее содержание
Ростов (Россия)	150	Среднее содержание
Сакаи (Япония)	900–3500	Металлургический комбинат
Торонто (Канада)	65–1325	Химические предприятия
Чимкент (Казахстан)	10 000–15 000	Свинцово-цинковый комбинат

ные о концентрации в почвах ряда городов цинка (отметим, что среднее содержание его в почвах, по данным А.П. Виноградова, составляет 50 • 1($Г^4$%).

Таким образом, почвы значительных по размерам селитебных ландшафтов можно рассматривать как крупные техногенные литохимические аномалии, образовавшиеся преимущественно за счет осаждения коллоидных частиц из атмосферного воздуха. Основными источниками этих частиц являются различные промышленные предприятия и транспорт.

Изучение таких аномалий показало, что, несмотря на различные климатические и ландшафтно-геохимические условия, а также на преобладание в городах различных предприятий, элементный состав всех изучаемых аномалий практически одинаков: Pb, Zn, Cu, Mo, Co, Cr, Ba, Ni, Mn, V, Ga, Ti, Sr. Однако значения коэффициентов аномальности этих элементов могут существенно отличаться. Содержание одних элементов незначительно отличается от фонового (аномального содержания для девяти коррелирующих точек — см. 4.4.2), а других — превышает фоновое в ты-

сячи раз. Элементы, концентрации которых в техногенных аномалиях высока, называют «приоритетными» загрязнителями.

В городских растениях также отмечаются повышенные концентрации практически тех же химических элементов, что и в почвах. Следовательно, крупные промышленные города можно рассматривать и как техногенные биогеохимические аномалии Pb, Zn, Си, Май т.д. того же генезиса, что почвенные аномалии. Следует отметить, что зоны максимальных концентраций загрязняющих элементов в почвах и растениях часто могут не совпадать, что объясняется многими факторами (см. 6.4.2).

Растительные и животные организмы (включая людей), живущие или находящиеся продолжительное время в местах образования техногенных аномалий металлов за счет осаждения коллоидных частиц, становятся более подверженными различным заболеваниям. У растений развиваются хлороз, некроз, суховеточность и суховершинность. У людей чаще всего возникают различные аллергические заболевания, а также болезни дыхательных путей и легких. При дальнейшем повышении концентраций тяжелых металлов, осаждающихся из аэрозолей, возникают расстройства нервной системы, начинает проявляться четкая корреляция числа онкологических заболеваний с концентрацией металлов.

Промышленные предприятия, кроме того, выбрасывают в атмосферу громадное количество паров и газов различного состава. Например, в городах с населением около 1 млн жителей за год этих поллютантов поступает несколько тысяч тонн. Из них образуются различные *аэрозоли с жидкой дисперсной фазой,* в том числе различные кислоты. Особенно много их образуется при переработке на металлургических предприятиях сульфидных руд. В районах действия таких предприятий особо часты кислотные осадки.

К кислотным осадкам относятся воды дождя и снега с величиной PH < 6,5. Кроме выбросов серы и ее оксидов, обычно связанных с переработкой сульфидных руд, важным источником промышленных коллоидов с жидкой дисперсной фазой могут быть выбросы в атмосферу $N0_2$ и HC1. Выпадение кислотных осадков приводит к гибели ряда организмов в почвах и водоемах (отмечены случаи гибели даже рыб), снижению прироста лесов и их усыханию. К районам, подверженным воздействию кислотных осадков, относятся в первую очередь Центральный Казахстан, Западная Европа, Канада и США. Увеличение кислотности осадков, выпавших на границе США и Канады, примерно за 10 лет, показано на рис. 8.1. К районам, особо опасным по последствиям вы-

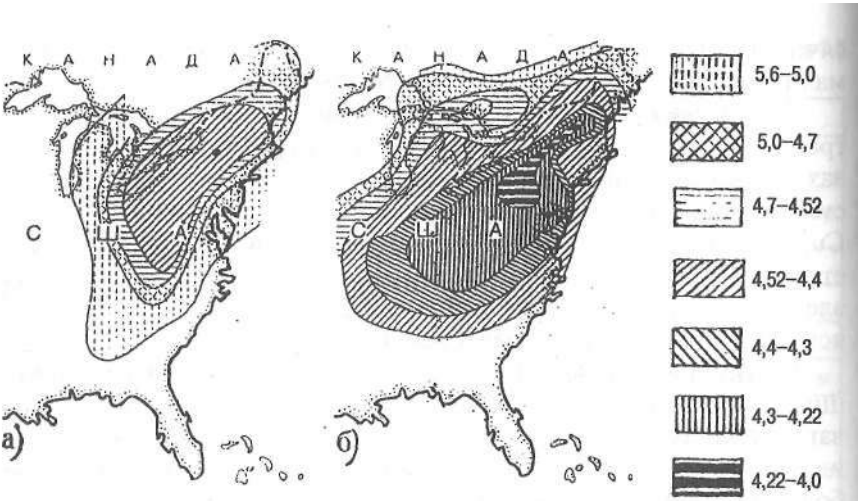


Рис. 8.1. Кислотные дожди на юге США:
а — 60-е годы; б — 70-е годы XX века

падения кислотных осадков, следует отнести участки океанических мелководий, в пределах которых из-за невозможности размножения многих морских организмов может произойти глубокое нарушение экологического равновесия, способное затронуть Мировой океан.

Промышленные предприятия и селитебные ландшафты в целом являются также *источниками коллоидов в жидкой дисперсионной среде*. Об их количестве и соотношении с природными коллоидами можно судить по следующим данным: от Москвы за год в речки поступает 20—30 тыс. т взвешенных частиц (Ю.Е.Сает, 1990); в районе Вашингтона 1/5 часть взвешенных частиц поступает с урбанизированных территорий, занимающих всего 1/50 площади водосбора. Можно ориентировочно считать, что от населенных пунктов в аквальные ландшафты поступает в 2—5 раз больше взвешенных частиц, чем от природных.

О том, что значительная часть поступающего материала представлена коллоидными частицами, можно судить по разному (в 10 раз и больше) увеличению в составе донных отложений, ниже городов и их очистных сооружений, частиц размером меньше 0,005 мм.

Данных об элементном составе промышленных коллоидных частиц в жидкой среде мало. Однако образующиеся при их большой концентрации аномалии в донных отложениях рек имеют аналогичный состав (Pb, Zn, Cu, Ni, Co, Fe и т.д.), даже если коллои-

ды поступали от различных и практически монопромышленных городов. При этом в аномалиях коэффициент концентрации «приоритетных» загрязняющих веществ может быть в десятки раз выше, чем у ее остальных элементов.

При *сельскохозяйственных работах* основная масса коллоидов образуется в процессе обработки полей. Как уже указывалось, 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. В результате в атмосферу попадают коллоиды почв, часть метаколлоидов снова переходит в коллоиды, а также поступает в атмосферу. Рассматриваемый процесс захватывает верхние, наиболее плодородные почвенные горизонты. Следовательно, увеличение количества аэрозолей, вызванное сельскохозяйственной деятельностью, уменьшает плодородие почв.

Второстепенными (по массе) источниками коллоидных частиц являются удобрения и химические средства защиты определенных растений, истирающиеся орудия обработки почв и выхлопные газы транспорта. Но именно эти источники являются основными поставщиками металлов, которые либо образуют самостоятельные коллоиды, либо сорбируются многочисленными коллоидами гумуса и глинистых минералов. С удобрениями из апатитовых концентратов в больших количествах поступают As, Sr, Y, Nb, Cd, Sn, La, Ce; из желваковых и ракушечных фосфоритов — Zn, As, Sr, Y, Cd, Sn, La, Ce, Pb (Ю.Е. Сает и др., 1990).

За счет поверхностного стока значительная часть коллоидных частиц различного происхождения поступает в реки. При этом часть тяжелых металлов концентрируется в почвах пойм, образуя своеобразные пойменные аномалии.

8.2.3. Минеральная форма

Общая масса химических элементов, находящихся в минеральной форме в биосфере, осталась при ее переходе в ноосферу практически неизменной, но увеличилась масса интенсивно мигрирующих минералов. Последнее связано со сносом минералов с полей (в основном глинистых) и деятельностью горнорудной промышленности. При поверхностном сносе минералов с агроландшафтов концентрация элементов, образующих эти минералы, обычно близка к кларковой.

Значительное количество разных химических элементов (металлов) мигрирует в минеральной форме от разрабатываемых месторождений (особенно рудных) и обогатительных фабрик. Концентрация элементов в этих минералах существенно превышает кларковые значения. Образование таких минералов происходит в основном на механических барьерах, где в итоге создаются техногенные геохимические аномалии.

Специально проводимые исследования показали (В.А. Алексеенко), что обычно донные отложения рек, на которых стоят рудные обогатительные фабрики и в которые поступают воды и минералы из обрабатываемых полиметаллических месторождений, обогащены металлами фракции 0,5—0,25 мм, что связано с частичным измельчением обломков рудных минералов, и менее 0,007 мм, что вероятнее всего связано с осаждением металлов из растворов.

Водные растворы, поступающие от штолен, шахт и обогатительных фабрик, могут также относиться к числу техногенных источников рудных минералов, мигрирующих в виде тонкой взвеси в поверхностных водах. В природных условиях металлы из таких растворов выпадают в осадок уже в пределах первых километров от места поступления и в дальнейшем мигрируют в реках в основном в виде взвеси (Н.М.Страхов, 1963).

Даже в случае чрезвычайного техногенного обогащения вод металлами их концентрация уже на первых километрах миграции в реке (без разбавления природными водами) доходит до кларкового значения, а выпавшие в осадок металлы (их соединения) переносятся в виде взвеси (В.А.Алексеенко, В.В.Данчев, В.Е.Флеров, 1973).

В виде тонкой взвеси реками переносится и большинство рудных минералов, попавших в водные потоки в форме относительно крупных обломков. После первых километров их природной миграции они переходят во взвеси за счет истирания.

Ассоциации химических элементов, образующих аномалии в донных отложениях за счет концентрации минералов, начавших миграцию от различных техногенных источников, аналогичны. Основными элементами аномалий являются Fe, Co, Ni, Cu, Pb, Zn и т.д., однако роль «приоритетных» элементов (и даже «приоритетных» минералов) в таких аномалиях может быть очень велика. В отдельных случаях возможно образование техногенных россыпей отдельных минералов.

8.2.4. Биогенная форма

Масса химических элементов, находящихся в биогенной форме, в период формирования ноосферы возрастает в сколько-нибудь значимых масштабах при переходе ландшафтов пастбищ, лугов и степей в сельскохозяйственные ландшафты (см. табл. 6.4). Дальнейшее перемещение химических элементов, сконцентрирожшных в биогенной форме в агроландшафтах, практически происходит лишь при техногенной (социальной) миграции. Особо следует отметить, что массы перемещаемых при этом металюв столь-велики, что сопоставимы с перевозкой руд, но их концентрации близки к кларковым. Следовательно, на металлизацию биосферы данный процесс существенно не влияет и сколько-нибудь значимых аномалий при этом не образуется.

8.2.5. Техногенная форма

К техногенным образованиям относятся различные соединения и химические элементы в самородном, чистом состоянии, образующиеся в результате антропогенной деятельности. Несколько условно их можно разделить на три группы.

В первую группу объединены техногенные соединения, обычные для природных условий,— оксиды N, C и S и др. В период формирования ноосферы число таких соединений резко возросло. Появилась даже реальная угроза изменения климата из-за парникового эффекта, вызванного избытком $C0_2$.

Техногенные соединения данной группы, влияющие на изменение соотношения масс химических элементов в начальный период формирования биосферы, будут рассмотрены ниже (см. 8.2.5, 8.2.6). Укажем только, что масса рассматриваемых соединений, образующихся техногенным путем, становится сравнимой с природным образованием этих же соединений.

Ко второй, очень большой группе техногенных образований относятся те из них, которые возникали в биосфере и раньше — в результате природных процессов, и существовали в ней, но лишь в рамках строго определенных и обычно редких внешних условий. К таким образованиям можно отнести озон, ряд углеводородов и многие металлы в самородном состоянии. Последствия появления техногенных образований рассматриваемой группы (особенно в значительных количествах, что наблюдается на первых этапах фор-

мирования ноосферы) в большинстве случаев еще неизвестны. Много проблем может возникнуть, если эти образования попадут в reJ охимические ландшафты — в условия, для которых такие вещества чужды. В частности, не ясны последствия начавшейся глобальной металлизации верхних частей биосферы. Можно достоверно говорить лишь о том, что процесс появления таких веществ идет вразрез с природными процессами.

К третьей группе относятся техногенные соединения, не имеющие природных аналогов. Их видовое разнообразие и общая биомасса непрерывно возрастают. В число этих образований входят многочисленные синтетические полимеры, моющие средства, пестициды, различные сплавы и т.п. Эколого-геохимические последствия их появления в биосфере еще не определены, однако проявившиеся к настоящему времени относятся в основном к отрицательным.

8.2.6. Водные растворы

Если рассматривать сами водные растворы, то существенного изменения их массы при переходе биосферы в ноосферу пока не произошло. Содержание же химических элементов в этих растворах изменилось. О миграции в виде растворов рудных химических элементов, т.е. большинства тяжелых металлов, уже говорилось. Даже при чрезвычайно высоких концентрациях растворов этих металлов на отдельных участках рек уже на расстоянии первых километров от источника загрязнения концентрация растворов приближается к кларковой. Однако говорить в таких случаях о процессах самоочищения нельзя, поскольку изменяется не количество мигрирующих элементов, а только форма их нахождения в одном потоке. Металлы переходят из растворов в минеральную, коллоидную и сорбированную формы, с осаждением на геохимических барьерах, соответствующих новым формам нахождения этих элементов в миграционном потоке.

Таким образом, влияние промышленных предприятий — основных источников растворенных тяжелых металлов — на концентрацию этих металлов в природных растворах сказывается только на первых километрах от места техногенной разгрузки. В целом же под воздействием антропогенной деятельности количество ионов в природных водных растворах существенно увеличива-

/ется. В этом процессе значительная роль принадлежит сельскохомйственной деятельности.

В биогенных ландшафтах геоморфологическая зональность разпития определенных видов растений во многом зависит от геохимических особенностей района и биогеохимических особенностей |истений. При прочих равных условиях растения в элювиальных ландшафтах имеют наибольшую возможность для поглощения легкодоступных (обычно хорошо переходящих в растворы) химических элементов. Растения, растущие гипсометрически ниже, получают уже только «оставшиеся» элементы — так продолжается до аквальных ландшафтов. При этом ниже произрастают такие виды растений, для нормального развития которых в первую очередь необходимы н больших количествах элементы, не поглощенные растениями, растущими выше. В результате ионный сток в реках, протекающих среди природных ландшафтов, относительно невысок, так как количество «невостребованных» ионов стремится к минимуму.

Современное Ъазвитие сельского хозяйства ведется без учета особенностей этого процесса и без соответствующего подбора сельскохозяйственных кУльтур. Недостаток определенных химических элементов пытаются восполнить внесением удобрений. Природный процесс при этом резко нарушается, и увеличивается ионный сток.

Орошение земель приводит к увеличению выноса из почв агроландшафтов ионов элементов, оставшихся «невостребованными» культивируемыми видами растений. Кроме того, орошение снижает водный сток в реки, поскольку значительная часть вод, используемых для орошения, не возвращается в них. Рассмотрим это на примере данных, полученных в конце 70-х годов автором книги и А.Д. Хованским при изучении гидрохимических особенностей реки Дон в нижнем ее течении. На рис. 8.2 показано измене-

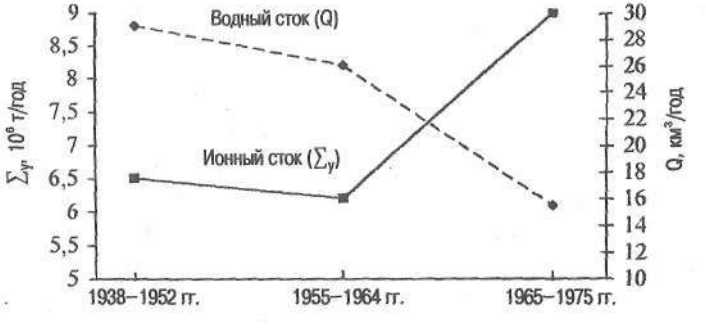


Рис. 8.2. Изменение водного и ионного стоков Дона у ст. Роздорской с 1938 по 1975 г.

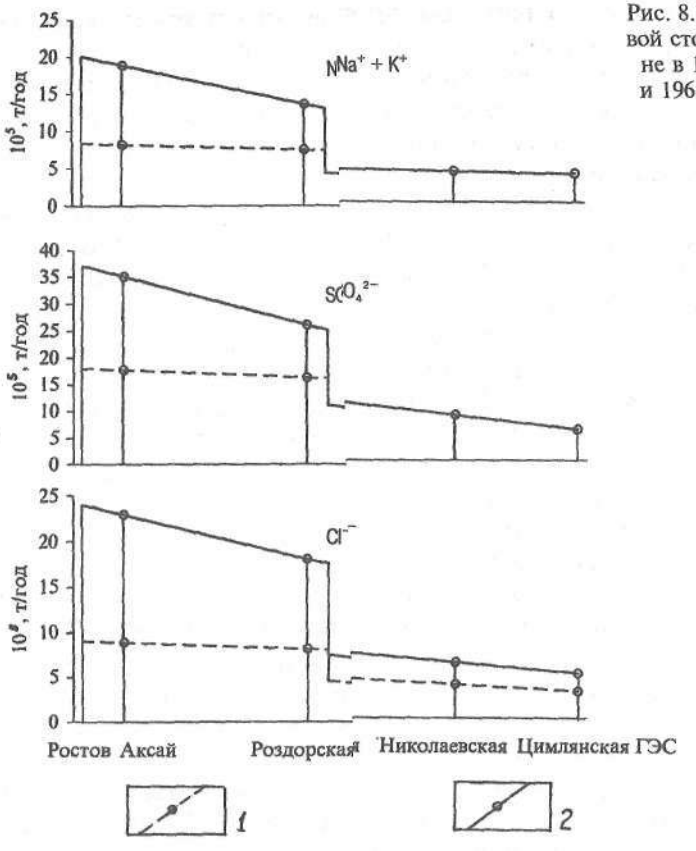


Рис. 8.3. Среднегодовой сток ионов в Дону в 1938—1952 (1) и 1965—1975 (2) гг.

ние водного и ионного стоков Дона после создания Цимлянского водохранилища и начатого широкомасштабного орошения земель (1955-1964 гг.). Больше всего в водах реки возросло содержание Na^+, K^+, Cl^- и SO_4^{2-} (рис. 8.3).

Анализ источников техногенной составляющей важнейших ионов в водах показывает, что их основное поступление связано со смывом с полей (на территории от Цимлянского водохранилища до Аксая в эти годы практически не было промышленных предприятий). Вклад в увеличение ионного стока таких крупных промышленных центров, как Аксай и Ростов, относительно невелик (см. рис. 8.3). Все это позволяет предположить, что основным источником ионов в водах Дона является сельскохозяйственная деятельность.

Число подобных примеров довольно велико. Можно считать, что при переходе в ноосферу общее количество водных растворов

» оиосфере пока не претерпело существенных изменений, одна-, о состав их значительно изменился. Большое число ионов в во-ЙЙХ, сносимых в этот период с континентов, связано с сельско-цочийственной деятельностью. Непосредственная роль водных риетворов в переносе тяжелых металлов и отмечаемом многими исследователями процессе металлизации биосферы при ее пере-попе в ноосферу относительно мала.

8.2.7. Газовые смеси

Общее количество газовых смесей в биосфере за последние столетия практически не менялось. Однако, по мнению ряда иссле-цователей, техногенные процессы, связанные с началом формирования ноосферы, уже вызвали и некоторые глобальные изменения состава всей атмосферы, и изменения, получившие развитие только в отдельных районах.

Ориентировочно можно считать, что в городе с населением несколько миллионов жителей за сутки в атмосферу выделяется, т: углеводородных паров и газов - свыше 1300, ацетальдегидов - свыше 60, оксидов азота 600-650, оксидов серы — около 500, оксида углерода (СО) - свыше 5000.

Содержание кислорода в составе выхлопных газов автомобилей резко уменьшается по сравнению с атмосферным воздухом (в среднем с 20,9 до 4% при бензиновых двигателях и до 9% при дизельных). Однако значительно увеличивается содержание $C0_2$ (с 0,03 до 13%), СО (в среднем от бензиновых двигателей 4%, от дизельных двигателей 0,1%), углеводородов (от п • Ю-" в атмосфере до 4% от бензиновых двигателей). Это позволяет считать, что при парковке автомобилей во дворах-колодцах, окруженных многоэтажными домами и плохо проветриваемых, состав воздуха резко отличается от обычного атмосферного.

Специальные исследования (P. Lemaigre) показали, что при разном режиме работы автомобильных двигателей состав выхлопных газов существенно меняется. Так, максимальное количество СО выделяют при малой скорости машины с бензиновым двигателем и при ускорении — с дизельным. Количество углеводородов и формальдегидов в выхлопных газах возрастает в десятки раз при замедлении, а оксидов азота — при ускорении.

Существенно меняется состав атмосферного воздуха при сжигании различного топлива. Об этом можно судить по данным

табл. 8.4, составленной по опубликованным материалам исследо-] вателей из США.

Таблица 8.4

Количество газов, выделяемых генераторами тепла при сжигании угля, нефти и газа

Образующийся газ	Масса газов		
	кг/т сжигаемой нефти	кг/т сжигаемого угля	кг/10^3 $м^3$ сжигаемого газа
SO_2	20	20	0,5
SO_3	1	1	0,04
H_2S	<1	<1	0,10
NO_2	7	4	8,4
NH_3	1	1	0,36
CH_2=O	1	1	1,1

Довольно много газов выделяется при сжигании бытового мусора. Обычно в зависимости от типа мусоросжигающих установок при переработке 1 т мусора выделяется, кг: CO — от 0,35 до 150; углеводородов — от 0,15 до 50; NH_3 — от 0,01 до 1,4; (N_20+NO+$N0_2$) — от 0,05 до 1,0; оксидов серы — от 0,2 до 1.

Состав преобладающей массы так называемых «загрязняющих» газов, поступающих в атмосферу от различных промышленных предприятий, в целом аналогичен. Это оксид углерода (CO), оксиды серы ($S0_2$, $S0_3$), диоксид углерода ($C0_2$), аммиак (NH_3). Кроме них лишь иногда в значительных количествах поступают от литейных предприятий акролеин (CH_2-CH-C^Я), имеющий запах подгоревших жиров, от предприятий химической промышленности — пары различных кислот и сероуглерода, меркаптаны (имеют неприятный запах), хлор, фтор, фторид кислорода (OF_2) и некоторые другие газообразные соединения и пары.

Органические поллютанты в атмосфере. Часто в отдельную проблему органической геохимии выделяют распределение органических веществ в атмосфере (В.А.Исидоров, 1992; К.Н.Зеленин, 1988 и др.). Основные природные источники этих веществ можно объединить в две группы: биогенные и геологические.

К геологическим источникам углеводородов в атмосфере следует в первую очередь отнести многочисленные и еще недостаточно изученные процессы дегазации верхней мантии. Значительное количество углеводородов, в том числе и метана, поступает в атмосферу от месторождений нефти и природного газа. При биогенных процессах органические вещества выделяются в атмосфе-

ру в результате жизнедеятельности всех организмов (от одноклеточных бактерий до высших животных). При этом только углеводородов (без учета метана) выделяется за год около $1,5 \cdot 10^9$ т, а общее число выделяемых органических веществ насчитывает тысячи наименований. Особо следует отметить биогенное метанообразование в аквальных и переувлажненных ландшафтах континентов, характеризующееся цифрой $0,6 \cdot 10^9$ т/год.

Несмотря на крайне низкое содержание метана в атмосфере Земли, он играет существенную роль в создании «парникового эффекта» — повышении температуры у земной поверхности. Роль многочисленных углеводородов, выделяемых организмами, выяснена пока не до конца. К настоящему времени установлено, что часть из них (в частности, изопрен и этилен) способствуют выживанию определенных видов растений при возникновении неблагоприятных условий: терпены ограничивают проникновение в ткани растений ряда микроорганизмов и т.д. Следовательно, изменение обычной (очень низкой) концентрации в атмосфере углеводородов может привести ко многим еще недостаточно ясным последствиям в развитии биосферы.

Точного подсчета количества органических соединений, поступающих в атмосферу вследствие антропогенной деятельности, на данный момент нет. Ориентировочно считается, что их поступает в 10 раз меньше, чем в результате жизнедеятельности организмов. Такое, пока относительно небольшое количество техногенных органических соединений не может оказать решающего воздействия на всю биосферу. Однако в случае больших поступлений органических веществ уже сейчас в отдельных районах можно ожидать различных изменений в развитии организмов. В связи с этим рассмотрим основные техногенные источники органических веществ, поступающих в атмосферу.

В первую очередь следует отметить автотранспорт, который, например, в США дает 63% выбросов углеводородов в окружающую среду (К.Н. Зеленин, 1998). На втором месте по объему выбрасываемых органических загрязнителей стоят промышленные предприятия. Среди них особо опасными являются предприятия химической, нефтехимической, лесохимической промышленности. Значительное количество органических поллютантов поступает в селитебных ландшафтах и от жилищно-коммунальных хозяйств. Так, к настоящему времени только в выбросах из вентиляционных систем жилых зданий установлено более 40 токсичных и дурнопахнущих веществ, из которых более 20 образуются при сжигании газов.

Довольно большое количество органических соединений ио ступает в атмосферу из различных зон утилизации отходов. Счи тается, что 1 т захороненных на свалке бытовых отходов за 25 ле выделяет до 30 $м^3$ только одного метана, 70% газа выделяется в пе| вые 10 лет после захоронения.

Как видно из изложенного, основное количество органиче ских поллютантов поступает в биосферу в пределах селитебных ландшафтов, т.е. в зонах с наибольшей плотностью населения, Увеличение содержания органических соединений в атмосфере городов (считается, что техногенная составляющая органических соединений по отношению ко всем таким соединениям в атмо« сфере Земли составляет 10%) может и, вероятно, уже сказывается на состоянии здоровья людей и всех других организмов, живущих в ландшафтах населенных пунктов. Для изучения этой проблемы необходимо скорейшее проведение специальных исследований.

Техногенез и взаимодействие паров и газов в атмосфере. Особо следует отметить, что поступающие в атмосферу от различных техногенных источников пары и газы часто вступают в реакции между собой. В больших городах этому способствуют совместное нахождение на небольшой площади различных предприятий и обилие автотранспорта. В результате таких реакций могут образовываться новые токсичные соединения. За исключением частных случаев, этот процесс пока еще слабо изучен. Как пример можно рассмотреть ряд реакций взаимодействия газов во время «лос-анджелесского смога», описанных Хааген-Смитом (1962).

Сернистый газ, диоксид азота и альдегиды техногенного происхождения под воздействием ультрафиолетового излучения солнца начинают взаимодействовать с молекулярным природным кислородом, образуя атомарный кислород и оксид азота (О и N0). Реакция эта считается необратимой и ограничивается содержанием перечисленных выше техногенных соединений. В результате взаимодействия О и NO с молекулярным кислородом образуется озон (0_3) и восстанавливается диоксид азота. Весь ход реакции можно представить так:

$$NO_2 + hy \rightarrow NO + O,$$
$$O + O_2 \rightarrow O_3,\ NO + O_2 \rightarrow NO_3,$$
$$\underline{NO_3 + O_2 \rightarrow NO_2 + O_3}$$
$$3O_2 \rightarrow 2O_3$$

Таким образом, из трех молекул кислорода образуются две молекулы озона, раздражающего слизистые оболочки у людей, не-

». ыпмфиятно воздействующего на растения (ожоги листьев и т.п.) N ухудшающего видимость на дорогах. В дальнейшем озон мо- i шаимодействовать с олефинами ($C_nH_{гп}$), практически все- i it присутствующими в атмосфере селитебных ландшафтов го- ||рственного значения. Конечными продуктами этой реакции являются формальдегид, высшие альдегиды и различные почимеры.

Результатом взаимодействия техногенных паров и газов в ат- i и фере теоретически может стать и преобразование вредных ra- it »>(>разных веществ в безвредные. В связи с этим изучение особенностей подобных реакций чрезвычайно важно, поскольку потопит в будущем планировать рациональное совместное размещение различных предприятий.

Подводя итог краткому рассмотрению изменения масс химических элементов, находящихся и мигрирующих в различных формах в начальный период формирования ноосферы, можно сделать следующие основные выводы:

• Переход биосферы в ноосферу сопровождается существенным увеличением массы химических элементов, мигрирующих в коллоидной форме, в виде техногенных соединений и отчасти в минеральной форме.

• В этот же период масса химических элементов, находящихся в биогенной форме в биосфере, в целом пока существенно не изменилась. Однако на отдельных участках годовая продукция возрасла до 3 т/га, а на других — уменьшилась на 1-5 т/га.

• Практически без изменений остается масса химических элементов, находящихся в виде водных растворов и газовых смесей. Однако в их составе на отдельных участках биосферы происходят существенные изменения.

• В целом соотношение между химическими элементами, составляющими каждую из наиболее распространенных форм их нахождения, после начала интенсивной антропогенной деятельности изменяется. Возрастает роль металлов — Fe, Mn, Co, Pb, Zn, Си, Ni, а также CI, S, C, H.

• Резко увеличивается масса химических элементов, образующих техногенные соединения, не имеющие природных аналогов.

• В процессе миграции еще большую роль, чем до начала интенсивной антропогенной деятельности, на относительно небольших участках начинает играть третий тип миграции, при котором перемещение элементов сопровождается изменением форм их нахождения. Это во многом связано с техногенным появлением

элементов в формах, не характерных для конкретной природой! обстановки на отдельных участках биосферы. Такие формы нахоЦ дения в этих условиях обычно неустойчивы, распадаются и ш м пают в реакции с различными соединениями. Продукты этих р< акций часто токсичны.

8.3. Изменение интенсивности миграции

8.3.1. Общие положения

А.И. Перельман предложил определять интенсивность мигрм ции химических элементов по формуле:

$$I = m/tC_к,$$

где m — масса мигрирующего элемента; t — промежуток времени существования миграции; $C_к$ — кларковое, или местное фоновое содержание химического элемента в рассматриваемой части биосферы.

Так как интенсивность техногенной миграции химических элементов до сих пор практически не рассчитывалась, рассмотрим этот вопрос несколько подробнее. Как видно из приведенной формулы, интенсивность техногенной миграции химических элементов будет возрастать пропорционально увеличению их массы, поступившей техногенным путем в миграционный поток либо изменившей в результате антропогенной деятельности форму своего нахождения. К настоящему времени этот показатель (масса элементов, часто называемых загрязняющими веществами) является определяющим при установлении интенсивности техногенной миграции.

Необходимо отметить, что залповые выбросы загрязняющих веществ оказывают не столь большое влияние на итоговую интенсивность миграции, как постоянные выбросы. Это связано с тем, что итоговая интенсивность миграции должна определяться за длительный промежуток времени. Наиболее целесообразно ее определение за год. Однако кроме итоговой интенсивности миграции необходимо устанавливать и ее краткосрочную интенсивность в течение суток и даже часов.

Итоговая интенсивность миграции представляет собой усредненную величину интенсивности за довольно продолжительный период времени. Ее целесообразно использовать при прогнозировании геохимических (в том числе биогеохимических) процессов,

иных с антропогенной деятельностью (как происходящей в £#• нжщее время, так и планируемой). Эта величина относится к ЦИнму определяющих при установлении влияния конкретных тех- •••" иных факторов на здоровье населения. Однако часто при Мининых выбросах кратковременная концентрация загрязняю- lнп\ иеществ, ставших подвижными в окружающей среде, пред- Мклиет опасность для жизни многих организмов, включая чело- |" и' кий, сразу же в период выброса. Именно для характеристи- • ‖ подвижности загрязняющих веществ в таких ситуациях авто- Г".М предложено определять кроме итоговой краткосрочную ин- пвность миграции.

Изменение интенсивности миграции химических элементов во цргмя формирования ноосферы можно измерить в абсолютных и шиосительных величинах. В первом случае она определяется как • шость между величинами интенсивности миграции во время становления ноосферы и в предшествующий период, а во втором — • К отношение указанных величин. Назовем ее относительной вениминой изменения интенсивности миграции. И абсолютное, и относительное значение изменения интенсивности миграции может выть итоговым и краткосрочным.

Изменение интенсивности миграции химических элементов ценесообразно изучать в зависимости от формы их нахождения в миграционном потоке и от форм нахождения химических элементов, составляющих среду миграции. Рассмотрим изменение этого процесса в начальный период формирования ноосферы в той же последовательности, в какой анализировалось изменение соотношения масс мигрирующих элементов.

К сожалению, не всегда имеются данные, позволяющие установить интенсивность миграции до начала формирования ноосферы. Пока часто невозможно определить и относительное изменение интенсивности миграции. И все же будущее экологической геохимии (как и геохимии вообще) — в установлении четких количественных показателей. К их числу относится как интенсивность миграции химических элементов и их различных соединений, так и изменение этой интенсивности.

8.3.2. Коллоидная и сорбированная формы

Как при определении интенсивности техногенной миграции коллоидов в атмосфере, так и при установлении ее изменений сле-

дует сразу же оговаривать, какие части биосферы (ландшафты) \ш, сматриваются. Это связано с тем, что значения интенсивное!i* и грации одного и того же элемента в коллоидной, а также сори рованной форме в атмосфере варьируют в очень широких пред! лах, а участки, выделяемые по этому показателю, распределяй^ ся мозаично. Поскольку наибольшее количество коллоидны \ ч | стиц выбрасывается в атмосферу в промышленных и селите*>m | ландшафтах, рассмотрим в первую очередь изменение интепеши ности аэрозольной миграции элементов в период становленш.... осферы в пределах именно этих ландшафтов.

В данном случае нас будет больше интересовать относите *т* ное изменение интенсивности миграции, определяемое как

$$AI = Ш,$$

где I, — интенсивность миграции до начала формирования иоо§| сферы; 1_2 — интенсивность миграции в период ее формировании. \

Из формулы видно, что величина Д1 равна отношению маов! аэрозолей (составляющих их химических элементов), находящих*] ся в указанные выше периоды в определенных объемах атм<> сферного воздуха.

Массы химических элементов, находящихся в настоящее время в виде аэрозолей над различными ландшафтами, известны. Сложнее обстоит дело с установлением тех величин, которые характеризуют их миграцию в атмосфере до начала интенсивной антропогенной деятельности. Считаем, что при определении изменения интенсивности аэрозольной миграции элементов период до начала формирования ноосферы можно охарактеризовать, во-первых, массой аэрозолей в единице объема атмосферного воздуха в районах, максимально удаленных от центров антропогенной деятельности. Такими районами можно считать Северный и Южный полюса Земли. Данные о массе некоторых элементов в атмосфере этих районов приведены в ряде работ (В.А.Михайлов и др., 1980). Во-вторых, можно использовать величину регионального фонового содержания химических элементов в атмосферном воздухе.

Рассмотрим сначала общее изменение интенсивности миграции дисперсных частиц в земной атмосфере за год. По данным А.Е.Воробьева (1998) их общее количество, поступившее в атмосферу за год, составляет от 958 млн т до 2,615 млрд т. Из них от 773 млн т до 2,2 млрд т имеют естественное природное происхождение. Расчеты показывают, что общая величина интенсивности миграции дисперсных частиц в атмосфере по отношению к при-

! к настоящему времени увеличилась примерно в 1,2 раза.
• если состав частиц природного происхождения близок к тому (почти третью часть их составляют почвенная пыль и і нш.і вулканических извержений), то состав частиц техноген- происхождения отличается от него весьма существенно ! S.5). Соответственно по-разному изменяется интенсивность рцшции различных химических элементов в аэрозольной фор- | П1/1 океаном и континентами.

()()Ычно считается, что природная суммарная концентрация аэ- иинк-й и сорбированных ими элементов (в том числе и метал- Rtiit) над континентами в десятки раз выше, чем над океаном. Ес- И же сравнить содержание элементов в атмосферном воздухе над фишшмми территориями суши и Южным полюсом, то увидим, что • •шмонтрация металлов над фоновыми территориями, считающи- ми! и относительно незагрязненными, в тысячи и десятки тысяч (Hi t шлихе (Си — в 6600, Ti — в 9000, Мп — в 1300 и т.д.), чем над Нол юсом. Возможно, что над полюсом концентрация элементов N по' «духе всегда была в сотни и десятки тысяч раз меньше, чем НЙД континентами и морями. Также вполне вероятно, что карти- Ни, полученная при сравнении аэрозольного состава атмосферы нпд полюсом и фоновыми территориями, объективно отражает увеличение итоговой интенсивности миграции в начальный период формирования ноосферы. Это необходимо учитывать при последующих рассуждениях.

Наибольшие изменения интенсивности миграции аэрозолей происходят в селитебных и промышленных ландшафтах. Последние часто являются частью селитебных ландшафтов (см. гл. 7). Проанализируем изменение итоговой интенсивности аэрюльной миграции над средним промышленным городом (табл. 8.6). Как видно из приведенных данных, итоговая интенсивность миграции аэрозолей изменяется над различными техногенными ландшафтами от очагов загрязнения до пригородных районов и территорий, относимых к фоновым. Рассмотрим сначала, как происходит ее изменение от очагов загрязнения (промышленных предприятий и основных автотранспортных артерий) к территориям, которые не подверглись антропогенному воздействию, влияющему на перенос аэрозолей. Если за такие территории принять участки с региональным фоновым распределением аэрозолей, то интенсивность изменилась от сотен (Си, Zn) до тысяч раз (V, Mn, Ni, Hg, Pb). Если принять в качестве такой территории Южный полюс, то интенсивность миграции увеличилась

Таблица 8.5

Относительная концентрация химических элементов в пыли различных производств

Процесс	Содержание элементов			
	n · 1000	n · 100	n · 10	n
Цветная металлургия				
Переработка лома баббита	Mg, Sb, Cd	In, Bi, Pb, Sn, Ag, Zn, As	Cu, Cr, Tl	W, Ni, Mo
Производство алюминия	–	Cd, Zn, Sb, Pb, Cu	W, Sn, Cr, Bi, Mo	Mn, Ag, B, Co
Выплавка Sn	–	Sb, Ag, Sn, Zn, Pb, Cd, W	Cr, Ga, Bi, Mo	Cu, Co, V, Ni
Производство аккумуляторов	Sb, Ag	Bi, Pb, Sn, Cd	Ni, As, Co, W, Zn, In, Tl, Cu	–
Машиностроение и металлообработка				
Литье чугуна	–	–	Zn, W	Mo, Sn, Pb, Cu, Cr
Литье стали	–	–	Sn, Sb, Ni, W	Mn, Zn, B, Pb, Mo
Выбивка форм	–	–	W	Zn, Pb, Mo, Co
Очистка форм пескоструйных установок	–	W, Mo	Cr, Ni, Cu	V, Co
Кузнечно-прессовое производство	–	Zn	W, Mn	Mo, Ni, Sn, Co, Pb
Механическая обработка цветных металлов	Pb, Zn, Cu	Cr, Ni	W, Sn	Co, Mo, V
Производство и заточка инструмента	W	Pb, Mo, Co, Sn, Sb	Cr, Ni, Cu, V	Sc, Zn
Химическая промышленность				
Производство чистых веществ	W	Sb, Sn, Cd, Hf	Ag, Pb, Zn, Bi, Nb	Cu, Mo, Ni, Zn
Производство масляных красок	Hg, Cd	Ag, Zn, Sn, Cu, Bi, W	Sb, Mo	Co, Sn, Ni
Производство кокса	Hg	–	Pb, Sb, W, Zn	Mo, Sn
Производство компонента для изготовления пластмасс	–	–	Pb, Sb, Sn, W	Sn
Производство стройматериалов				
Обжиг цементной шихты	–	Ag	Sb, Zn, Bi, W	Sn, Tl, Cu, Mo, Ba
Помол цементного клинкера	–	–	Sb	Zn, Mo, Cu, Sc, Ba, Ag
Производство керамзита	–	Pb	W, Ag, Bi, Mo	Co, Zn, Cu, Li, Ni, V, Cr
Производство огнеупорного кирпича	–	Sb, Pb	Bi	V, Cr, Zn, Cu, Sn, B, Ga, Nb
Энергетика				
Теплоэлектростанция на угле	–	–	B, Pb, Mo, Ge	Be, Li, V, Ni, Cu, Zn, Ag, W

|||>ному периоду формирования ноосферы в $n \cdot 10^5$ — $n \cdot 10^8$ м. табл. 8.6).

Увеличение интенсивности миграции элементов в рассматривай период отличается крайней неравномерностью. Так, на|цимгр, интенсивность миграции кобальта (см. табл. 8.6) над ис(нчниками загрязнения возросла в 160 миллионов раз, на расстоянии нескольких километрах от этих источников (среднее значение « и I к*делах небольшого промышленного города) — в 800 тысяч раз. I щ мышьяка эти величины соответственно равны $20 \cdot 10^6$ и $33 \cdot 10^3$.

Анализируя изменения краткосрочной интенсивности аэрозольной миграции, следует вспомнить о влиянии на содержание колоидов в атмосферном воздухе таких природных катастроф, как щнержения вулканов и столкновение Земли с крупными метеорит ми. В первом случае концентрация всех элементов в воздухе ""(растает почти пропорционально их кларковым содержаниям, •ж» существенно отличается от техногенных процессов. Во втором • Яучае может резко возрасти концентрация, а следовательно, и инпеивность миграции определенных химических элементов (например, Гг — см. разд. 5.5).

В начальный период формирования ноосферы отмечено увеличение интенсивности миграции коллоидов и сорбированных ими цементов и в водной среде. Ее возрастание определялось по отношению к водным потокам с фоновым содержанием коллоидных частиц. Однако устанавливаемый в настоящее время фон |ыше, чем был до начала формирования ноосферы. Следовательно, вычисленные значения изменения интенсивности миграции • цементов, находящихся в водных потоках в коллоидной и сорггжрованной формах, занижены. В отдельных случаях они должны быть примерно на порядок выше.

Как и в случае с аэрозолями, интенсивность миграции элементов в водной среде изменяется мозаично. Максимум изменений отмечается в районах селитебных и промышленных ландшафтов, из которых сточные (обогащенные тонкодисперсной взвесью) воды поступают в природные водные системы. В последних значительное техногенное обогащение коллоидной фракцией прослеживается обычно на расстоянии первых километров, редко — в двадцатикилометровой зоне ниже рассматриваемых ландшафтов по направлению потоков. В пределах таких участков в 2—12 раз возрастает интенсивность миграции частиц размером меньше 0,01 мм, а при особом увеличении интенсивности миграции — частиц меньше 0,005 мм.

Таблица 8.6

Изменение итоговой интенсивности аэрозольной миграции химических элементов в атмосферном воздухе над техногенными ландшафтами

Элемент	Южный полюс Земли				Территории с региональным фоновым распределением		
	территории, считающиеся фоновыми	пригородные ландшафты, $n \cdot 10^3$	промышленные города, $n \cdot 10^3$	центры очагов загрязнения, $n \cdot 10^3$	пригородные ландшафты	промышленные города	центры очагов загрязнения
Al	–	10,9	219,5	–	–	–	–
Br	20,6	0,19	5,0	–	7,1	185,7	–
Va	230	5,3	13	923	23,3	56,7	4000
Cd	–	4	86	666	–	–	–
Co	–	20	800	160 000	–	–	–
Mg	–	–	–	–	–	3	–
Mn	13 000	60	600	100 000	4,6	46,2	7692,3
Cu	6666	23	366	2000	3,5	55	300
Mo	–	5000	–	–	–	–	–
As	–	1,6	33	20 000	–	–	–
Ni	–	–	–	–	15	30	1750
Sn	–	–	–	–	–	2	–
Hg	–	–	–	–	0,5	2,5	1500
Pb	–	–	–	–	50	500	1500
Ce	–	0,01	0,2	119	–	–	–
Ag	–	25	50,0	–	–	–	–
Ti	9000	10	140	–	1,1	15,6	–
Cr	1500	2,2	30	–	1,5	20	–
Zn	7666	100	566	3333	13	73,9	434,8

им, что если набор химических элементов, интенсивность
і которых в коллоидной и сорбированной формах в вод-
м..|,,ках возрастает практически одинаково (в основном это
n t'u, Mo, Ba, Mn, Ti, Ni, Cr, Co) возле всех селитебных про-
|. иных ландшафтов, то изменение самой интенсивности
1 тип элементов часто находится вчтрямой зависимости от раз-
и і '-иитебного ландшафта.

It небольших ландшафтах значительное влияние на изменение
in шшости миграции отдельных элементов оказывает вид
|.дающего промышленного производства (см. гл. 7). Про-
і.ій с использованием данных Ю.Е. Саета (1990) анализ ито-
ЇйнН интенсивности миграции цинка в коллоидной и сорбиро-
ММИЙ формах в водных потоках показал, что в селитебных ланд-
Ц|ц||п.|\ с населением до 100 тыс. жителей интенсивность мигра-
1И исличилась (по отношению к фону): в городах с предприя-
і НІ тяжелого машиностроения более чем в 50 раз; с предприш по вторичной переработке цветных металлов более чем в |0 pin; со строительной промышленностью в 5 раз; с экскаваторным заводом в 2 раза.

И иодных потоках у населенных пунктов техногенные коллон ил часто обеднены SiO_2 и обогащены кроме перечисленных вы-пи* металлов органическим веществом техногенного происхождения, карбонатами, оксидами и гидрооксидами Fe и Al. При осаж-•І пии этих частиц среди донных отложений образуются техногенные илы. Они отличаются тонкодисперсным составом и повышенным содержанием целого ряда металлов и органических соединений. По положению участков с техногенными илами можно определять как дальность миграции основной части промышленных техногенных коллоидов в водных потоках, так и границы зон І і юльшой интенсивностью миграции этих коллоидов.

Увеличение интенсивности миграции в сотни раз чаще отмечалось у Cd, Zn, Hg, Ag, Bi, Ni, Си. Участки с резко возросшей интенсивностью миграции можно представить в виде лент шириной до первых десятков метров и длиной до 10 километров, берущих начало от селитебных и промышленных участков.

Интенсивность миграции в водной среде коллоидных частиц в целом определяется интенсивностью их механического смыва с определенных территорий. Если не рассматривать достаточно короткие ленточные участки около селитебных и промыпленных ландшафтов, то техногенная составляющая мигрирующих коллоидов будет зависеть от сельскохозяйственной деятельности людей. По

данным Н.М. Страхова (1963), детальнейшим образом изучит! го миграцию веществ в водных потоках с континентов в Ош в районах развития сельскохозяйственной деятельности мсшЯ ческий смыв возрастает примерно в 2—4 раза.

Если учесть, что в России сельскохозяйственные угодья ШМ мают 221,8 млн га, из которых 130,7 млн га приходится на пш ни, то можно считать, что итоговая интенсивность мигрант взвесей и коллоидов, а следовательно, и сорбированных ими it#s ществ на громадной территории нашей страны увеличилась ори* ентировочно в 2—3 раза. Однако в целом для биосферы наличщ пашен не снижает определяющей зависимости сноса материала *Щ* климатических условий и рельефа местности. Единственным ио ключением, отмеченным в середине XX века, явился бассейн *\u* ки Миссисипи, где вместо обычной для его условий механичен! кой денудации 50—100 т/км^2 была зафиксирована величина, ран ная 150—230 т/км^2. Как считает Н.М. Страхов (1963), «единствен ной причиной этого неожиданно большого смыва является сель скохозяйственная деятельность человека».

Говоря о выносе материала реками, следует всегда помнити что имеются в виду не только коллоидные частицы, но и облом ки минералов. О их соотношении в механических взвесях можи судить по рис. 5.5. Всего в виде взвесей реками мира за год перс носится 12 695 • 10^6 т. Материал, выносимый реками в Океан в ви- де взвеси, водных растворов и влекомых по дну наносов, находи і ся в соотношении 3,5:1:0,35.

8.3.3. Минеральная форма

В природных условиях химические элементы в минеральной форме в основном мигрируют в водных потоках (главным обра- зом в реках) и атмосферном воздухе (при извержениях вулканов и сильных ветрах). Важнейшим показателем миграции минера- лов в водных потоках служит количество материала, влекомого ре- ками по дну. Правда, в эти подсчеты частично входят тонкоди- сперсные (как правило, глинистые) частицы, попадающие из области денудации и затем осевшие на дно. О их соотношении в материале, перемещающемся в результате волочения по дну, мож- но судить по рис. 5.5. В целом же, по данным Г.В. Лопатина, за год реками Земли выносится около 1000 • 10^6 т влекомых по дну веществ.

I >ч пшенное увеличение интенсивности миграции химических Шеінов, находящихся в минеральной форме в водных потоках, юдит в основном за счет поступления обломков минералов •брод от карьеров, шахт, обогатительных фабрик, в результате рщумяции коллоидов, а также поступлений частиц из сельско-Ьтйсгвенных и селитебных ландшафтов.

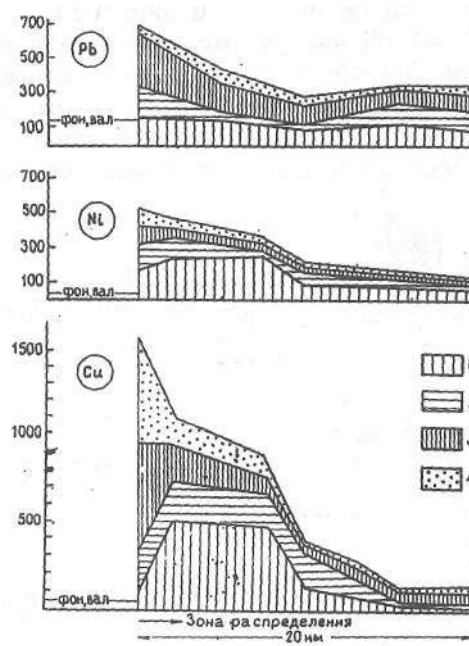
Коагуляция большей части техногенных коллоидов и осажде-ишеральных (кристаллических) обломков, поступающих от мигсбных и промышленных ландшафтов, происходит на расстоянии первых 10 км. Эта величина и определяет протяженность зо-гсхногенным увеличением интенсивности миграции хими-• - • і их элементов в минеральной форме от селитебных и основ-п части промышленных ландшафтов. Интенсивность миграции НИ дельных химических элементов в пределах таких зон может им чиниваться от нескольких раз до сотен раз. Косвенно об этом ми ж но судить и по возрастанию массы химических элементов, ми-фирующих в сорбированной и минеральной форми ч, по сравнению с фо-Ипимм значением.

Рассмотрим это на примере меди (рис. 8.4). В начальный период резко (в вотпи раз) возрастает со-!• ржание в техногенном Потоке массы Си в минеральной форме. Однако на расстоянии 7—8 км от источника поступления Около 90% минеральных пЬломков оседает. Это расстояние определяет протяженность зоны наибольшего техногенного изменения миграции Си в минеральной форме в настоящее время (начало формирования но-

, \

осферы) В рассматривав-МОМ районе (рис. 8.5).

На раССТОЯНИИ ПерВЫХ 2 КМ ОСеЛО больше ВСеГО ГИ-



• - ;. ;

Рис. 8.4. Формы нахождения химических элементов во взвешенных частицах техногенного потока рассеяния (по Ю.Е.Саету):
1 — сорбционно-карбонатные; 2— органические; 3 ~ тм«>тмные; 4 ~ кристаллические

дроксидов металла. Формирующиеся из них минералы (из *р\Щ* видно, что значительную их часть составляют карбона \ы $CuC0_3 \cdot Cu[OH]_2$, $2CuCO_э \cdot Cu[OH]_2$) продолжают мигрирон м1 дну вместе с частью осевших на дно минералов Си, поступив в поток непосредственно в минеральной (кристаллической) Ф , ме. Они перемещаются в придонном слое до первых природе или техногенных механических барьеров, образуя примыкающ к зоне I зону II повышенного изменения интенсивности мифшш) (рис. 8.5, *а)*. Техногенными механическими барьерами на пуш *Ц* ких потоков чаще всего являются плотины.

Изменение интенсивности миграции разных металлов в мин* ральной форме от селитебных и большинства промышлеини! ландшафтов может быть различным. Однако в зоне I (рис. 8.5, ^ *б)* значение этого показателя для всех веществ, находящихся | минеральной форме, колеблется от десяти до нескольких сотен f зависимости от размеров населенных пунктов и их промышлен» ной специализации. В зоне II значение его редко достигает 10, \

Особо следует рассмотреть изменение интенсивности мигрИ ции от техногенных ландшафтов, представленных рудниками, *КЛ* рьерами, шахтами, обогатительными фабриками. В этих случ в первой зоне (рис. 8.5, *в)* интенсивность миграции «приорииим ных загрязнителей» увеличивается в сотни-тысячи раз. При отел і

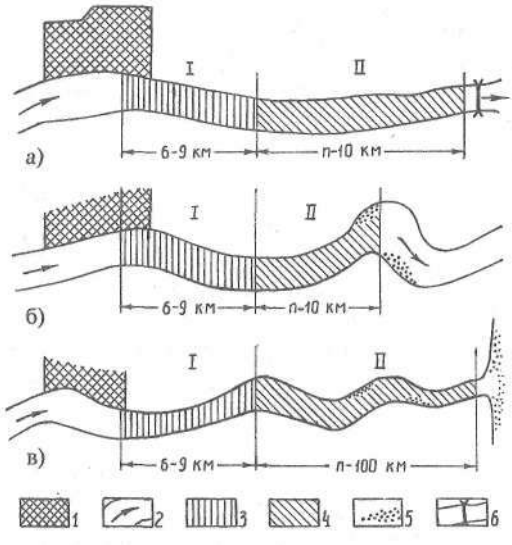


Рис. 8.5. Изменение интенсии ности техногенной миграции химических элементов, перемг щающихся в водном потои (реке) в минеральной формг

а) миграция от селитебных ландшафтов по реке с плотиной, б) то же, по реке с хорошо выражен ными механическими природными барьерами; в) миграция от рул ников, карьеров и обогатительных фабрик;
1 — селитебные и промышленные ландшафты; 2 — направление теме ния реки; 3 — зона I с изменением интенсивности миграции ряда эле ментов в сотни—тысячи раз по сравнению с природной миграцией; 4 — зона II с незначительным изменением интенсивности мигра ции по сравнению с природной миграцией; 5 — концентрация эле ментов в минеральной форме на геохимических барьерах; 6 — плотина

I чищенных барьеров она превышает природную в не-
11 до самого устья рек. Автором вторая зона была про-
Казахстане по рекам Каратал и Коксу на расстоянии
. inn км от места техногенного поступления в водный по-
jjioB Pb, Zn, Fe, Си до устья. При этом концентрации
| И Си образуют довольно контрастную аномалию в донных
пиях озера Балхаш в дельте реки Коксу.

юльное количество тонких минеральных обломков (пре-
гпенно глинистых) переносится в природных условиях в
‖и рпом воздухе. Содержание в них минералообразующих хи-
. их элементов (Si, O, Al, Fe, K, Na, Mg) близко к кларко-
у, н)лементов-примесей даже меньше. Бездумное распахива-
И1 томных территорий вызвало в первой половине XX века силь-
ри с переносом минеральных обломков в США, а во вто-
иювине века — в СССР (юг России и север Казахстана). Та-
іразом, начальный период формирования ноосферы ознаменовался и резким увеличением краткосрочной интенсивности миграции элементов в минеральной форме в атмосфере в пределах ильных (хотя и довольно больших по площади) участков земной поверхности. Во время пыльных бурь в 70-е годы на юге ев-Ьнсйской части России в 1 м^3 атмосферного воздуха содержалось I2 г ныли. Правда, основную ее часть составляли тонкодисперсные частицы почв.

Несколько обособленно обычно рассматривается миграция м- фти, которую ряд ученых, начиная с В.И. Вернадского, отно-
' (иг к минералам.

8.3.4. Биогенная форма

Интенсивность биогенной миграции в природных условиях можно определить по скорости роста животных и особенно растительных организмов, а также по перемещению этих организмов. В условиях начала формирования ноосферы столь существенных изменений в интенсивности биогенной миграции элементов по сравнению с формами нахождения, рассмотренными выше, не произошло. Отметим только, что к настоящему времени установлены породы быстрорастущих «энергетических лесов» и «фиксировано, что годовой прирост продукции в ряде сельскохозяйственных ландшафтов существенно превышает его величину в соседних природных.

Анализ изменения интенсивности биогенной миграции отдн ных химических элементов показал, что, хотя она выросла в *i* риод формирования ноосферы незначительно, но охватынК большие площади, составляющие около 10% мировой площади (*) ши. Эти площади заняты в основном сельскохозяйствен*пыж* ландшафтами. Интенсивность биогенной миграции отдел ьпы| элементов в этих ландшафтах часто определяется их увлажнен п.. стью, количеством и составом вносимых удобрений.

Происходящее в настоящее время во всем мире увеличеии|! площадей орошаемых земель также приводит к росту интенси! ности биогенной миграции и в первую очередь элементов, лв| ко растворимых в воде. Количество и состав вносимых в почну удобрений тоже влияют на интенсивность биогенной миграции химических элементов. Отметим, что в результате внесения уди брений, во-первых, возрастает итоговая (например, годовая интенсивность поглощения растениями элементов содержащих- ся в удобрениях примесей, а во-вторых, увеличивается интен- сивность миграции целого ряда других химических элементен и основном за счет увеличения биологической массы производи мой продукции и биохимических особенностей выращиваемых растений.

Приведенные в табл. 8.7 данные показывают, что применение удобрений привело к возрастанию массы подавляющего боль- шинства химических элементов, мигрирующих из почвы в расте- ния, а следовательно, к увеличению интенсивности биогенной ми- грации.

Вызванное только применением удобрений максимальное уве- личение интенсивности миграции элементов в отдельных частях зерновых культур, занимающих основательную часть пашен, составило 2,5 раза (см., например, содержание Со в зерне).

Из сравнения табл. 8.7 и 8.8 видно, что биогенное накопле- ние элементов идет не пропорционально содержанию элементов- примесей во вносимых удобрениях. Кроме того, содержание ря- да элементов (Mn, Ni, Cu, Zn, Ba) в удобрениях близко к клар- ковому для земной коры и даже ниже его. Однако интенсивность накопления (миграции) этих элементов часто после внесения удобрений изменяется. Это связано с увеличением подвижнос- ти отдельных элементов в почвах после внесения удобрений. Так, внесение фосфорных удобрений приводит к резкому (в не- сколько раз) увеличению подвижности Zn, Mn, As (Э.И.Гапонюк, 1982).

Таблица 8.7

Содержание химических элементов в озимой пшенице в агроландшафтах (Ю.Е. Сает и др.)

Химический элемент	Микроводоразделы с низкой обеспеченностью почв микроэлементами			Микродолины с высокой обеспеченностью почв микроэлементами					
	зерно	стебли	корни	зерно		стебли		корни	
	С	С	С	С	K_c	С	K_c	С	K_c
B	36	30	120	35	1	57,5	1,9	150	1,3
Cr	7,8	11,6	130	17,5	2,2	12,5	1	127,5	1
Mn	2400	840	3200	2500	1	1625	1,9	2750	0,9
Co	0,4	0,8	18	1	2,5	1	1,3	20	1,1
Ni	24	24	56	35	1,5	37,5	1,6	57,5	1
Cu	150	130	130	187,5	1,3	137,5	1,1	100	0,8
Zn	800	66	100	650	0,8	132,5	2	100	1
Mo	7,8	5,4	2,5	9,5	1,2	8,3	1,5	3	1,2
Sn	1,6	2,2	5	1,8	1,1	1,5	0,7	4,8	1
Ba	320	780	420	425	1,3	775	1	187,5	0,5
Pb	14	40	80	11,3	0,8	40	1	57,5	0,7
Урожайность, ц/га	22,6	–	–	26,5	–	–	–	–	–

Примечание. K_c – коэффициент концентрации; С – содержание золы, мг/кг; обеспеченность Mn в обоих случаях высокая

Еще одна причина существенного увеличения интенсивности биогенной миграции химических элементов при внесении удобрений — закономерности биологической связи между элементами в растениях (см. 6.4.2).

В период формирования ноосферы в некоторых случаях наблюдается и уменьшение интенсивности миграции — например, на территориях вырубки лесов. По данным аэрокосмических съемок в начальный период формирования ноосферы ежегодно вырубалось от 7 до 20 млн га лесов. К настоящему времени в умеренном поясе вырублено около 40% лесов, а в тропиках — около 50%. Напомним, что ежегодная концентрация живого вещества в лесных ландшафтах составляет 5 т/га.

Изменение интенсивности биогенной миграции элементов, вызываемое перемещением животных организмов в период формирования ноосферы, происходит мозаично и на небольших площа-

Содержание химических элементов, $1 \cdot 10^{-4}$%, в некоторых

Исходное сырье	Удобрение	Параметр	F	P	Mn	Ni	Cu
Апатитовый концентрат	Аммофос	C	5507,4	218500	200	6	12
		S	1240	8432	81,6	2,4	2,3
		K_c	8,3	235	0,3	0,1	0,2
	Нитроаммофос	C	2431	102862	101,78	4,94	4,90
		S	770	4282	42,69	1,46	1,41
		K_c	3,7	110	0,1	0,1	0,1
Фосфоритовый концентрат микрозернистых фосфоритов	Аммофос	C	10342	178416	1400	18	7
		S	370,4	6583	575,4	9,2	–
		K_c	15,6	192	1,4	0,3	0,1
	Диаммоний фосфат	C	1250	230000	226	10	5
		S	642	8828	84,7	–	–
		K_c	1,9	247	0,2	0,2	0,1
	Монокальций фосфат	C	1200	238000	408	11	6
		S	640	8800	95,6	3,91	1,72
		K_c	1,9	256	0,4	0,2	0,1
	Кальций фосфат кормовой	C	3371	245113,6	915,62	10	8,1
		S	1900	71823	196,92	35,41	4,9
		K_c	5,1	264	0,9	0,6	0,2
Фосфоритовый концентрат ракушечных фосфоритов	Двойной суперфосфат	C	8216,12	173254	768,06	10	20,84
		S	1656,31	34614	24,68	–	10,62
		K_c	12,4	186	0,8	0,2	0,4
Фосфоритовый концентрат желваковых фосфоритов	Фосфоритовая мука	C	10580	73890	1090	57,0	9,0
		S	865,12	4038,5	589,6	25,4	2,1
		K_c	16,0	79,5	1,1	1,0	0,2

Примечание. C – среднее содержание химического элемента; S – среднеквадратическое отклонение;

дях. Так, интенсивность биогенной миграции на большие расстояния, вызванная перемещением диких животных и насекомых (стада копытных, стаи белок, массовые переселения гадюк, саранчи) уменьшилась. В то же время стала возрастать интенсивность биогенной миграции, связанная с перевозкой сельскохозяйственных животных.

Громадные количества химических элементов перемещаются вместе с продукцией сельского хозяйства. При этом увеличива-

...ные фосфорных удобрений (по Ю.Е. Саету)

Zn	As	Sr	Y	Zr	Nb	Cd	Sn	Ba	La	Ce	Pb
12	14	565	91,1	50	25	0,2	8,7	26	143	260	2
6,8	–	9,81	10,2	20,9	6,04	–	2,5	1,92	40	95	0,84
0,1	8,2	1,6	3,1	0,3	1,2	1,5	3,4	0,04	4,8	4,3	0,12
7,31	15,86	87,24	74,17	22,37	18,49	0,24	7,59	7,18	120,3	203,31	8,65
2,74	4,56	33,70	12,37	9,23	22,56	0,16	3,63	1,13	44,2	75,24	13,09
0,1	9,3	0,3	2,6	0,1	0,9	1,8	3,0	0,01	4,0	3,4	0,5
65	34	160	84,5	22	6	0,9	10	84	23,22	14,03	20
21,4	–	90,5	15,84	9,4	2,48	0,5	–	30,6	7,4	5,8	14,9
0,8	20,0	0,5	2,9	0,1	0,3	9,2	4,0	0,1	0,8	0,2	1,2
52	22	17	12	11	8	0,5	13	20	19	17	22
27,5	18,4	5,24	–	5,73	4,7	–	5,41	1,8	–	–	16,8
0,6	13	0,05	0,4	0,06	0,4	3,8	5,2	0,04	0,2	0,1	1,4
64	23,8	450	64	30	11	0,5	10	117	34,83	27,3	52
51,9	–	95	10,8	3,74	5,4	–	–	9,4	5	12	34,6
0,8	14	1,3	2,2	0,2	0,5	3,8	4,0	0,2	1,0	0,5	3,2
62,18	15,0	1095,9	134,87	54,0	11,06	0,5	9,56	472	113,4	88,4	12,5
79,09	27,2	274,2	65,81	29,31	5,39	–	1,45	116,95	9	5	22,76
0,7	9,3	3,2	4,7	0,4	0,6	3,8	3,8	0,6	3,8	1,5	1,6
24,03	26,2	1751,6	281,38	120,9	26,9	0,5	10,22	546,45	350,3	658,22	20,6
12,27	33,0	881,47	20,26	24,35	6,26	–	1,17	44,76	98,74	137,6	16,17
0,3	15,4	5,2	9,7	0,7	1,4	3,8	4,0	0,8	12	9,4	1,3
127,0	48,5	1278,5	66,8	123,1	5,0	0,65	10,0	160	62,0	120	74,0
33,92	24,5	24,27	7,0	12,6	2,84	0,47	–	10,5	4,2	–	12,6
1,5	28,5	3,8	2,3	0,7	0,2	5,0	4,0	0,2	2,0	2,0	4,6

K_c – коэффициент концентрации элемента относительно кларкового содержания его в земной коре.

ющейся интенсивностью миграции охватываются огромные территории, а сам процесс миграции происходит в сроки, гораздо более короткие, чем 50-100 лет назад.

Анализ показывает, что только с экспортом-импортом зерна в настоящее время в мире ежегодно перемещаются миллионы тонн калия и сотни тысяч тонн фосфора и азота. А это лишь в сотни раз меньше годового ионного стока этих элементов в реках мира. О количестве химических элементов, перемещаемых в результате экс-

Таблица 8

Зольность зерна различных культур и содержание в нем минеральных элементов, мг/100 г сухого вещества (по Н.А. Кенту)

Элемент	Пшеница	Ячмень	Рожь	Овес		Кукуруза	Рис		Сорго
				цельное зерно	обрушенное зерно		цельное зерно	обрушенное зерно	
K	453	580	412	460	380	339	342	118	330
P	380	440	359	341	400	322	285	290	445
S	196	160	146	199	185	151	–	–	171
Mg	157	180	92	143	120	121	90	47	105
Cl	76	120	60	100	70	45	23	286	54
Ca	51	50	31	95	66	29	68	67	22
Na	24	77	26	87	50	36	78	54	7,5
Si	12	420	6	690	28	–	1790	–	4
Fe	5	5	2,7	7	4,2	3,6	–	3,2	8
Zn	5	–	–	2,7	–	–	–	–	9
Mn	4	2	2,5	5	4	0,7	5,6	1,7	5
Cu	0,7	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5	0,3	0,4	0,08
Зольность, %	1,5	2	1,7	3,4	2,0	3,4	5,9	0,9	1,5

порта-импорта зерна, можно судить по химическому составу зерна (табл. 8.9).

8.3.5. Техногенные соединения

Следует отметить, что до начала формирования ноосферы техногенных соединений третьей группы (не имеющих природных аналогов) практически не было. Следовательно, отсутствовала и их миграция. В настоящее время соединения, не имеющие природных аналогов, распространены в техногенных, биогенных и абиогенных ландшафтах. Их производство достигает несколько тысяч миллионов тонн в год. Только пластмасс сейчас выпускается около 200 млн т в год, а в 1950 г. их было менее 10 млн т. Если же сравнивать с 30-ми годами, то их выпуск увеличился примерно в миллион раз. Соответственно во столько же раз возросла и интенсивность миграции пластических масс.

Интенсивность миграции химических элементов, составляю-
К техногенные образования второй группы (ранее существовав-
.llll и природе, но только в рамках строго определенных внешня условий), в начальный период формирования ноосферы из-
Р пилась весьма значительно, но, как правило, только в пределах определенных участков биосферы. Больше всего производится (а ппонательно, постепенно и рассеивается преимущественно в • HI к)генных ландшафтах) черных металлов — железа и сплавов ни сю основе. Их поступает в биосферу более 700 млн т в год. Мож-1н і говорить, что интенсивность миграции Fe за последние десяшетия увеличилась в тысячи — сотни тысяч раз, если считать, г<> всего выплавлено порядка 35 млрд т металла и его сплавов.

По подсчетам ряда исследователей мировой фонд железа на сеі < *w* lяшний день составляет всего лишь 10 млрд т. Разница в 25 млрд т ушла на общую металлизацию биосферы. Значительная часть • *ты* разницы связана с коррозией. Таким образом, в процессе меЬлизации чистое железо и его сплавы перешли в биосфере в оксиды и гидрооксиды.

Интенсивность миграции цветных металлов возросла в еще больших размерах, чем железа. По имеющимся данным, например, за последние 10 лет добыча меди составила около 90% добычи этого металла за весь исторический период. (А ведь медь — один из первых металлов, которые начал добывать и использовать человек.) Можно ориентировочно считать, что интенсивность миграции меди в начальный период становления ноосферы увеличилась и миллионы раз.

В еще большей мере возросла интенсивность миграции рассеинных химических элементов. До начала формирования ноосферы они практически не добывались. Их рассеяние происходило из :плавов, в которых они находились в виде случайных примесей. За 50 последних лет добыча, например, Zr, а следовательно, и интенсивность его миграции возросла в сотни миллионов раз. Миэовая добыча Re в 1930 г. составляла 3 г. Его ежегодная добыча в настоящее время измеряется тоннами.

Говоря об изменении интенсивности миграции соединений химических элементов первой группы, имеющих природные аналоги, но производимых в больших количествах техногенным путем, нужно прежде всего обратить внимание на оксиды углерода, серы и азота. Основная часть техногенного диоксида углерода ($C0_2$) эбразуется при полном сгорании угля, нефти, газа. Подсчеты показывают, что за одни сутки человечеством используется столь-

ко органического топлива, сколько живое вещество природы сИ| тезирует за тысячелетия. При этом часть тепла рассеивается в бн осфере. Пока ее общее тепловое загрязнение незначительно -» 25 000 раз меньше солнечной радиации. Однако в пределах сели* тебных ландшафтов техногенная составляющая уже достигает 5 Я солнечного излучения. При современном темпе развития данно* го процесса в ближайшие 100—200 лет только за счет него возмож»; ны громадные изменения климата.

Обычно в природных условиях существует подвижное равноч весие между $C0_2$, поступающим из многочисленных природный источников (начиная с извержения вулканов и кончая продукта*! ми дыхания животных), и $C0_2$, переводимым из атмосферы в рс« зультате различных процессов. Основными их них являются об«] разования карбонатных пород (преимущественно $CaC0_3$) и био- \ массы за счет процессов фотосинтеза (рис. 8.6).

С началом формирования ноосферы существовавшее природ- ное равновесие стало нарушаться. Если природное поступление СО, в атмосферу оценивается в 70 млрд т в год, то техногенная состав- ляющая доходит до 15 млрд т в год. Следует вспомнить и то, что за последний век площади, занимаемые лесами на Земном шаре, сократились примерно вдвое. Следовательно, сократилось коли- чество $C0_2$, поглощаемого растениями. В результате различных ан- тропогенных процессов в начальный период формирования ноо- сферы концентрация в атмосферном воздухе $C0_2$ возросла с 0,029 (начало XX в.) до 0,035%, т.е. на 20%, а за три последних столе- тия она увеличилась всего на 25%.

Итоговая интенсивность миграции $C0_2$ для биосферы в целом возросла по сравнению с началом века всего в 1,25 раза. И все же,

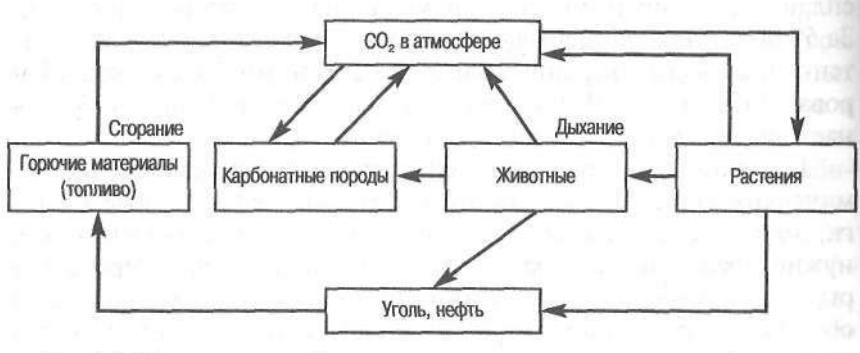


Рис. 8.6. Образование карбонатных пород и круговорот углерода в природе

» мнению многих исследователей, уже имеющееся «избыточное» lИмсство $C0_2$ в атмосфере начинает приводить к парниковому I Ф< кту. Суть его в ограничении количества тепловой энергии, Изучаемой Землей в космическое пространство.

Как и в случаях, ранее рассмотренных в этой главе, измене-Mi интенсивности миграции $C0_2$ происходит мозаично. В Рос-• И наибольшие изменения произошли к настоящему времени в п« тральном и С.-Петербургском районах, а также в ряде райо-мин Поволжья. В Центральном районе этот показатель по срав-• пню со средним изменением интенсивности миграции $C0_2$ в би-шфсре возрос в 120 раз и достиг величины 600 тыс. за год.

Па 20—30% возросла ежегодная доля выбросов угарного газа I О) от неполного сгорания топлива. Его основными техногенными поставщиками являются тепловые электростанции и автомобильный транспорт. При коксовании 1 т угля выделяется 13,8 $м^3$ I (); при мартеновской плавке 1 т стали — до 60 кг. В дымах, вы-• ляющихся при конвертировании чугуна, содержание СО колебнется от 10 до 12 m/u^3.

Итоговая интенсивность миграции СО в начальный период становления ноосферы увеличилась в целом для биосферы по сравнению с чисто природной миграцией примерно в 1,25 раза. Мо-• кулы СО, соединяясь с гемоглобином крови, образуют комплекс — карбоксигемоглобин. Он более устойчив, чем комплекс гемоглобина с кислородом. При концентрации СО в воздухе *И)()* мг/$м^3$ через 2 часа проявляются первые симптомы отравления. Концентрация СО, равная 10%, вызывает летальный исход юрез 2 минуты.

Природные источники диоксида серы ($S0_2$), основными из которых являются вулканы, лесные пожары, деятельность ряда бактерий, поставляют в настоящее время в атмосферу около 55% га-ia. Остальные 45% $S0_2$ поступают от техногенных источников — тепловых электростанций, металлургических предприятий и др. В ;умме они ежегодно выбрасывают в атмосферу около 150 млн т $Ю_2$, вызывающего образование кислотных дождей.

Итоговая интенсивность миграции $S0_2$ для биосферы в целом юзросла в настоящее время по отношению к чисто природной миграции по разным подсчетам примерно в 1,2—1,9 раза.

Антропогенные источники оксидов азота в атмосферном возгухе практически те же, что и для $S0_2$: энергетическая промышленность и транспорт (95% выбросов); химическая промышленность (около 5%). В атмосферном воздухе они, как и диоксид се-

ры, постепенно переходят в кислоту, вызывая образование кис» лотных дождей. Кроме того, с их участием формируется фотохи мический смог.

Для биосферы в целом изменение итоговой интенсивности миграции оксидов азота незначительно (1,01), но над крупными промышленными городами оно существенно увеличивается.

8.3.6. Водные растворы

Общее количество, а следовательно, и итоговое изменение интенсивности миграции водных растворов к началу формирования ноосферы практически не изменилось (см. гл. 3). На отдельных участках в связи со строительством крупных водохранилищ уменьшилось количество вод, поступающих в реки. Но при этом увеличилось количество воды, мигрирующей в виде пара, а частично по подземному стоку.

Гораздо в большей мере изменилась интенсивность миграции растворенных веществ. Традиционно сложилось так, что для определения интенсивности миграции химических элементов в подземных и поверхностных водах используется коэффициент водной миграции

$$\_\frac{M_x \cdot 100}{a\,п_x}\,',$$

где M_x — содержание элемента в воде, г/л; $п_x$ — содержание элемента в водовмещающих породах или кларковое содержание в земной коре, %; а — степень минерализации воды, г/л.

Таким образом, если взять значение K_x за определенный промежуток времени, то перейдем к ранее рассмотренному (см. разд. 8.3) показателю интенсивности миграции химических элементов. Сама же величина K_x позволяет сравнивать интенсивность миграции в водах различных элементов, в том числе растворенных и рассеянных (табл. 8.10).

Так как нас в данном случае интересует изменение интенсивности миграции в период становления ноосферы, то нужно использовать отношение K_X/K_{X2}, где K_{X1} — интенсивность миграции без техногенной нагрузки, или фоновая величина; K_{X2} — интенсивность миграции, определяемая в местах антропогенного загрязнения в данное время. Сравниваться должны участки, сложенные породами аналогичного состава. При больших размерах

Таблица 8.10

Интенсивность миграции элементов в подземных водах зоны гипергенеза

Элемент	Содержание элементов		Коэффициент водной миграции K_x
	в водах M_x, г/л (по С.Л. Шварцеву)	в земной коре, % (по А.П. Виноградову)	
Cl	$4{,}7 \cdot 10^{-2}$	$1{,}7 \cdot 10^{-2}$	644
Br	$1{,}83 \cdot 10^{-4}$	$2{,}1 \cdot 10^{-4}$	203
J	$1{,}61 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-5}$	99
Mg	$1{,}86 \cdot 10^{-2}$	1,87	2,3
Ca	$4{,}3 \cdot 10^{-2}$	2,96	3,3
Na	$4{,}55 \cdot 10^{-2}$	2,5	4,2
F	$4{,}5 \cdot 10^{-4}$	$6{,}6 \cdot 10^{-2}$	1,6
Zn	$3{,}4 \cdot 10^{-5}$	$8{,}3 \cdot 10^{-3}$	0,94
Sr	$1{,}85 \cdot 10^{-4}$	$3{,}4 \cdot 10^{-2}$	1,2
Mo	$2{,}06 \cdot 10^{-6}$	$1{,}1 \cdot 10^{-4}$	4,4
K	$4{,}59 \cdot 10^{-3}$	2,5	0,43
P	$5{,}75 \cdot 10^{-5}$	$9{,}3 \cdot 10^{-2}$	0,14
Mn	$4{,}94 \cdot 10^{-5}$	0,1	0,11
Ni	$3{,}31 \cdot 10^{-6}$	$5{,}8 \cdot 10^{-3}$	0,13
Cu	$5{,}58 \cdot 10^{-6}$	$4{,}7 \cdot 10^{-3}$	0,27
Fe	$5{,}47 \cdot 10^{-4}$	4,65	0,02
Al	$2{,}79 \cdot 10^{-4}$	8,05	0,008
Ti	$1{,}07 \cdot 10^{-5}$	0,45	0,005
Cr	$2{,}9 \cdot 10^{-6}$	$8{,}3 \cdot 10^{-3}$	0,08
V	$2{,}06 \cdot 10^{-6}$	$9 \cdot 10^{-3}$	0,05
Zr	$1{,}3 \cdot 10^{-6}$	$1{,}7 \cdot 10^{-2}$	0,017
Th	$4{,}2 \cdot 10^{-7}$	$1{,}3 \cdot 10^{-3}$	0,07

участков следует во всех расчетах брать не содержание элемента в водовмещающих породах, а его кларковое содержание:

$$\frac{K_{x_1}}{K_{x_2}} = \frac{M_{x_2} \cdot 100}{a_2 n_x} \Big/ \frac{M_{x_1} \cdot 100}{a_1 n_x} = \frac{M_{x_2} a_1}{M_{x_1} a_2}.$$

При одинаковой (близкой) минерализации вод получим M_{x_2}/M_{x_1}, где M_{x_2} — отношение содержания элемента в водах на загрязненном участке, г/л; M_{x_1} — содержание элемента в пределах

регионального фона, г/л. В случае подземных вод при опредея нии величины $K_{X)}$ (K_{X2}) целесообразно использовать установш N ное С.Л. Шварцевым кларковое содержание элемента в этих Н0(дах(табл. 8.10, 8.11).

Таблица 8.11

Ряды миграции элементов в кислородных водах зоны гипергенеза (по данным А.И. Перельмана)

Интенсивность миграции	Коэффициент водной миграции	Состав ряда элементов в порядке убывания их кларкового содержания в земной коре
Очень сильная	n · 10 – n · 100	S, Cl, B, Br, J
Сильная	n – n · 10	Ca, Na, Mg, F, Sr, Zn, U, Mo, Se, Au
Средняя	0,n – n	Si, K, Mn, P, Ba, Rb, Ni, Cu, Li, Co, Cs, As, Tl, Ra
Слабая и очень слабая	0,0n и менее	Al, Fe, Ti, Zr, Th и др.

Средний минеральный остаток для подземных вод равняется (также по С.Л. Шварцеву) 0,43 г/л. Для пресных вод большинст* ва рек и озер влажного климата минерализация обычно колеблет» 1 ся от 0,1 до 1,0 г/л.

Давая общую характеристику современного антропогенного воз-1 действия на воды, приведем данные А.Е. Воробьева, согласно I которым в 1988 г. только в водоемы России было сброшено, тыс. т: органических веществ — 1750; сероводорода — 100; серо углерода — 77; нефтепродуктов — 57; поверхностно-активных I веществ — 23. Всего в водоемы попало 8,5 км^3 неочищенных вод] и 18,5 км^3 — не полностью очищенных. В результате этого 60% поверхностных пресных вод страны теперь относятся к разряду загрязненных и не могут без дополнительной очистки использоваться для питья. Небольшие количества загрязненных вод сбрасываются ежегодно в бассейны рек Волги (11 км^3), Ангары (1,8 км^3), Урала (0,1 км^3). Основные сбросы загрязненных вод в реки про- 1 исходят из селитебных и промышленных ландшафтов. Обычная протяженность образующихся при этом гидрохимических аномалий составляет 20—25 км.

Воды малых (протяженностью около 2000 км) равнинных рек в зонах промышленных городов также подвержены загрязнению, приводящему к изменению содержания в них как макро-, так и микроэлементов. Как видно из табл. 8.12, существенное увеличение хлоридов, фосфатов, сульфатов, соединений азота и ряда щелочных металлов приводит к увеличению общей минерализации

Таблица 8.12

Интенсивность техногенных изменений макрокомпонентов поверхностных вод бассейна малой реки, мг/л (по данным Ю.Е. Саета)

Источник загрязнения	pH	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	NO_3^-	NO_2^-	PO_4^{3-}	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Общая минерализация
Средний город (крупный промышленный центр)	7,2	357	74	119	15	0,6	5,0	95	80	2,7	17	810
Средний город (металлообрабатывающие и машиностроительные заводы)	6,8	333	73	1344	4	0,4	1,5	768	134	42	54	2773
Средний город (крупный промышленный центр)	7,1	317	52	89	8,8	0,6	5,8	81	65	18,5	18,5	663
Малый город (химический завод)	6,2	363	91	255	3,5	0,07	6,3	223	67	21	12	1062
Малый город (коксохимический завод)	6,3	262	159	161	7,5	0,03	1,4	102	95	31	12	858
Малый город (научный центр физического направления)	6,7	357	35	49	16	8	15	57	69	25	12	663
Свалка промышленных и бытовых отходов со стоком в разные водотоки	7,6	574	160	1764	4	1,2	3,5	899	274	54	19	3764
	7,7	235	76	1498	8	0,9	5	816	161	42	55	2345
	8,7	9,5	79	6317	2	1,5	0,02	2434	256	84	2200	11 497
Малый город (машиностроительный завод)	7,0	280	70	66	9	1,1	4	54	73	22	9,5	604

Примечание. pH фонового водотока 7,91.

вод от 1,5 до 20 раз. Увеличение таких изменений в интенсивно сти миграции макроэлементов обычно колеблется по сравнений! с региональными фоновыми содержаниями в реках от 1,1 раза д< сотен раз.

Ассоциации металлов, образующих в растворимой форме i и» дрохимические аномалии, представлены в основном Си, РЬ, *Zn*\, Ni, Cr, Cd, Hg, As, Mo. Интенсивность миграции этих элементов обычно возрастает в 1,1—20 раз. Однако около отдельных предпрп ятий, а чаще — ниже по течению от рудников и обогатительны* фабрик в этой ассоциации появляются приоритетные загрязните ли. Интенсивность миграции по отношению к фону может изме* няться в сотни и тысячи раз. Иногда к приоритетным могут от» носиться и растворенные компоненты (табл. 8.13).

Таблица 8.13

Загрязненность вод обогатительных фабрик, мг/л (по данным А.Е. Воробьева)

Загрязняющие примеси	Вольфрамомо-либденовые	Медные и сурьмяно-ртутные	Полиметал-лические	Никель-кобальтовые
Сухой остаток	2000–13 000	2600–3800	460–5400	360–2000
Ионы кальция	160–200	160–950	16–230	10–140
Ионы магния	–	26–60	5–30	8–40
Ионы хлоридов	140–740	200–4500	5–170	10–300
Ионы сульфатов	250–5900	400–4500	40–1500	20–400
Ионы сульфидов	0–1000	0–5	–	–
Ионы меди	0–50	0–0,2	0,3–10	0,02–1,8
Ионы свинца	0,4–17	–	0,2–0,8	–
Ионы цинка	0,3–1	0,09–10	0,3–1800	–
Ионы никеля	–	–	–	0,02–0,13
Ионы железа	0,3–1,4	0,2–0,3	–	0,07–13
Цианиды и роданиды	0–0,8	–	0–30	0–21
Ксантогенаты	0–0,04	0,5–24	–	–
Мышьяк	0,1–6	0–0,05	0–0,1	–
Фенолы	0,1–7	0–7	–	–
Нефтепродукты	0–33	0,03–5	0,9	–
Сурьма	0,01–25	–	–	–
Молибден	0–740	–	–	–

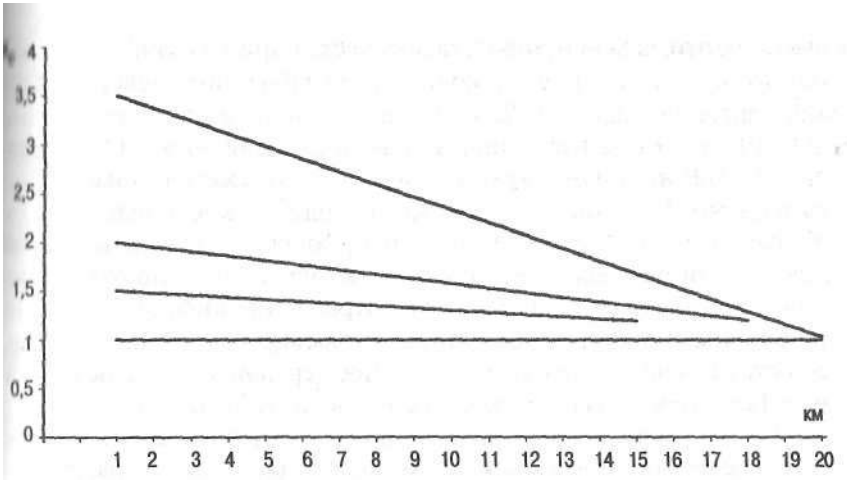


Рис. 8.7. Уменьшение концентрации химических элементов в водах рек по данным Ю.Е.Саета:
Kg — коэффициент накопления относительно фоновых концентраций

По данным Ю.Е. Саета с соавторами (1990), основная причина уменьшения концентрации химических элементов (рис. 8.7) в подах рек ниже загрязнителей (а следовательно, и интенсивности миграции этих элементов) — разбавление водами с фоновыми содержаниями этих элементов. Исследования же автора, проводимые в районе действующих полиметаллических рудников и обогатительной фабрики, показали, что интенсивность миграции уменьшается за счет постепенного выпадения металлов из растворов в осадок. Эти данные согласуются и с результатами исследований, проведенных академиком Н.М. Страховым.

8.3.7. Газовые смеси

В целом значительного изменения интенсивности миграции химических элементов, составляющих атмосферу, в период образования ноосферы не произошло, так как общая масса атмосферы за последние 50—70 лет практически не изменилась. Особенности интенсивности миграции $C0_2$, CO, $S0_2$, NO и $N0_2$ рассмотрены в 8.3.4.

Изменения интенсивности миграции кислорода в результате техногенеза связаны с сокращением содержания этого газа в атмосфере. Основная причина уменьшения — сжигание топлива. Под-

считано, что за всю историю человечества при сжигании дров, *Щ* менного угля, газа и нефти количество свободного кислорода и 81 мосфере снизилось на 274 • 10^{12} кг. Основная его часть (окол| 246-10^{12} кг) была израсходована за последние 50 лет (Т. А. К т.. ев, 1994). В настоящее время человечеством ежегодно извлекая ся из атмосферы около 1 • 10^{13} кг свободного кислорода, перехв дящего в связанное состояние. Этот процесс, как и болыпинсти других техногенных процессов, крайне неравномерно охваты наг f поверхность Земли. Наибольшее потребление кислорода отмечи но в районах с крупными металлургическими комбинатами. Та| его существенное уменьшение в атмосфере фиксировалось в рай оне Темиртау (Казахстан), особенно в зимний период.

В атмосфере над континентами происходит пока еще несуще! ственное техногенное изменение концентрации водяного пара. Боль ше его стало в районах создания крупных искусственных водохрц»! нилищ.

8.3.8. Органические соединения

Геохимия органических соединений, а особенно ее раздел, связанный с техногенезом, пока не получили должного внимания, С началом развития экологической геохимии значение органиче» ской геохимии постоянно возрастает. Повышенный интерес к миграции органических соединений обусловлен рядом причин и среди них такие, как:

• резко возросшее количество самых различных техногенных органических соединений, поступающих в биосферу;

• постоянно увеличивающиеся объемы перевозимых (перекачиваемых) нефти и газа и, как следствие, возросшее поступление этих веществ в биосферу из-за различного рода аварий;

• открытие ранее неизвестных биохимических свойств многих органических соединений, заставляющее по-новому взглянуть на техногенные поступления органических веществ в биосферу.

Техногенная миграция органических соединений происходит в атмосфере (в виде газовых смесей и аэрозолей), гидросфере (в форме водных растворов) и литосфере (растворы, газовые смеси). При рассмотрении этого вида миграции в первую очередь необходимо знать ее соотношение с природной миграцией. Кроме того, надо знать, какое влияние оказывают на развитие организмов органические соединения, распространение которых в биосфере в наибольшей мере связано с техногенезом.

И настоящее время количество нефти, поступающей в верхние in биосферы, постоянно возрастает (обычно из-за аварий). 118% ее составляют углеводороды. В оставшейся части преобришют их производные, содержащие O, S, и N. Углеводороды, со-. (пшяющие нефть, обычно подразделяются на четыре класса:

I) парафины ($C_nH_{2n+}2$), низшие парафины от метана до бута- и при комнатной температуре — газы;

1) нафтены (C_nH_{2n}), при комнатной температуре газы, жидко-•ТИ, твердые тела;

3) ароматические соединения ряда бензола (C_6H_6), преимуще-ITHCIIHO жидкости;

4) олефины — ненасыщенные нециклические соединения с двойной связью и общей формулой, как и у нафтенов (-C_nH_{2n}), при и штатной температуре — газы, жидкости, твердые тела.

Как видно из приведенных данных, нефть, поступающая на попгрхность, в дальнейшем в дневные часы разлагается и становит-i и источником ряда новых веществ. Последние могут мигрировать ц лито-, гидро- и атмосфере. Подсчеты (В.А. Успенский) показыйшют, что около 12% эксплуатируемых нефтяных месторождений имели природные выходы на поверхность нефти, газа, вод из воцопосных слоев.

Нефть, выходящая на поверхность, отличается от питающей ее шлход маточной нефти (и нефти, разливающейся при авариях) отсутствием легких фракций и некоторой осмоленностью. Из нефти, попавшей на поверхность, начинается испарение более легких фракций. Затем идут процессы растворения части компонентов, окисюния и связанного с ним преобразования структуры, разрушения юд действием аэробных бактерий. Постепенно нефть превращайся в вязкие, а затем и в твердые разновидности битумов. Скоюсть и ряд особенностей протекания этих процессов зависят от состава нефти и в большей мере от климата и ландшафтно-геохилических условий. В результате природного вытекания нефти моут образоваться отдельные асфальтовые сопки и потоки протяженюстью до 200 м (Краснодарский край, Джунгарская депрессия, Апиеронский полуостров и т.д.). В очень редких случаях из-за приходного просачивания нефтью заливаются большие площади. Набольшие скопления выявлены на острове Тринидад — площадь жоло 40 га с мощностью слоя до 60 м. В Албании, у Селеницы юсстановлены погребенные остатки древних природных излияний, вероятно, высокосернистой нефти на мелководных участках морского дна. В асфальте найдены раковины морских животных.

В отличие от природных, антропогенные разливы нефти не *чщ* заны с тектоническими нарушениями и часто охватывают болы ни» площади. Нефть обычно богата легкими фракциями и подвижн,! I j поступление при разливах идет сверху вниз, захватывая в первую < *щ* редь гумусовый горизонт почв и делая на долгие годы их малон|и). дуктивными и даже непригодными для сельского хозяйства.

Находясь в осадках, породах и подземных водах, нефть вопу< пает во взаимодействие с ними при широком развитии разлив ных бактериальных процессов. Углеводороды, взаимодействуя с с у я фатами, образуют H_2S. Сероводород вступает в реакции с ок< и дами, образуя сульфиды. Большое содержание в биосфере желе за является причиной того, что из сульфидов обычно преоблшм ет пирит. При избытке оксидов железа или свободного кислорп да происходит окисление H_2S до свободной серы, которая можг і образовывать «шляпу» нефтяного месторождения.

Окисное железо под воздействием органических соединений переходит в закись, а затем в карбонат железа — сидерит:

$$Fe_2O_3 + C_nH_m \rightarrow FeO + CO_2 + H_2O,$$
$$FeO + CO_2 \rightarrow FeCO_3.$$

При наличии сульфата кальция под воздействием нефти может образовываться калы гит:

$$CaSO_4 + C_nH_m \rightarrow H_2S + CaCO_3.$$

В подземных водах при контакте с нефтью увеличивается содержание аммония (иногда достигая 1 г/л), генетически связанного с органическим веществом, гидросульфида, растворенного сероводорода, тиосульфата, соды. В отдельных случаях в водах под влиянием окисляющейся нефти повышается концентрация Си, Ni, Mo, Co, I, U, Ag.

Химический состав газов нефтяных и газовых залежей приведен в табл. 8.14. На отдельных месторождениях состав газов отличается от типичного, приведенного в таблице. Так, может резко возрастать содержание H_2S (до 98%, т.е. до чисто сероводородных скоплений), Н, Не, Аг, $C0_2$, меркаптанов. Концентрация в приземном воздухе нефтегазоносных бассейнов метана иногда в три раза превышает фоновое содержание.

Кроме нефти и газов газонефтяных месторождений природное поступление органических веществ в верхние части биосферы (в первую очередь в атмосферу) связано с жизнедеятельностью всех видов организмов — от одноклеточных бактерий до высших растений и животных. Общее число выделяемых органических веществ насчитывает тысячи наименований (К.Н.Зеленин,

Таблица 8.14

Химический состав газов в газовых и газонефтяных залежах

Месторождение, возраст	Состав газа, %								Коэффициент сухости CH_4/C_2H_6
	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	C_4H_{10}	C_2H_{10}+высш. гомологи*	CO_2	N	H_2S	
Газовые залежи									
Дашава, неоген	98,3	0,3	0,1	0,1	0,5	0,1	1	0	196,6
Северо-Ставропольское, палеоген	98,8	0,4	0,2	0,1	0,7	0,1	0,5	0	141,1
Газли, мел	94,7	1,1	0,2	–	1,3	0,7	3,1	0,2	72,8
Березово, юра	95,1	1,1	0,3	–	1,5	0,1	3,0	0	63,4
Шебелинка, пермь	93	4,5	0,8	0,6	6,4	0,1	0,5	0	14,8
Песчаный умет, карбон	93,1	2,2	1,2	0,4	3,8	0	3	0	24,5
Седьель, девон	85,8	2,3	1	0,3	3,6	0	10,5	0	23,8
Газонефтяные залежи									
Сураханы, «фонтанный газ», неоген	80,5	2,0	1,1	0,4	3,5	8	0	Следы	23
Сураханы, «насосный», неоген	65	6	3,1	1,2	12,6	22,4	0	То же	51,6
Андижан, палеоген	82,8	8,8	3,6	0,5	14,4	1	1,8	0	50,5
Жетыбай, юра	79,4	Не определены			9,9	0,2	4,8	0	71
Панхэндл, пермь	92,3	Не определены			6,4	–	1,3	0	14,4
Муханово, карбон	31,4	19	22	9,5	55,5	4	9	0,1	0,5
Ромашкино, девон	40	19,5	18	17,5	59,9	0,1	10	0	0,7

* Включая пентаны и гексаны.

1998). Основными можно считать метан, этилен, изопрен, этиловый спирт, ацетон.

Из других природных источников органических веществ следует отметить дегазацию верхней мантии. Так, в пробах газов из вулканов Камчатки выявлено порядка 100 органических соединений с длиной цепи до 12 углеродных атомов. Повышено (особенно в районах сейсмической активности) содержание органических соединений и над разрывными нарушениями. Среди них установлены углеводороды, легколетучие карбонильные соединения, спирты, галогенуглеводороды.

Над вулканами и разрывными нарушениями земной коры бе[1] вмешательства человека концентрация $CFC1_3$ и CF_2C1_2 может пре вышать фоновые в 2-15 раз. Содержание хлороформа и $CC1_4$ может быть выше фона даже на два порядка. Фреоны были обнаружены в пузырьках воздуха льдов Антарктиды возраста около 2 тысяч лет. В 1998 г. $CFC1_3$ был обнаружен во впадинах (глубиной более 4000 м) Атлантического океана.

В условиях формирования ноосферы подавляющее большинство техногенных источников органических соединений сконцентрировано в селитебных ландшафтах. В приземной атмосфере над ними и на расстоянии первых нескольких километров с подветренной стороны формируется своеобразное облако органических соединений.

Считается, что около 60% техногенных углеводородов (без учета аварий) связано с автомобильным транспортом. Вторым по значению антропогенным загрязнителем органическими соединениями можно считать промышленное производство. Оно является источником этилена, пропилена, бутадиена, бензола, толуола ксилола, метанола. Они используются для выработки свыше 40 000 наименований других органических соединений. Различные предприятия являются преимущественно источниками определенных органических веществ:

- заводы синтетических моющих веществ — алканов, карбонильных соединений, эфиров, карбоновых кислот;'
- заводы синтетического каучука - исходных мономеров и растворителей;
- лесохимические предприятия — альдегидов, кетонов, спиртов, карбоновых кислот, множества терпенов;
- целлюлозно-бумажные комбинаты - одорант'ов (дурнопахнущих газообразных веществ), формальдегида, спиртов, фенолов;
- заводы, производящие растворители, — углеводородов (до 25% от всех выбросов);
- предприятия аэрозольных установок — фторхлоруглеводородов *'4-* фреонов (около 85% их техногенного производства);
- очистные сооружения сточных вод — одорантов, метил- и диметилртути (CH_3HgCH_3 и CH_3HgCl), тетраметилсвинца $(CH_3)_4$РЬ, диметилселена $(CH_3)_2Se$.

Значительное количество техногенных органических веществ поступает в селитебных ландшафтах от коммунально-хозяйственных служб. В первую очередь необходимо отметить поступление

такого опасного для здоровья вещества, как диоксин. Вентиляционные системы домов являются источниками более 40 токсичных и дурнопахнущих органических соединений. В их числе меркаптаны (дурнопахнущие), амины, спирты, альдегиды. Так, при сжигании в кухонной горелке 1 $м^3$ газа образуется около 1500 мг формальдегида. Кроме него, по данным К.Н. Зеленина, выделяется еще 22 других соединения.

Различные отходы, сконцентрированные на социальных геохимических барьерах, выделяют серосодержащие соединения (метилмеркаптан), диметилсульфид, диметилдисульфид, сероуглерод, ароматические и непредельные углеводороды, терпены, спирты, метан, карбонильные соединения. Все они образуются в результате самых разнообразных и пока не прогнозируемых химических реакций. Количество органических новообразований при этом довольно велико. Так, в среднем 1 т отходов приводит к образованию на свалке около 30 $м^3$ метана, причем большая часть его выделяется за первые 10 лет. Значительные количества метана выделяются и из сельскохозяйственных периодически затопляемых ландшафтов (в основном рисовых чеков) — до $6 \cdot 10^6$ т/год.

Пока техногенная составляющая органических соединений еще не доросла до природной, но стала соизмеримой с нею. Например, в атмосфере техногенные углеводороды составляют уже в среднем около 10% их общего содержания. При этом, что особо важно, они сконцентрированы в основном над селитебными ландшафтами, где плотность населения наибольшая. Чтобы оценить возможные последствия такого загрязнения (а пока о нем говорят недостаточно много), кратко рассмотрим некоторые свойства отдельных органических соединений.

Метан (CH_4) — не обладает запахом, участвует (несмотря на низкую концентрацию в атмосфере) в создании парникового эффекта, поскольку его молекула в определенных диапазонах поглощает в 25 раз больше ИК-радиации, чем молекула $CO_я$.

$$CH_2=\overset{\displaystyle CH_3}{\overset{|}{C}}-CH=CH_2$$

Изопрен — жидкость, кипящая при 34° С, полимеризуется в каучук; один из основных участников фотохимических процессов, происходящих в атмосфере. Его физиолого-биохимическая роль не вполне ясна. Выделение изопрена растениями резко возрастает в стрессовых ситуациях (повреждение тканей, засуха и т.д.). В результате ограничивается проникновение болезнетворных микроорганизмов в ткани, происходит сте-

рилизация поврежденных участков. Эмиссия изопрена растениями может рассматриваться как неспецифический, эволюционно выработанный иммунитет.

Этилен (C_2H_4) — газ, влияющий на скорость созревания плодов и опад листьев. В связи с этим иногда его называют гормоном созревания, переводящим растения в состояние покоя. Предполагается, что он вырабатывается всеми лиственными растениями. Его биосинтез и многие биохимические особенности пока слабо изучены.

Карбонильные соединения и спирты — изменяют проницаемость клеточных мембран и ингибируют (замедляют) обмен веществ (метаболизм). Карбонильные соединения (особенно формальдегид и ацетальдегид) даже при низких концентрациях убивают патогенные грибы (возбудители ряда болезней у растений).

Калины — органические вещества, выделяемые растениями и подавляющие прорастание семян у растений-конкурентов.

Аттрактанты и репелленты — соединения, выделяемые растениями и влияющие на животных. Аттрактанты, например терпен α-пинен  , привлекают насекомых опылителей, в частности жуков-лубоедов. Терпены 3-цинеол и эвгенол (углеводорода состава $C_{10}H_{,6}$) привлекают насекомых опылителей для многих видов орхидей. Репелленты — вещества, отпугивающие животных. Например, терпен р-пинен отпугивает жука-короеда, а ментол (спирт терпена ментана), составляющий главную часть мятного масла, отпугивает тутового шелкопряда. Иногда одно и то же органическое соединение может быть аттрактантом для одних животных и репеллентом — для других. Так ос-пинен не только привлекает жуков-лубоедов, но и отпугивает жука-короеда.

Таким образом, рассмотренные органические соединения во многом могут представлять собой *вещества, способствующие формированию определенных биоценозов*.

Низшие карбоновые кислоты (HCOOH и CH_3COOH), выделяемые рядом лиственных деревьев, могут изменять кислотность атмосферных осадков до величин pH = 4—5 без техногенной составляющей. Это явление отмечалось в лесных районах Австралии и в бассейне реки Амазонки.

Пероксид водорода (H_20_2), образующийся в дневное время в сосновых лесах, является фитотоксикантом для многих насаждений.

Заканчивая краткий обзор миграции органических соединений в период начала формирования ноосферы, следует отметить, Что интенсивность миграции этих веществ, хотя и возросла, но пока незначительно, примерно в 1,1—1,2 раза. Причем наибольшее увеличение интенсивности происходит в селитебных ландшафтах. Его последствия даже для растительных организмов очень трудно прогнозируемы. Еще сложнее сделать это для животных и для человека. Однако уже сейчас есть основания считать, что многие заболевания (в первую очередь аллергические) могут быть связаны с увеличением интенсивности миграции органических соединений.

8.3.9. Социальная миграция

К социальной миграции относится такая техногенная миграция, аналогов которой практически нет в природе. В первую очередь это громадное перемещение продуктов сельскохозяйственного и промышленного производства.

Социальная миграция появилась с началом истории развития человечества. Автор наблюдал при проведении геолого-разведочных работ в Южном Казахстане на месте древних (проходимых 2000 лет назад?) горных выработок каменные молотки (с их помощью проходились горные выработки — траншеи и даже карьеры — протяженностью в десятки и глубиной до нескольких метров). Молотки были сделаны из магматических пород основного состава. Ближайшие выходы таких пород были расположены почти в 100 км от этих выработок.

На значительные расстояния (сотни километров) перемещались и сами добытые руды. Так, в Джунгарском Алатау (Южный Казахстан) вместе с геологом П.А. Руденко автор специально рассматривал вероятные пути появления на мощных (более 15 м) отложениях эоловых суглинков крупных обломков нехарактерного для данного района оксида свинца массикота (РЬО). После проведения довольно детальных поисковых исследований вероятным осталось только одно предположение: появление данных обломков могло быть связано с их перевозкой по старому караванному пути Китай—Казахстан через известный перевал.

В других случаях, например на медном месторождении Саяк, расположенном в Центральном Казахстане, металл из окисленных руд выплавляли на месте. Об этом свидетельствуют многочислен-

ные находки шлака и следов древних плавок, выявленные геологами Г.П. Бурдуковым, Р.Н. Остапенко, Ю.В. Тарновским, автором и другими исследователями.

Однако если несколько тысячелетий назад перевозка металлов, руд и орудий производства хотя и осуществлялась на большие расстояния (сотни километров), сама масса перевозимых материалов вряд ли превышала первые тонны. В большинстве же случаев она, вероятно, была гораздо меньше. С древних времен транспортировалась-на кораблях и караванными тропами разнообразная сельскохозяйственная продукция.

В начальный период формирования ноосферы масса перевозимых веществ возросла в миллионы и сотни миллионов раз. Дальность их перемещения стала измеряться тысячами и десятками тысяч километров.

Рассмотрение проблемы изменения интенсивности миграции химических элементов в начальный период формирования ноосферы позволяет сделать ряд следующих выводов:

• В подавляющем большинстве случаев интенсивность миграции химических элементов, находящихся в различных формах, увеличилась с началом формирования ноосферы.

• Интенсивное увеличение миграции химических элементов и их соединений пока не охватывает всю поверхность Земли, а идет мозаично.

• Интенсивность миграции в ряде ландшафтов (сельскохозяйственные, селитебные) для элементов, образующих определенные формы нахождения (газовые смеси, коллоиды), изменчива как в течение года, так и на протяжении нескольких лет.

• Наибольшие изменения интенсивности миграции химических элементов отмечаются при их миграции в виде аэрозолей в районах крупных селитебных и промышленных ландшафтов. Увеличение интенсивности в этих случаях произошло, по сравнению с фоновой, существующей в настоящее время, в сотни и тысячи раз, а по сравнению с миграцией над Южным полюсом в п • 10^{e} раз.

• Краткосрочные изменения интенсивности техногенной миграции химических элементов могут существенно превышать итоговые, но это явление характерно и для природной миграции, например при извержении вулканов.

• Резко возросла интенсивность миграции химических элементов, образующих техногенные соединения, и социальной миграции.

8.4. Появление новых геохимических барьеров

8.4.1. Общие положения

Как видно из данных, приведенных в гл. 6, техногенные геохимические барьеры всех четырех классов (физико-химические, биогеохимические, механические и социальные) появились в биосфере еще до формирования ноосферы. Некоторые из них (в первую очередь испарительный) оказывали не только локальное, но и региональное влияние на течение в зоне гипергенеза многих геохимических процессов. Существуют предположения, что отдельные древние очаги цивилизации погибли вследствие засоления, связанного с орошением земель сельскохозяйственных ландшафтов (испарительный барьер). Учитывая большое влияние геохимических барьеров на развитие процессов миграции элементов в биосфере, кратко рассмотрим появление в ее пределах техногенных барьеров в начальный период формирования ноосферы.

8.4.2. Физико-химические барьеры

Сероводородные барьеры, как правило, образуются в устьях рек при условии расположения в приустьевой части населенных пунктов, являющихся источниками органических веществ (см. 6.2.1) и металлов. Такими барьерами во многом контролируется поступление в моря целого ряда металлов (Cr, Mo, U, Se и др.), мигрирующих в растворенном состоянии в моря с континентов. Другим примером образования техногенных сероводородных барьеров может служить восстановление в соляных озерах (лагунах) уже использованных «лечебных грязей».

Среди *кислородных* техногенных барьеров на одном из первых мест по площади развития стоят барьеры, образующиеся при осушении болот. В этот период глеевая обстановка, характерная для болот, сменяется кислородной. И хотя продолжительность существования таких барьеров мала (даже в истории развития человечества), эколого-геохимические последствия перехода на больших территориях от глеевой к кислородной обстановке чрезвычайно велики. Не все из них еще изучены, однако изменение интенсивности водной миграции Fe, Mn, Co на больших площадях осушаемых болот фиксируется довольно четко.

Еще один техногенный кислородный барьер (хотя и с локальной зоной воздействия, но развитый во многих горно-рудных районах) формируется в зоне отлива глеевых шахтных (рудничных) вод. В этих случаях идет (пока в миниатюре) процесс, аналогичный формированию природных «железных шляп» (см. 6.2.2). Рассматриваемый кислородный барьер постепенно становится комплексным, так как происходит наложение сорбционного (в основном коллоидами $Fe[OH]_3$), а часто и щелочного барьера. Таким образом, на относительно небольшом участке концентрируется целый ряд металлов, выносимых с шахтными водами.

Техногенные *щелочные* геохимические барьеры, как было сказано выше, формируются в районе слива кислых шахтных вод. На этом барьере происходит концентрация растворенных в сливаемых водах Mg, Ca, Sr, Ba, Ra, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, As, Hg и т.д. (см. барьер Д-6, табл. 2.8). Весьма интересный щелочной барьер был создан в Молдавии для защиты сельскохозяйственных и природных ландшафтов от воздействия чрезмерно высоких концентраций меди, используемой для обработки виноградников (см. 6.2.4).

Вероятно, наибольшее площадное развитие среди техногенных физико-химических барьеров получили *испарительные*. Они образуются практически везде, где в больших объемах проводится орошение земель и отмечается поднятие уровня грунтовых вод. По ориентировочным подсчетам, на площади около 100 млн га под влиянием засоления уже наступило резкое понижение урожайности выращиваемых сельскохозяйственных культур. Порядка 20—25 млн га плодороднейших ранее земель полностью потеряно для сельского хозяйства из-за развития на техногенных испарительных барьерах процессов засоления почв.

В пределах рассматриваемых барьеров, в верхних горизонтах почв идет накопление не только макрокомпонентов (ионы Ca, Mg, $C0_3$, $S0_4$, Cl), но и целого ряда таких металлов, как Mo, Zn, Sr, Cu, Pb, Ba. Часто отложение химических элементов на испарительных барьерах происходит одновременно с формированием вертикальной зональности (см. 6.2.6). Создавая (вольно или невольно) в результате орошения испарительные барьеры, следует особо учитывать вероятность влияния на засоление почвоподстилающих (или вообще имеющих контакт с фунтовыми водами) горных пород. Как указывалось, в Краснодарском крае орошение на участках развития майкопских глин (в их составе отмечается сода) привело к развитию особо неблагоприятного содового засоления почв.

На юге европейской части России засоление сельскохозяйственных ландшафтов привело к накоплению в верхнем 30-сантимстровом их горизонте таких элементов, как Zn, Ti, Cr, V, Mn, Cu, Ni, Pb. Абсолютное накопление этих металлов (при прочих равных условиях) колеблется от 4,2 до 43,2 т/км^2.

Техногенные испарительные барьеры, вызвавшие своеобразный процесс засоления на рисовых оросительных системах, описаны профессором В.Ф. Вальковым. Вторичное засоление почв объясняется восходящим движением минерализованных вод под воздействием разности напора вод в каналах высоких и низких рисовых чеков.

Особо неблагоприятная эколого-геохимическая ситуация возникает в районах испарительных барьеров (и ниже их по течению), формирующихся около промышленных отстойников, созданных в поймах рек (см. 6.2.6). Тяжелые металлы, осаждающиеся из их хорошо растворимых соединений в верхних горизонтах почв таких барьеров, при промывании, техногенном или природном (в сезоны дождей и таяния снегов), мигрируют дальше с водами рек. В Ростове-на-Дону в такие сезоны В.Н. Сериковым было отмечено существенное повышение содержания Zn в образующейся в чайниках накипи. В число основных источников металла в этом случае входили и техногенные испарительные геохимические барьеры у промышленных отстойников в пойме реки Северский Донец, описанные в гл. 6.

Получили дальнейшее, хотя и незначительное, развитие техногенные барьеры, связанные с непосредственным испарением растворов, находящихся на поверхности. Как и в древнейшие времена, такие барьеры используются для извлечения солей из морской воды.

Побочным результатом развития техногенеза является образование *сорбционных* барьеров в атмосферном воздухе над промышленными селитебными ландшафтами. Обилие выбрасываемых в атмосферу коллоидных частиц является основой формирования таких техногенных геохимических барьеров (см. 6.2.7).

8.4.3. Механические барьеры

Техногенные механические барьеры для веществ, *перемещающихся в водной среде,* создавались еще в древнем мире и в подавляющем большинстве представляли собой плотины. Такое же положение сохранилось и ко времени формирования ноосферы.

Только в современный период плотины создаются на крупных реках, причем в их нижнем и среднем течении. Помимо запланированных последствий такого строительства возникает целый ряд непредвиденных. В своей большей части они отрицательны. Рассмотрим здесь только те из них, которые связаны с механическим перемещением веществ.

Как было показано выше, большинство загрязняющих веществ, перемещающихся в водных потоках, уже на расстоянии 20 км ниже источника загрязнения мигрируют в виде взвеси и минеральных обломков. Практически все они (вместе с природной взвесью и минералами) осаждаются у плотин. Таким образом, плотины препятствуют механическому выносу многих соединений (и в первую очередь тяжелых металлов) в моря.

Связанный с рассматриваемым явлением размыв пляжей заставил создавать, с учетом морских течений, новые гидротехнические сооружения, способствующие восстановлению пляжей. Возможные отрицательные последствия концентрации на новых техногенных механических барьерах обломков минералов и пород пока не установлены.

Механическими барьерами для дисперсных частиц, *перемещающихся в нижних, приземных слоях атмосферы,* стали лесополосы. На этих барьерах отлагается большое количество пыли, выдуваемой из почв при обработке сельскохозяйственных ландшафтов. Таким образом, эти барьеры препятствуют увеличению дальности миграции в воздухе почвенных коллоидов и их выносу с континентов. Существенных отрицательных последствий, связанных с созданием таких механических барьеров, не установлено.

Как механический барьер в атмосфере над городами с развитой промышленностью могут рассматриваться сталкивающиеся разноименно заряженные и осаждающиеся аэрозоли. Как правило, в этих случаях происходит совмещение механического и сорбционного барьеров. Эти барьеры в сумме резко уменьшают дальность миграции загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу из городских и промышленных ландшафтов, и соответственно ухудшают эколого-геохимическую обстановку в селитебных ландшафтах — местах наибольшего скопления людей.

8.4.5. Биогеохимические барьеры

Как своеобразные техногенные биогеохимические барьеры могут рассматриваться сельскохозяйственные ландшафты, заня-

тые определенными культурами. Как правило, каждый вид сельскохозяйственных культур преимущественно накапливает определенные химические элементы в концентрациях, существенно отличающихся от кларкового содержания живого вещества. Вещества, сконцентрировавшиеся на техногенном биогеохимическом барьере (в отличие от других барьеров), сразу же перевозятся. Вывод биомассы производится не реже одного раза в год и представляет собой не природную, а техногенную социальную миграцию.

8.4.6. Социальные геохимические барьеры

Социальные геохимические барьеры не имеют природных аналогов. Их история практически соответствует истории человечества. Однако никогда зоны складирования и захоронения отходов не достигали таких размеров, как в начальный период формирования ноосферы. Среди основных геохимических особенностей рассматриваемых барьеров (см. гл. 6) следует особо выделить, во-первых, такую, как постоянное техногенное поступление на барьер химических элементов, составляющих соединения в самых различных формах нахождения (при обычном преобладании техногенной формы) и образующих в повышенных концентрациях ассоциации, не характерные, а иногда и запрещенные для конкретных природных условий.

Другой особенностью социальных барьеров является постоянная миграция химических элементов и их различных соединений по направлению от барьеров. Она определяется природными факторами миграции и происходит в основном с водными растворами и газовыми смесями.

Еще одна важнейшая особенность социальных геохимических барьеров — широкое развитие самых различных реакций взаимодействия между веществами, поступившими на барьер (см. 8.3.7). Прогноз течения этих реакций, а следовательно, количества и состава образующихся при этом веществ пока невозможен. Это связано с тем, что соотношение масс химических элементов, находящихся к тому же в различных формах существования, отличается как на каждом из барьеров, так и на одном барьере в разные промежутки времени.

8.4.7. Комплексные техногенные барьеры

Комплексные техногенные барьеры в настоящее время встречаются так же часто, как и природные. Как правило, формирование одного из барьеров влечет за собой формирование другого барьера. В этом случае при наложении одного барьера на другой контуры их могут не совпадать.

В качестве примера формирования комплексного техногенного геохимического барьера можно рассмотреть процесс возникновения отдельных барьеров у плотин, перегораживающих реки. Первоначально в приплотинной части формируется механический барьер. На нем происходит отложение обломков горных пород, минералов и тонкой взвеси. Последняя на пути миграции, и особенно при оседании, сорбирует из вод значительное количество определенных химических элементов (см. гл. 3). Так формируется сорбционный барьер. Водоросли, развивающиеся в образовавшемся у плотины водохранилище, постепенно сносятся течением к плотине, где их значительное количество позволяет говорить о крупных биогеохимических барьерах. Отмершие водоросли оседают на дно и, разлагаясь, поглощают свободной кислород из вод. В результате в донных осадках (а часто и в придонном слое воды) формируется глеевый барьер. При наличии в водах сульфат-иона вероятно образование сероводородного барьера.

Таким образом, через определенный промежуток времени в приплотинной части водохранилищ формируется комплексный барьер, состоящий из механического, сорбционного, биогеохимического и глеевого (или сероводородного).

8.5. Изменение дальности миграции

В последнее время часто говорится об увеличении дальности миграции химических элементов в период формирования ноосферы. Сначала кратко рассмотрим, как изменился этот показатель *при миграции веществ под воздействием природных факторов* за последние десятилетия. Как известно, миграция элементов в минеральной, коллоидной и сорбированной формах происходит в основном в атмосферном воздухе и гидросфере. Дальность *воздушного переноса* при формировании ноосферы практически не изменилась, о чем можно судить хотя бы по тому, что частицы пыли

обнаружены во льдах Антарктиды самого разного возраста. В •пом случае можно говорить лишь об изменившемся количестве переносимых в атмосфере веществ, а следовательно, об изменении интенсивности миграции, что уже было рассмотрено.

В гидросфере минералы, коллоиды и сорбированные ими вещества переносятся преимущественно реками и прибрежными морскими течениями. Строительство плотин, а также специальных гидротехнических сооружений в прибрежной части морей существенно уменьшило дальность миграции веществ, находящихся в укачанных формах.

Рассматривая миграцию элементов в биогенной форме, также следует отметить уменьшение ее дальности для животных организмов. Так, в результате техногенного вмешательства резко сокращается дальность миграции стай саранчи, крыс, змей. Создание незамерзающих водохранилищ привело к тому, что в их пределах стала зимовать часть перелетных птиц, а следовательно, уменьшилась дальность их миграции.

Нельзя говорить и об увеличении дальности миграции газов, так как газообразные органические соединения природного происхождения встречаются (как и пыль) во льдах Антарктиды.

Подводя итог изложенному, можно отметить, что в период формирования ноосферы дальность миграции химических элементов, происходящей под воздействием природных факторов, или осталась практически неизменной, или уменьшилась. Последнее в основном связано с формированием различных техногенных геохимических барьеров.

Иная картина наблюдается при рассмотрении *социальной миграции, происходящей под воздействием антропогенных факторов*. Дальность этой миграции во время формирования ноосферы резко возросла. Проиллюстрируем это отдельными примерами. Миграция элементов в минеральной и изоморфной формах (в основном это руда и нефть) раньше происходила на десятки и сотни километров, а теперь — на десятки тысяч километров морским, автомобильным и железнодорожным транспортом, а также по нефтепроводам. Точно так же увеличилась миграция газов (главным образом углеводородов, азота, кислорода, водорода) за счет транспортировки по газопроводам, на специальных морских судах, автомобилях, дирижаблях и т.д.

Увеличилась дальность миграции химических элементов, находящихся в биогенной форме. Обычными стали перевозки на тысячи километров не только зерна, овощей, фруктов, но и раз-

личных сельскохозяйственных животных. Следует особо отметить, что в биогенной форме перевозятся как заранее запланированные для этого организмы, так и не запланированные. Число последних постоянно возрастает. Мигрируют они как бы попутно, и представлены необычайно широко — начиная от вирусов и кончая насекомыми и моллюсками. Как правило, попадая в новые ландшафтно-геохимические условия, эти организмы вызывают крайне нежелательные последствия в развитии других организмов (включая человека), обычных для этих ландшафтно-геохимических условий. Достаточно вспомнить различные эпидемии, развитие филоксеры на виноградниках, нашествие колорадского жука и т.д.

Резко возросла в начальный период формирования ноосферы дальность миграции химических элементов, образующих техногенные соединения. Следствием этой миграции очень часто является загрязнение окружающей среды на громадных территориях, охватывающих техногенные, биогенные и абиогенные ландшафты. Можно предполагать, что в дальнейшем (в результате приближения предприятий-производителей к потребителям) дальность такой миграции начнет уменьшаться по сравнению с наблюдаемой сейчас.

Таким образом, дальность социальной миграции химических элементов, не имеющая природных аналогов, в начальный период формирования ноосферы резко возросла.

8.6. Техногенные геохимические аномалии

Как и природные, техногенные геохимические аномалии образуются на участках с резко изменяющимися ландшафтно-геохимическими условиями и интенсивностью миграции химических элементов (их соединений), т.е. на различных геохимических барьерах. Но в отличие от природных, техногенные аномалии могут образовываться не только на природных, но и на техногенных геохимических барьерах. На природных барьерах техногенные аномалии образуются за счет поступления веществ, вызванного антропогенной деятельностью. На техногенных барьерах они образуются в результате накопления любых веществ (природного и техногенного происхождения), резко изменяющих интенсивность миграции в пределах барьеров.

Как было показано выше, в период формирования ноосферы наиболее резкое изменение интенсивности миграции элементов, перемещающихся в форме газовых смесей, аэрозолей, коллоидов и минералов в водной среде, происходит вблизи ландшафтов населенных пунктов и промышленных предприятий. Именно здесь формируется большинство крупных техногенных геохимических аномалий.

Размеры аномалий (даже только тех, которые нами относятся к крупным) могут колебаться в довольно больших пределах — от нескольких километров до 100 км. В зависимости от особенностей формирования они могут быть в плане изометричными, иметь форму вытянутого эллипса, неправильную форму или же форму вытянутых лент. В целом их морфология определяется различными положениями в пространстве потоков, в которых мигрируют элементы, концентрирующиеся на барьерах, и самих барьеров.

Крупные техногенные геохимические аномалии могут образовываться в почвах (литохимические аномалии), растительных и животных организмах (биогеохимические аномалии), атмосфере (атмохимические аномалии газов и аэрозолей), подземных (гидрогеохимические аномалии) и поверхностных (гидрохимические аномалии) водах. Рассматриваемые аномалии образуются как в постоянных, так и во временных водных потоках. Их часто называют техногенными геохимическими потоками.

В начальный период формирования ноосферы крупные техногенные аномалии образуются значительным (как правило, больше десяти) числом химических элементов. При этом контуры аномалий, образуемых отдельными элементами, часто не совпадают. Контрастности аномалий каждого элемента могут быть резко различными.

Элементный состав крупных техногенных геохимических аномалий на первый взгляд может показаться весьма различным. Часто это связано с тем, что многими исследователями рассматриваются только приоритетные загрязнители или в пробах определяется очень узкий круг элементов. Так как и с чисто геохимической и особенно с экологической точки зрения проблема элементного состава крупных техногенных геохимических аномалий чрезвычайно важна, рассмотрим эту проблему несколько подробнее.

Проведенные автором исследования и данные ряда специалистов, аналогичные рассмотренным в разд. 8.3, позволяют сделать предположение, что в результате резкого изменения интенсивности миграции на различных крупных геохимических барьерах

происходит в настоящее время концентрация практически одних и тех же элементов. Получается, что крупные техногенные геохимические аномалии, образующиеся в начальный период формирования ноосферы, имеют почти одинаковый состав. При этом составляющие их химические элементы могут находиться в различных формах. Для проверки этого предположения сначала были проведены специальные исследования на юге европейской части страны. Так, в районе Каменска-Шахтинского (Ростовская область) при работах в масштабе 1:500 000 были выявлены геохимические аномалии в почвах, поверхностных и подземных водах, растениях и донных отложениях рек. Особенности этих аномалий детально изучались более 10 лет. Их образование связано с деятельностью химического комбината и ТЭЦ.

Элементный состав всех аномалий схож: Pb, Zn, Cu, Mo, Co, Cr, Ba, Ni, V, Ga, Ti. Аномальные содержания первых двух элементов в почвах и донных отложениях часто в десятки и сотни раз выше фонового в Ростовской области, а остальных в 1,3—4 раза. В определенных растениях комплекс элементов, образующих аномалии, несколько меньше, но в сумме для них характерны те же элементы, что и для почв (Pb, Zn, Mo, Ni, V, Cr, Cu, Li).

Многолетние исследования проводились и на крупных аномалиях в районе Волгодонска. Их образование в основном связано с деятельностью завода атомного машиностроения, ТЭЦ и химзавода (профиль его отличен от завода в Каменске-Шахтинском). Аномалии в почвах образуют Pb, Zn, Cu, Mo, Ni, V, Ba, Mn, Ti, Cr, Ge. В растениях этой аномалии резко повышенное содержание определенных элементов контролируется видовым составом, но в целом биохимические аномалии образуют все те же элементы: Pb, Zn, Mo, Cu, Mn, Ni, Ga, Ti, V.

Детальное изучение крупных литохимических и биогеохимических аномалий, связанных с деятельностью цементных заводов в Новороссийске, многочисленных предприятий Ростова-на-Дону и Краснодара показало, что комплекс составляющих эти аномалии элементов остался практически тем же, что в ранее рассмотренных примерах.

Для того чтобы проверить, не связано ли это с определенными климатическими условиями юга европейской части России, были проведены специальные исследования в резко отличающихся климатических условиях и использованы данные многочисленных исследователей, изучавших крупные техногенные геохимические аномалии. Полученные результаты таковы.

В почвах южно-таежных ландшафтов под влиянием выбросов в атмосферу крупного приборостроительного комбината образовались контрастные аномалии Pb, Cu, Ni, Bi, Ag. В условиях ландшафтов болот под воздействием предприятия совершенно другого профиля (комбинат «Азот») аномалию образовали Pb, Cu, Zn, Cr, Co, Mn, Ni, Cd. В пустынных ландшафтах Центрального Казахстана под воздействием медного комбината и в среднегорных ландшафтах Джунгарского Алатау в районе влияния свинцово-цинковой обогатительной фабрики образовались крупные техногенные аномалии с аналогичным элементным составом.

Наблюдаемая картина не только подтвердила предположение об аналогичном элементном составе крупных техногенных геохимических аномалий, образующихся в начальный период формирования ноосферы, но и позволила высказать новое предположение: ассоциации элементов, образующих эти аномалии, определяются в основном уровнем развития науки и техники в период загрязнения.

Для подтверждения этого положения необходимо было провести дополнительные исследования, так как во всех приведенных примерах рассматривались результаты современного загрязнения. Аномалии, образовавшиеся при других уровнях развития науки и техники, крайне редки, а доказательства времени их образования часто спорны. Для подтверждения доказываемого положения были выбраны аномалии, связанные с древней отработкой месторождений, проводившейся с помощью каменных молотков (подтверждается их находками). В районе месторождения Саяк (Центральный Казахстан) древними людьми отрабатывались кварц-турмалиновые жилы с золотом, которое, скорее всего, на месте и выплавлялось (на отдельных участках сохранились следы древних плавок). Детальное геохимическое опробование не позволило выделить около них никаких аномалий, кроме висмутовой, связанной с этой формацией. Такое же отсутствие аномалий в почвах в районе древних карьеров отмечено на месторождениях Нейдорф и Сарнакой (Южный Казахстан). Каменными молотками, вероятно, трудно было загрязнить территории у практически монометалльных месторождений (а именно такие были выбраны в приводимых примерах).

Для сравнения были рассмотрены районы современной отработки различных рудных (полиметаллических, медно-колчеданных, золоторудных и оловорудных, в их числе практически монометалльных рассыпных), а также нерудных (мергеля, нефти, га-

за) месторождений. Везде в почвах наблюдались крупные техно-генные геохимические аномалии Pb, Cu, Zn, Mo, Ba, Co, Mn, Fo, т.е. ассоциации химических элементов, характерные для всех образованных в наше время техногенных аномалий. Рассмотренные аномалии отличались различными приоритетными загрязняющими веществами и контрастностью содержания в них различных элементов.

Вероятно, следует отдельно говорить (после проведения специальных дополнительных исследований) о загрязнении территории у месторождений редких элементов и вблизи некоторых новых предприятий. По предварительным данным ассоциации химических элементов, образующих эти техногенные аномалии, расширены (в основном за счет редких и рассеянных элементов) по сравнению с рассмотренной. Скорее всего, в этих случаях мы подходим к новому уровню развития науки и техники. Ассоциация основных загрязняющих химических элементов следующего века будет отличной от существующей.

Все рассмотренное выше позволило автору сформулировать следующий эколого-геохимический закон*:

ассоциации химических элементов, образующих крупные техногенные геохимические аномалии, определяются в основном уровнем развитием науки и техники в период загрязнения.

Из рассмотренного закона можно отметить практические следствия.

• При проведении природоохранных мероприятий основные затраты должны быть связаны не с установлением состава загрязняющих элементов (как это еще делается в большинстве случаев), а с выявлением ландшафтно-геохимических особенностей загрязняемых территорий.

• Ассоциация химических элементов, образующих современные крупные техногенные аномалии, в ближайшее время несколько изменится. К этому нужно готовиться, чтобы избежать катастроф, способных оказать влияние на существование современных живых организмов, включая человека.

• Диплом на открытие № 53. Рег. № 4. Заявка на открытие № А-004, 04.01.93.

5

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Глава 9. ПРИНЦИПЫ КОМПЛЕКСНОЙ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

9.1. Общие сведения

При все возрастающей скорости перехода биосферы в ноосферу проблемы комплексной объективной оценки состояния окружающей среды и разработки научно обоснованного прогноза изменений, происходящих под воздействием антропогенной деятельности, становятся все более актуальными. Это в первую очередь обуславливается непрерывно возрастающим загрязнением биосферы, сопровождающим различные техногенные процессы. Без объективной комплексной оценки невозможно и принятие научно обоснованных решений, связанных с охраной окружающей среды и рациональным использованием природных ресурсов.

Следовательно, первым шагом для разумного ведения хозяйства, согласующегося с конкретными природными условиями и эколого-геохимической обстановкой, сложившейся под воздействием предыдущей антропогенной деятельности, должна быть оценка существующего в настоящее время состояния окружающей среды в интересующем нас районе.

В зависимости от размеров изучаемого района выбирается масштаб исследований для такой оценки. Сама эколого-геохимическая оценка состояния окружающей среды может отражать тенденцию развития рассматриваемых процессов, быть качественной и количественной. Весь опыт работ, проводимых в этом направлении, позволяет считать, что оценка состояния окружающей среды (а точнее биосферы) должна производиться поэтапно в определенной последовательности.

Исследования целесообразно начать с установления тенденции развития конкретных процессов и их качественной оценки, а затем перейти к количественной оценке. После количественной оценки общего состояния окружающей среды изучаемого региона можно приступать к эколого-геохимической оценке последствий конкретных природных и техногенных процессов. Эта работа также может быть подразделена на качественную (ее следует проводить раньше) и количественную — завершающую.

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 объем 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. Лаверова, 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 ($CaMg[C0_3]_2$), являющиеся преобладающими карбонатными породами в протерозое, постепенно вытеснились из формировавшихся осадочных пород известняками, состоящими преимущественно из кальцита ($CaC0_3$). 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.

9.2. 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 $CO_г$, 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.

9.3. Основные требования к эколого-геохимической оценке состояния биосферы

9.3.1. 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, легко доступными для восприятия, наглядными.

9.3.2. Специфические 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 (см. гл. 3). В связи с этим при любой оцен-

ке 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 фунтовых 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 *глобаль-*

ную 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 1:5 000 000.

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 проводить 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 начинать с *режимных 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 состояния заповедника, граничащего с рядом промышленных предприятий. Для удешевления 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, охваченная 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 работ, 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 особенности 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 исключается «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 различных 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, долж-

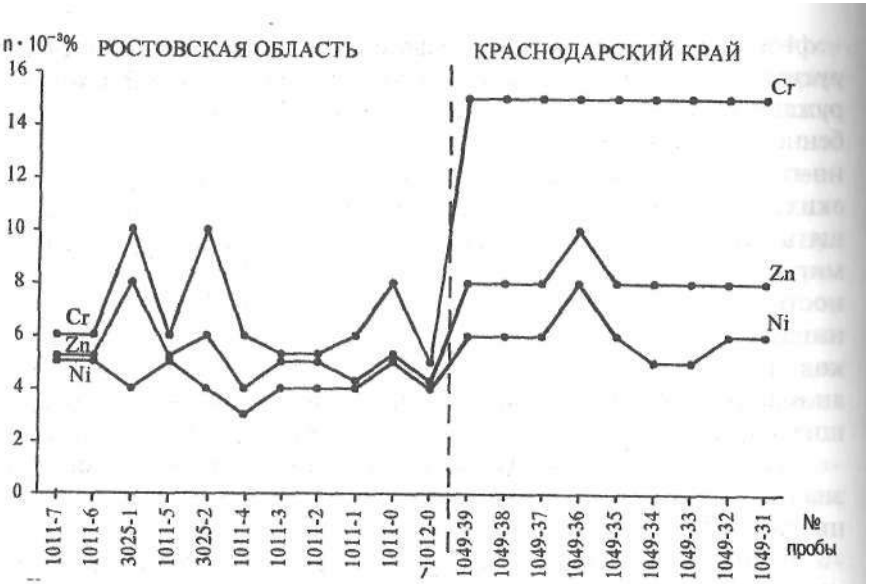


Рис. 9.1. Геохимические профили на административной границе сопряженных территорий (по В.А.Алексеенко, В.Н.Серикову)

ны, 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.

9.4. Качественная оценка состояния территории и его изменений

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 в 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-гео» химической основе.

1. Составив карту геохимических ландшафтов, следует перехо дить 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^{+}, СГ, $S0_4^{2}$I 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 1:500 000) показывает, что около 90% всей территории приходится на техногенные (в основном сельскохозяйственные) ландшафты. В них практически вся миграция

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) полученные 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 времени 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 разви-

тие одних ландшафтов за счет других.) В рассматриваемом случм качественная характеристика не позволяет конкретно оценить роль каждого из факторов в происшедшем изменении состояния окружающей среды, хотя может быть определено значение веду щих 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.

9.5. Количественная оценка состояния территорий и его изменений

9.5.1. Основные положения

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 геоло-

ической 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 (1:2 000 000 — 1:200 000) 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.

9.5.2. 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 зафязняющих 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). Конечно же, для каждого загрязняющего вещества они должны устанавливаться отдельно.

В соответствии с законом развития эколого-геохимических изменений в геохимическом ландшафте (см. гл. 7) изменение концентрации загрязняющих веществ в какой-либо части ландшаф-

та, несомненно, отразится на всех его частях. Однако, учитывая природную консервативность, этот процесс может затянуться пи годы. Загрязнение же такой части ландшафта, как, например, атмосферный воздух, может сказаться на состоянии (и даже существовании) живых организмов, включая человека, гораздо раньше. Именно такой пример рассматривался в разд. 9.3. 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 России. 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 (ПДВ) 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 миллионы лет, отдельных участков загрязняемой территории. В соответствии же с одним из законов развития антропогенных изменений в биосфере (см. гл. 7) 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 «средневыдуманную 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 в последующем сами могут стать источниками загрязнения атмосферы, воды, растительных и животных организмов. Именно поэтому особое внимание всегда уделяется вопросам, связанным с возможностью использования ПДК для почв.

С точки зрения экологической геохимии, да и экологии вообще, ПДК могут использоваться в практической деятельности лишь как предварительные показатели-ориентиры. 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 проживание 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 (например, силикоза) проявляются через десятилетия после нахождения в загрязненной зоне. Естественно, что большинство поздно сказывающихся последствий загрязнения не 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. Многие из таких веществ, а тем более их опасные концентрации даже не мог-

ли быть учтены при установлении ПДК, хотя эти вещества СЛ дует относить к наиболее опасным поллютантам.

Сказанное позволяет рассматривать ПДК только как один и часто не самый важный *показатель быстрого воздействия* на чело« веческий организм некоторых (и далеко не самых опасных) затри i нителей окружающей среды.

• Совершенно не ясны и практически не учтены в ПДК по» следствия 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. Однако, 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 растительных и животных (включая человека) организмов. К настоящему времени наиболее известными с этих позиций являются пары элементов Ca—Sr, Ba; S—Se (см. 6.4.8). Так, уровская 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* і *рсдним) 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 неопходимо учесть в ПДК, иначе возможны большие ошибки, приводящие к ненужным затратам и заболеваниям людей.

Автором (1969) было установлено, что потребление многих мекиию организмами контролируется особенностями биогеохимической связи между химическими элементами в организмах. Очень четко эти закономерности были выявлены в растениях для РЬ, Си и Мо; 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 ($NaAlSi_2O_e$) — практически недоступен. Подобных примеров можно привести очень много.

Учесть в ПДК все формы, а тем более конкретные виды, в которых находятся элементы, практически невозможно. Кроме то-

го, 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, растительных 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 Cr 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 ольхово-березовые леса, а над вмещающими их породами — хвойные, над кимберлитами в Сибири произрастают лиственничные и ольховники на фоне лишайниковых редколесий (А.Н. Лукачева, 1960). Подобных примеров можно привести очень много.

А теперь рассмотрим примеры ПДК двух упомянутых выше элементов в почвах — Co и Cr. Для Co она равна 0,005%, для Cr — 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: со-

омютственно 0,00001 и 0,0011%, и картина резко изменится. Содержание в почвообразующих породах Со в данном случае в 500 раз меньше предельно допустимой, а Сг — почти в 10 раз.

Вряд ли нормально будут развиваться организмы, если в почнеиных горизонтах А и В содержание Со 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 образоианий выбрать для всех участков биосферы или даже для такой большой страны, как Россия, 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 (см. разд. 2.4).

Резко пониженные содержания элементов также вызывают различные болезни живых организмов, включая человека. Вспомним иод, фтор и ряд других элементов, недостаток которых уже учитывается в обыденной жизни (фторирование воды и зубной пасты, иодирование 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 (см. 4.5.3): 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 — минимальная 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 (см. разд. 3.10). 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 ПДКнет 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 крайне 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. Раньше или позже эта бомба взорвется.

9.5.3. Геохимические показатели оценки состояния окружающей среды и ее изменений

Выступая за ограничение использования в практической де- (цельности экологов ПДК, следует предложить вместо них новые, (кшее приемлемые показатели допустимых концентраций в конкретных природных условиях.

Такими нормирующими показателями для отдельных крупных pel ионов 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, но практически не подвергшихся техногенному воздействию. Это должно исключить влияние техногенеза на изменение величины природных фоновых концентраций. Определяя предполагаемый нормирующий показатель, можно объединять отдельные геохимичеекие ландшафты в группы.

При установлении местных фоновых содержаний исследованиям следует подвергать достаточно большие территории. Желательно, чтобы это была *биосферная структура в определении автора (1992). 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 анализов проб, отобранных из неучтенных, а потому и не исключенных из подсчетов геохимических, положительных и отрицательных аномалий как природного, так и техногенного генезиса.

Примером довольно крупной биосферной структуры может служить Южно-Русская, ограниченная с северо-запада Среднерусской и северо-востока Приволжской возвышенностями, с юга — Большим Кавказским хребтом, а с юго-запада и юго-востока такими областями накопления, как Азовское, Черное и Каспийское моря. Меньшей биосферной структурой является Причерноморская, территория которой ограничена Керченским проливом, Большим Кавказским хребтом, Бзыбским хребтом и Черным морем. Практически полностью обе структуры были изучены и систематически опробованы сотрудниками Новороссийского НИИ

геохимии биосферы. Весьма своеобразными биосферными структурами являются Уральские горы, Тибет, Северный Кавказ.

Так как утверждение местных показателей, нормирующих концентрации загрязняющих веществ, у нас в стране проводится с учетом административного деления, то первое их *предварительное определение можно делать для крупных областей, кра республик*.

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.

9.5.4. 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 (см. гл. 10). Все пробы анализируются в обязательном порядке на комплекс элементов, образующих ассоциации в формирующихся в настоящее время крупных техногенных геохимических аномалиях (см. разд. 8.6). 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 Старковыми содержаниями. Можно сравнивать местные фоновые содержания с существующими в настоящее время ПДК, едиными для всей страны, но в данном случае неизбежны 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. Отметим, что такие случаи крайне редки.

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 Мп (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 РЬ в почвах Сочинского района должна рассматриваться как серьезное предупреждение о последствиях, к которым может привести дальнейшее развитие в регионе автомобильного транспорта, являющегося дополнительным источником РЬ в окружающей среде. Примеров использования полученной количественной информации можно привести довольно много.

Следующая работа, которую надо выполнить при первичной количественной оценке состояния окружающей среды,— это оценка выявленных геохимических аномалий. Для первичной оценки этих аномалий автором предложен (1994, 1998) показатель абсолютного накопления (ПАН) химических элементов, *показывающий, какая масса того или иного химического элемента (его соединений) накопилась в результате определенных процессов (как природных, так и техногенных) на единице площади в концентрациях, превышающих региональное фоновое содержание.* Вместо фонового содержания (при отсутствии данных) можно брать клар-

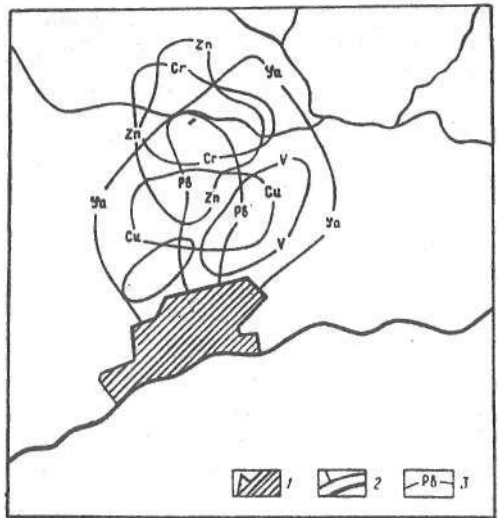


Рис. 9.2. Схема распространения техногенных литохимических аномалий (вблизи городов):
1 — город; 2— реки; 3 — геохимические аномалии

ковое или использовать величину ПДК. Показатель абсолютного накопления может рассчитываться (т/км^2) для почв, вод, атмосферного воздуха, растений. Рассмотрим пример определения ПАН.

В результате эколого-геохимических исследований в масштабе 1:500 000 вблизи одного из промышленных центров, расположенного в степной части России, в почвах были выявлены частично перекрывающие друг друга аномалии Pb, Zn, Ti, Cu, V, Ga и Сг (рис. 9.2). Общая площадь аномалий составляет, км^2: РЬ — 103, Zn - 200, Си - 105, Ga - 450, V - 75, Ti - 65, Сг - 150. Аномальные содержания прослеживаются в среднем на глубину 30 см. Расчеты показывают (табл. 9.1), что в пределах рассматриваемого аномального участка за счет техногенного загрязнения в почвах накопилось в основном в минеральной форме, т: Си — 840, РЬ - 824, Zn - 2080, Ti - 1040, Сг - 1200. Показатели абсолютного накопления равны, т/км^2: Ti — 16; Zn — 10,4; Pb, Cr, V, и Си - 8; а Ga - 4,8 (см. табл. 9.1).

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 (см. разд. 2.4). Он представляет собой частное

Таблица 9.1

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 в геохимических ландшафтах, n · 10^{-3}%	Техногенная составляющая элементов, 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

от деления показателя абсолютного накопления на фоновое (кларковое) содержание в почвах:

$$\text{ПОН} = \text{ПАН}/C_{\text{ф}}.$$

Для рассматриваемого примера вычисленные по этой формуле значения ПОН приведены в табл. 9.1.

Как видно из таблицы, по абсолютному накоплению металлов представляется следующий ряд: Ti -* Zn -* (Pb, Cr, V, Си) -* • 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: РЬ -* Си -» Zn -* Ga -+ V -*• Cr -+ Ti. Следовательно, в изучаемом районе нужно обращать наибольшее внимание на загрязнение окружающей среды РЬ, Си и Zn. На эти элементы и вызываемые ими заболевания необходимо обращать особое внимание и при медико-экологических исследованиях, и при разработке профилактических мероприятий.

9.6. 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 по-

пытки экономической оценки состояния окружающей среды относятся к оценке создания (или уничтожения) лесных ландшафтов Р.Н. Гордиенко, И.В. Туркевичем, Г. Паулюкявичюсом. «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 Прибалтики, и Ростовской области, и Краснодарского края, и многих других.

Во-первых, лесные ландшафты способствуют повышению водного стока в пределах 130—300 $м^3$ на каждые 100 $м^2$ занимаемой ими территории. В случае использования вод для орошения, зная площадь, занимаемую лесами, и стоимость 1 $м^3$ 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 руб.*

Повышение водного стока за счет лесов, окружающих водохранилища, приводит к их большему наполнению. 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 $м^3$ промышленных стоков и до 870 $м^3$ 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, учиты-

* Стоимость всех работ приводится в ценах 1989 г.

вия 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 противозионному 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 селеобразованию, 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.

-

Глава 10. ОСНОВЫ МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

10.1. Основные понятия и общие требования

10.1.1. 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: 1) региональные работы (масштаб 1:2000000-1:200000); 2) среднемасштабные работы (1:100000-1:50000); 3) крупномасштабные работы (1:25000-1:10000); 4) 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 (см. § 14, 17, 24).

§ 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 (составление 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, что должно учитываться при составлении проектов.

С повышением степени планируемой точности количественной оценки надо не только увеличивать число опробуемых рас-

тений, 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 целью 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 часть биосферы.

§ 10. При количественной оценке состояния окружающей среды на стадии региональных работ должны определяться (в соответствии с проектом) фоновые содержания всех рассматриваемых элементов (их соединений) в каждом выделенном геохимическом ландшафте. 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 (см. гл. 9).

Для того чтобы установить интенсивность загрязнения по отношению к фоновому содержанию, ранее существовавшему на ме-

сте образовавшихся аномалий, определяется показатель относительного накопления (см. гл. 2, 9). На этой же стадии исследований должны выделяться и отрицательные аномалии, т.е. участки с резко пониженным содержанием определяемых элементов (их соединений). В пределах отрицательных аномалий целесообразен подсчет количества выщелоченных, по сравнению с фоном для данного ландшафта, соединений. Затем так же, как и для положительных аномалий, но только со знаком «—» определяются ПАН и ПОН.

§ 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 непосредственное 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 крупномасштабных 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 крупномасштабных 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 и 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 рабо-

ты 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. Режимные наблюдения, осуществляемые на невыявленной аномалии, не только будут дезинформировать исследователей, но и принесут большой вред для всех работ, связанных с охраной окружающей среды в регионе.

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 являются 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, соответствующих 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.

10.1.2. Исследования в пределах аквальных ландшафтов

§ 26. Рассматриваемые исследования включают в себя работы на реках, озерах, водохранилищах, в прибрежных частях морских бассейнов. Предлагаемая методика может быть основой и для аналогичных исследований, проводимых в пределах морей.

§ 27. Эколого-геохимические исследования водных ландшафтов подразделяются так же, как и исследования на суше, на четыре основные стадии: 1) региональные работы (1:2000000-1:200000); 2) среднемасштабные работы (1:100000—1:50000); 3) крупномасштабные работы (1:25000—1:10000); 4) режимные наблюдения. При исследованиях следует постепенно переходить от одной стадии к другой, начиная со стадии региональных работ.

§ 28. Выполнение первых трех стадий можно разделить на шесть основных этапов, а четвертой — на пять, аналогичных этапам исследований на суше (см. § 3).

§ 29. Для наиболее эффективного проведения исследований необходим постепенный переход от стадии региональных работ к последующим. При этом в большинстве случаев целесообразно работы первых трех стадий проводить в летний период. Однако иногда их можно приурочивать к весенним или осенним паводкам. Это должно быть связано со специально поставленными задачами (например, с проверкой предположений об увеличении загрязнения водных ландшафтов в данный период) и обязательно оговорено в проекте. Зимние исследования (особенно со льда) целесообразно осуществлять в тех случаях, когда нет технической возможности отбора проб в другие периоды.

§ 30. Стадия режимных наблюдений предполагает проведение исследований круглый год. При этом пробы, отобранные в разные сезоны, нельзя объединять в одну выборку для совместной обработки.

§ 31. Оценивать состояние рек, различных водоемов и морей на ландшафтно-геохимической основе можно качественно и количественно.

§ 32. Комплексную объективную оценку (но только качественную) дают геохимические карты аквальных ландшафтов. При их составлении отбор проб воды и донных отложений необходим для разделения 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 должны быть отнесены ландшафты с глеевой и сероводородной (при наличии сульфат-иона) обстановкой в донных отложениях, возникающие у населенных пунктов с плохой очисткой сбрасываемых в речку вод.

§ 33. Для количественной оценки производится отбор проб по сети, соответствующей стадии проводимых эколого-геохимических исследований. Пробы необходимо отбирать из поверхностного и придонного 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 того, необходимо опробование основных водных (прибрежных) растительных и животных организмов. С увеличением детальности работ обычно необходимо увеличивать и число видов опробуемых организмов. Отбор в специальные биогеохимические пробы рыб, мигрирующих на большие расстояния, целесообразен при проведении региональных исследований.

§ 34. Основными задачами, стоящими перед региональными работами, являются: 1) общая комплексная оценка состояния водной среды на довольно большой территории; 2) установление способности рассматриваемой водной системы к самоочистке. Исследованиям на этой стадии подвергаются отдельные моря (их части), крупные озера и водохранилища, реки определенных краев и областей.

§ 35. 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 того, 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. По аналогии с подсчетами на суше в пределах аномалий, выявленных в аквальных ландшафтах, следует вычислять значения ПАН и ПОН.

Комплексную качественную оценку состояния водной среды дают карты аквальных геохимических ландшафтов.

§ 36. 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.

§ 37. 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.

§ 38. 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.

§ 39. 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.

§ 40. 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.

§ 41. 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 каждых последующих наблюдений 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.

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

§ 42. Эколого-геохимические исследования можно проектировать как в комплексе с другими видами работ, так и самостоятельно.

§ 43. Полевые работы по составлению ландшафтно-геохимических карт проводятся самостоятельным отрядом под руководством начальника отряда.

§ 44. В составе отряда, кроме геохимиков-ландшафтоведов, должны быть геологи-геохимики, ботаники, геоморфологи, почвоведы (специалисты этого профиля или сотрудники, прошедшие специальную подготовку), рабочие (лаборанты).

§ 45. 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.

§ 46. 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.

§ 47. 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.

Затраты на опытно-геохимические исследования (полевые и камеральные) необходимо определить прямым сметным расчетом.

§ 48. 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.

§ 49. Топографо-геодезические работы, проектируемые при крупномасштабном ландшафтно-геохимическом картировании и режим-

ных наблюдениях, должны включать в себя вынос на местности для многолетнего использования точек привязки мест отбора геохимических проб (профилей геохимического опробования).

При крупномасштабных и режимных наблюдениях на аквальных ландшафтах необходимо предусмотреть вынос опорных реперов на берегу.

§ 50. 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.

§ 51. Предусмотренные проектом анализы 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.

10.3. Составление схематических карт геохимических ландшафтов камеральным путем

§ 52. Составление схематических карт геохимических ландшафтов камеральным путем является необходимым предполевым эта-

пом 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.

10.3.1. Исследования на суше

§ 53. 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.

§ 54. При сборе данных, рассматриваемых в § 53, особое внимание необходимо уделять космическим снимкам, так как дальнейшее совершенствование космической съемки может привести к тому, что космические снимки могут стать основой камерального составления карт геохимических ландшафтов.

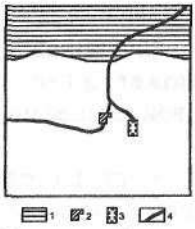
§ 55. Используя данные, перечисленные в § 53, составляется от пяти до восьми различных карт, соответствующих основным классификационным уровням для биогенных и техногенных ландшафтов суши (требования к содержанию карт рассматриваются ниже). Число карт в каждом конкретном случае определяется климатическими и собственно ландшафтно-геохимическими условиями изучаемой территории. Так, в южных районах не следует составлять карту, отражающую развитие многолетней мерзлоты, и т.п. Это отражено в примере, представленном на рис. 10.1 (карты 1—7). В обязательном порядке для всех ландшафтно-геохимических и климатических условий в биосфере составляются карты, соответствующие таксономическим уровням 1,2, 3, 7 и 8 (номера уровней указаны в том порядке, как они приведены в этом учебнике).

При составлении карт для средне- и крупномасштабных работ в первую очередь необходимо использовать карты геохимических ландшафтов предыдущих стадий.

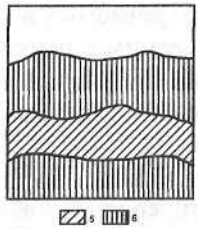
§ 56. Первым классификационным уровням соответствуют две карты. На карту 1 выносятся контуры всех техногенных ландшафтов, а на карту 2 — биогенных (рис. 10.1).

§ 57. На карте 1 определенными условными знаками изображаются сначала сельскохозяйственные (полеводческие, животноводческие и др.), лесотехнические, селитебные и дорожные ландшафты, карьеры, отвалы горных выработок, отдельные крупные промышленные предприятия, а также ландшафты искусственных водоемов. При этом выделяются только такие участки, площадь которых на карте составляет не менее 1 $см^2$. Исключением являются ландшафты населенных пунктов, крупных горных выработок, промышленных предприятий, дорог и лесополос, которые могут выноситься на карты внемасштабными знаками.

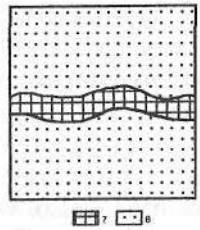
При средне- и крупномасштабном картировании больших участков в животноводческих районах выделяемые пастбища и сенокосы могут в разных частях района сильно отличаться друг от друга по составу произрастающих трав. В данных случаях целесообразно разделять их с учетом произрастающих растений, объединяемых в отдельные растительные комплексы и ассоциации.



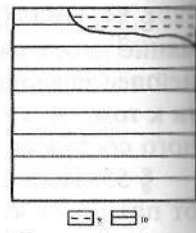
Карта 1. Техногенные ландшафты второго классификационного уровня:
1 — пашни; 2— населенные пункты; 3 — карьеры; 4 — автомобильные дороги



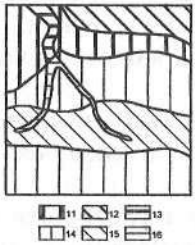
Карта 2. Природные ландшафты второго классификационного уровня:
5 — хвойные леса; 6 — лиственные леса



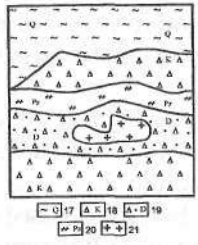
Карта 3. Ландшафты третьего классификационного уровня:
7, 8 — ландшафты различных классов водной миграции элементов в почвах (7 — H^+, Ca^{2+} — класса; 8 — Ca^{2+}, HCO_3 — класса)



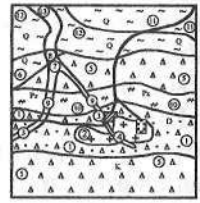
Карта 4. Ландшафты четвертого классификационного уровня:
9 — с воздушной эрозией почв; 10 — без существенного влияния воздушной миграции элементов



Карта 5. Ландшафты пятого классификационного уровня:
11–13 — равнинные области (11 — трансаккумулятивные, 12 — трансэлювиальные, 13 — транссупераквальные); 14, 15, 16 — области низкогорья и среднегорья (14 — трансаккумулятивные, 15 — трансэлювиальные, 16 — транссупераквальные)



Карта 6. Ландшафты шестого классификационного уровня с почвоподстилающими породами:
17 — четвертичные терригенные речных террас; 18 — меловые карбонатные; 19 — девонские карбонатно-терригенные; 20 — палеозойские метаморфические; 21 — гранитоидные



Карта 7. Итоговая карта геохимических ландшафтов. Условные обозначения см. карты 1–6

Рис. 10.1. Последовательность составления камеральным путем карт геохимических ландшафтов суши

Затем все ландшафты, выделенные на карте 1, разделяются на мелиорируемые (осушаемые и орошаемые) и ландшафты с природной системой водообмена, немелиорируемые.

§ 58. На карту 2 в соответствии с требованиями второго классификационного уровня выносятся биогенные ландшафты. Детель-

иость их изображения определяется масштабом работ. Сначала выделяются леса, степи, пустыни, тундры и верховые болота, примитивные пустыни. Затем производится их более дробное деление (например, леса на этом уровне разделяются на лиственные, смешанные и хвойные). При средне- и крупномасштабных исследованиях деление биогенных ландшафтов можно проводить до учета растительных комплексов и ассоциаций. Необходимо только, чтобы площадь отдельных ландшафтов на карте не была менее первых квадратных сантиметров.

§ 59. На карту 3 выносятся различные геохимические ландшафты, выделенные с учетом требований третьего классификационного уровня, т.е. с учетом природных обстановок, типоморфных элементов, ионов и их соединений в водных вытяжках из гумусового горизонта почв. Довольно часто в собранных о почвах материалах нет достаточного количества данных о типоморфных элементах. В связи с этим деление на классы производится несколько условно. Например, ландшафты широколиственных лесов с подзолистыми почвами над кварцитами относятся к классу кислых с окислительной обстановкой (H~ или $HC0_3$~), а ландшафты тундры над известняками — к гидрокарбонатному кальциевому ($HCO_э$~, Ca^{2+}) классу.

Карта с выделяемыми на третьем классификационном уровне геохимическими ландшафтами составляется одна для всего района, без учета ранее проведенного разделения ландшафтов на природные и техногенные (см. рис. 10.1, карта 3).

§ 60. На карту 4 выносятся все имеющиеся сведения о составе подземных и поверхностных вод, указанные в § 53. При характеристике поверхностных вод данные о крупных реках, озерах, водохранилищах, заливах морей на рассматриваемую карту не выносятся, так как они при их исследованиях должны выделяться отдельно в самостоятельные аквальные ландшафты.

§ 61. На карту 5 выносятся ландшафты, выделяемые в соответствии с классификационными требованиями пятого уровня, на котором ландшафты отличаются в зависимости от атмосферного переноса элементов. При этом выделяются участки с интенсивной воздушной эрозией почв, отложением переносимого по воздуху материала и участки, на которых современные почвы развиты на эоловых отложениях.

§ 62. Карта 6 должна отражать для северных регионов особенности развития многолетней мерзлоты. Обычно на ней выделяются территории с ее площадным распространением, а также с островным и прерывистым распределением.

§ 63. На карте 7 в первую очередь изображаются области вы» соко-, средне- и низкогорья, а также равнинные области. Кромг того, выделяются элювиальные, трансэлювиальные, трансаккуму лятивные и элювиально-аккумулятивные, транссупераквальные и супераквальные ландшафты (названия ландшафтов даны но М.А. Глазовской).

При средне- и крупномасштабных исследованиях геоморфологические особенности учитываются с большей степенью детальности. Так, при среднемасштабных работах на поймах крупных рек возможно выделение ландшафтов равнинной, гривистой и притеррасной поймы. При крупномасштабных работах на карте 7 возможно выделение даже элементарных ландшафтов.

§ 64. 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 трансэлювиальные ландшафты были объединены в одну элювиально-трансэлювиальную группу.

§ 65. Карта 8 создается на основе геологической карты и карты четвертичных отложений. На ней отражаются состав и возраст почвоподстилающих отложений.

Осадочные и метаморфические почвоподстилающие и почвообразующие толщи разделяются по составу на терригенные, карбонатно-терригенные и карбонатные, а магматические — на кислые, средние и основные. Отдельно выделяются коры выветривания, на которых развиваются почвы. Однако для четвертичных почвоподстилающих отложений такого деления, как правило, бывает недостаточно и их необходимо дополнительно разделять с учетом генетических особенностей. Дополнительное деление проводится только в тех случаях, когда генезис рассматриваемых четвертичных толщ определяет их основные геохимические особенности. Так, следует особо выделять морские, элювиальные, эоловые и элювиально-делювиальные отложения.

Возрастное деление почвоподстилающих толщ ведется для выделения разновозрастных толщ одинакового состава, отличающихся по геохимическим особенностям. Если к началу проведе-

ния эколого-геохимических исследований данных о геохимической характеристике пород нет, то при региональных работах деление почвоподстилающих толщ удобно вести на уровне периодов (систем), при среднемасштабных — ярусов, а при крупномасштабных — на уровне свит и подсвит.

Карта составляется вне зависимости от распространения природных и техногенных ландшафтов (см. рис. 10.1, карты 1—5).

§ 66. Путем последовательного переснятия на одну кальку со всех шести карт контуров выделенных на них ландшафтов составляется схематическая ландшафтно-геохимическая карта 7. При переснятии контуров на каждой стадии работ могут быть выделены мелкие ландшафты (размером менее 1 $см^2$), не подлежащие выделению при данном масштабе исследований. В этом случае их объединяют с другими, наиболее близкими по ландшафтно-геохимическим особенностям. Такое объединение следует проводить с последовательным учетом классификационных уровней, начиная с первого.

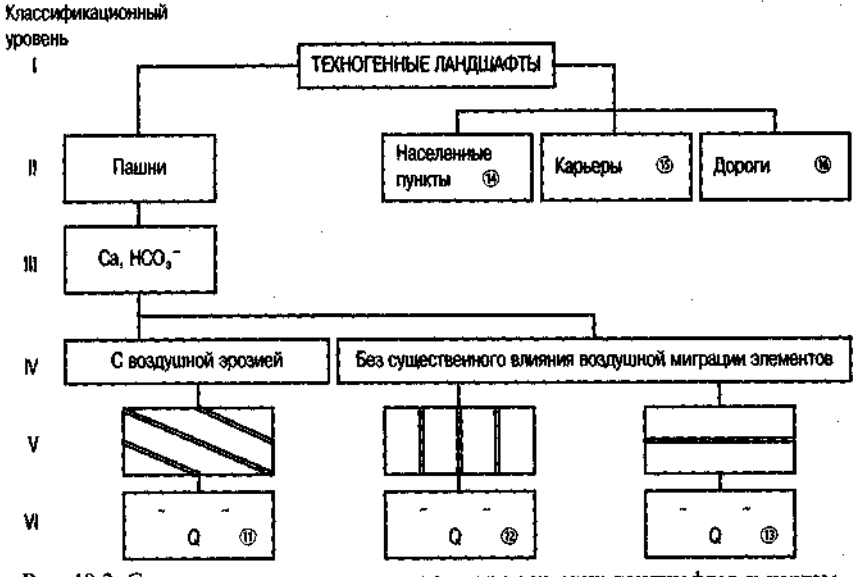


Рис. 10.2. Схема выделения техногенных геохимических ландшафтов к картам на рис. 10.1

К карте геохимических ландшафтов обязательно должны составляться схемы техногенных (рис. 10.2) и природных (рис. 10.3)

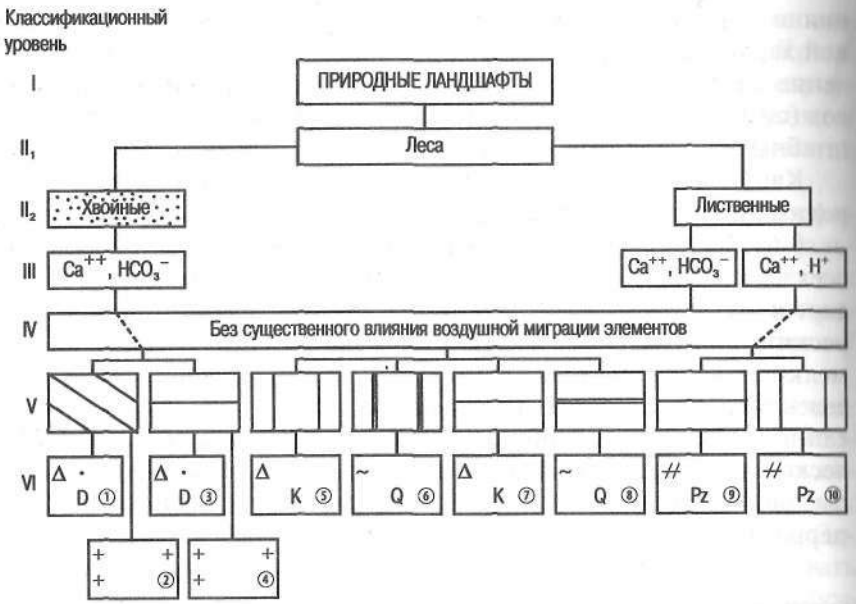


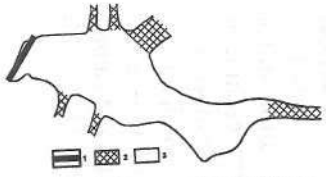
Рис. 10.3. Схема выделения природных геохимических ландшафтов к картам на рис. 10.1

геохимических ландшафтов. Составлением перечисленных карт и схем завершается второй этап работ.

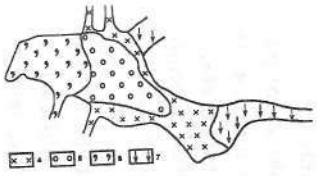
10.3.2. Исследования в пределах аквальных ландшафтов

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

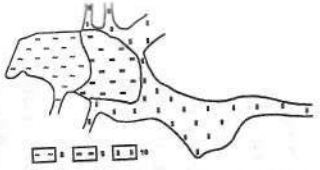
- сезонных и суточных колебаниях уровня вод;
- техногенном регулировании стока вод и связанном с ним изменении положения зеркала вод в разные периоды;
- интенсивности движения водного транспорта;
- масштабе работ, связанных с чисткой фарватеров;
- видовом составе, биомассе и продуктивности растительных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



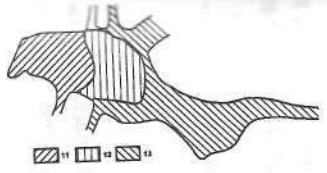
Карта 1. Ландшафты первого классификационного уровня:
1 — плотина; 2— реки (природные ландшафты); 3 — водохранилище (техногенные ландшафты)



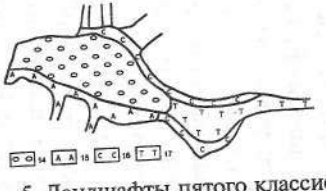
Карта 2. Ландшафты второго классификационного уровня:
4, 5, 6 — планктонные водоросли соответственно низко-, средне- и высокопродуктивные; 7— тростниковые формации



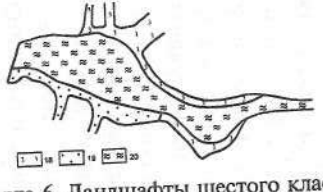
Карта 3. Ландшафты третьего классификационного уровня:
8, 9, 10 — окислительная обстановка соответственно: в воде и донных отложениях; в воде и восстановительная глеевая в илах; в верхних горизонтах воды и восстановительная глеевая в природных слоях воды и илах



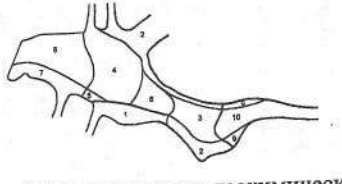
Карта 4. Ландшафты четвертого классификационного уровня:
11 — гидрокарбонатно-кальциево-натриевого глеевого класса в воде и донных отложениях; 12 — гидрокарбонатно-кальциевого глеевого класса в донных отложениях; 13 — гидрокарбонатно-кальциевого глеевого класса в воде и донных отложениях



Карта 5. Ландшафты пятого классификационного уровня:
14 — аккумулятивные; 15— абразионно-аккумулятивные; 16 — аквально-супераквальные; 17 — трансаккумулятивные



Карта 6. Ландшафты шестого классификационного уровня:
18, 19, 20 — донные отложения, представленные соответственно затопленными почвами, песками и пелитовыми илами



Карта 7. Итоговая карта геохимических ландшафтов водохранилища (номера ландшафтов на рис. 10.5)

Рис. 10.4. Последовательность составления камеральным путем карт аквальных геохимических ландшафтов (на примере водохранилища)

• окислительно-восстановительных условиях, существующих й летний период (при необходимости и в другие периоды) в воде Ц[1] донных отложениях;

• геоморфологических особенностях дна водоемов в районе исследований;

• химическом составе вод;

• составе донных отложений.

§ 68. Используя данные, перечисленные в § 67, составляют шесть различных карт, соответствующих основным классификационным уровням аквальных ландшафтов (рис. 10.4).

§ 69. Первому классификационному уровню соответствует карта 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.

§ 70. На карте 2 все ландшафты разделяются в зависимости от развития на отдельных участках определенных растительных сообществ, оказывающих влияние на миграцию элементов.

§ 71. 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.

§ 72. Карта 4 должна отражать положение ландшафтов с различными типоморфными элементами и ионами. 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. Например, возможны такие сочетания: 1) гидрокарбонатно-кальциевый класс водной миграции и в воде, и в донных отложениях; 2) кальциево-натриевый класс в воде и гидрокарбонатно-кальциевый в донных отложениях и т.д. Типоморфные элементы и ионы целесообразно выносить на карту: элементы в воде — без скобок, а в донных отложениях — в квадратных скобках. В приведенном выше примере формула первого ландшафта будет иметь такой вид: $HC0_3$~, Ca^{+2}; [$HC0_3$~, Ca^{+2}], а второго - Ca^{+2}, Na^{+}; [HCCV, Ca^{+2}].

§ 73. На карте 5 ландшафты разделяются в зависимости от изменения геоморфологических особенностей, влияющих на механическую миграцию элементов в водных ландшафтах.

Для рек на эту карту выносятся такие ландшафты, как трансмрозионные (зоны размыва берегов), трансаквальные (зоны преимущественного механического переноса) и трансаккумулятивные (зоны частичного отложения механически переносимого материала). Для водохранилищ (морей) целесообразно выделять абразионно-аккумулятивные ландшафты (вдоль крутых абразионных берегов), нейтральные (на пологих затопляемых берегах), трансаккумулятивные (зоны отложения твердого стока рек), аккумулятивные (глубоководные участки, характеризующиеся отложением илистого материала), аквально-супераквальные ландшафты (участки, периодически выходящие из-под уровня вод).

§ 74. На карте 6 ландшафты разделяются в зависимости от типа донных отложений.

§ 75. На кальке путем последовательного наложения всех шести карт составляется схематическая ландшафтно-геохимическая карта водных ландшафтов соответствующего масштаба (см. рис. 10.4, карта 7). При выделении на такой карте ландшафтов, занимающих площадь около 1 $см^2$ и менее, должно производиться их объединение с ландшафтами, наиболее близкими к ним по ландшафтно-геохимическим особенностям. Объединение производится с выполнением требований, изложенных в § 66 (рис. 10.5).

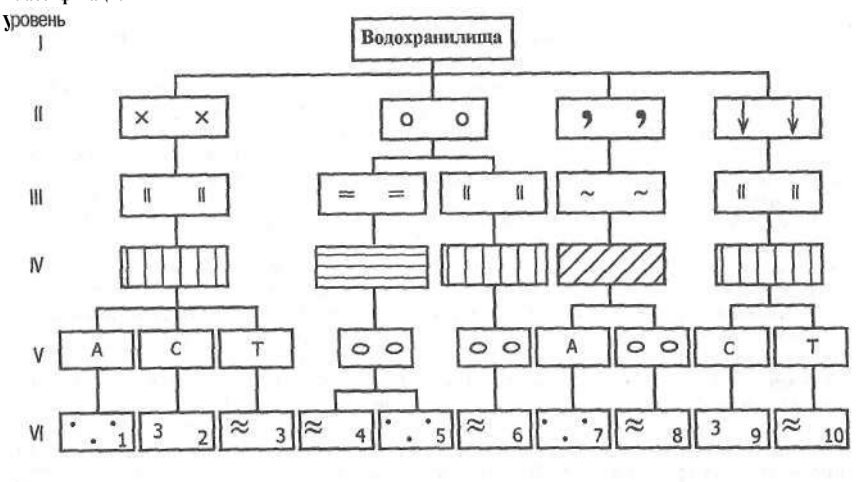


Рис. 10.5. Схема выделения аквальных геохимических ландшафтов на примере водохранилища (условные обозначения см. рис. 10.4)

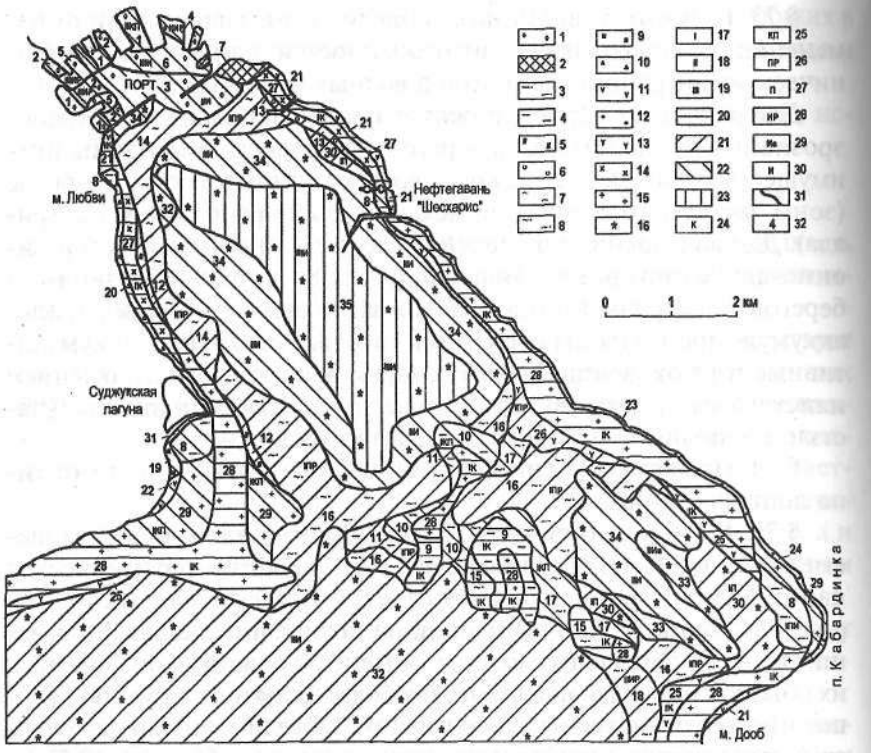


Рис. 10.6. Ландшафтно-геохимическая карта Цемесской бухты (по В.А.Алексеенко, В.Ф.Теюбовой):

ландшафты с учетом особенностей техногенной миграции: 1 — с проведением дноуглубительных работ, 2— с отсыпкой грунтов; *с учетом особенностей биогенной миграции:* ландшафты с ассоциациями высших цветковых растений *с биомассой до 100 г/м²;* 3 — Zostera; ландшафты с ассоциациями донных водорослей растений *с биомассой от 100 до 200 г/м².* 4 — Nereia filliformis + Zanardina prototypus, 5 — Nereia filliformis, 6 — Gracilaria dura, 7— Zanardina prototypus + Gracilaria verrucosa, 8 — Zanardina prototypus + Gracilaria verrucosa; с биомассой от *200 до 500 г/м²:* 9 — Enteromorfa intestinalis, 10 — Enteromorfa intestinalis + Ulva rigida − Ceranium rubrum, 11 — Ulva rigida − Ceranium rubrum, 12 — Cladophora laetevirens + Enteromorfa flexuosa; *с биомассой от 500 до 1500 г/м²:* 13 — Cystoseira barbata + Cystoseira crinita − Philophora nervosa − Codium vermilara, 14 — Cystoseira barbata + Ulva rigida; *с биомассой от 1500 до 3000 г/м²:* 15 — Cystoseira crinita + Cystoseira barbata − Cladostephus verticilatus − Carolina mediteranea, 16 — с преобладанием по биомассе планктонных сообществ; *ландшафты с окислительно-восстановительной обстановкой в воде и глеевой в грунтах:* 17 — кислородной и в воде, и в грунтах, 18 — кислородной в воде и глеевой в грунтах, 19 — кислородной в воде и сероводородной в грунтах; *ландшафты с типом рельефа:* 20 — абразионно-аккумулятивным, 21 — трансаквальным, 22 — трансаккумулятивным; *ландшафты с типом грунтов:* 24 — бенчем, 25 — галечно-песчаным, 26 — песчано-ракушечным, 27 — песчаным, 28 — алевритовых илов с ракушечником, 29 — алевритовых илов, 30 — алеврито-пелитовых илов; 31 — границы ландшафтов; 32 — номер ландшафта

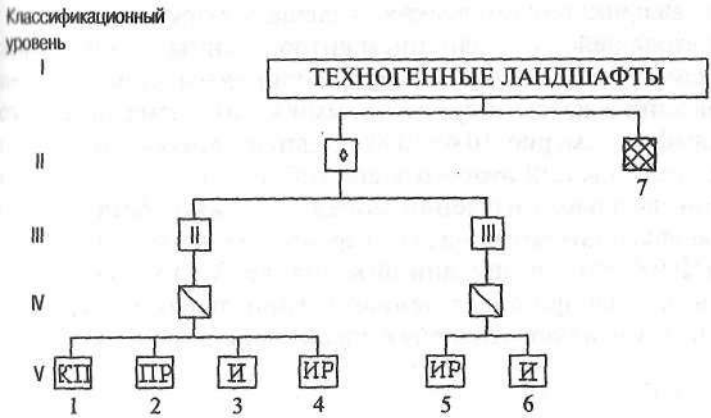


Рис. 10.7. Схема выделения техногенных геохимических ландшафтов Цемесской бухты (см. рис. 10.6)

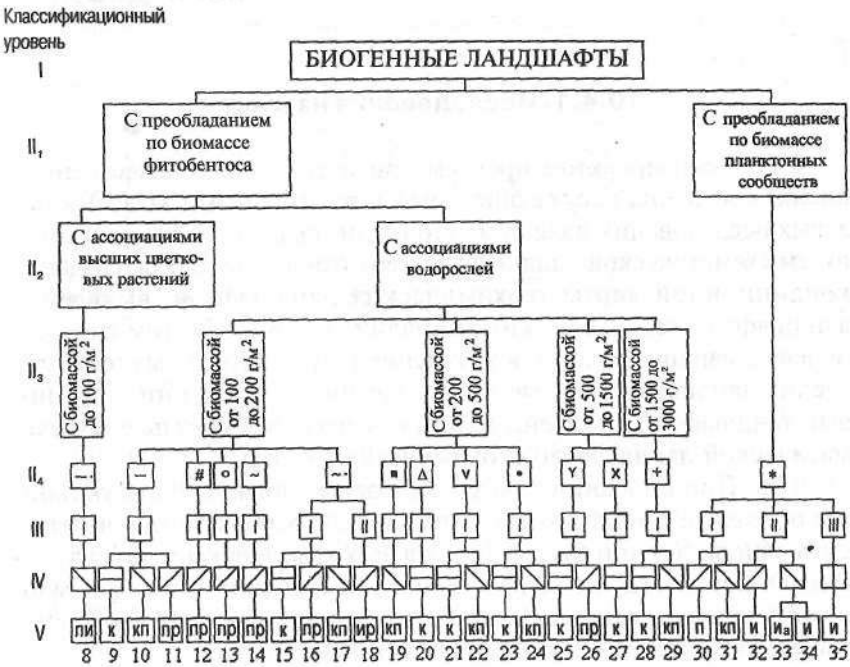


Рис. 10.8. Схема выделения биогенных геохимических ландшафтов Цемесской бухты (см. рис. 10.6)

Карты аквальных геохимических ландшафтов прибрежной части моря, находящейся под влиянием антропогенных процессов, вместе со схемами выделения ландшафтов приведены на рис. 10.6-10.8. Составленные карты с прилагаемыми к ним схемами выделения ландшафтов (см. рис. 10.4—10.8) представляет собой итог камеральных исследований второго этапа работ.

§ 76. При начальном изучении морей возможно составление обзорных ландшафтно-геохимических карт-схем более мелкого масштаба, чем 1:500 000, по описанной методике. Такими схемами можно пользоваться при определенных региональных исследованиях без дополнительного уточнения специальными полевыми работами.

10.4. Полевые эколого-геохимические исследования

10.4.1. Исследования на суше

§ 77. 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 (см. § 6). 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.

§ 78. 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 выявлении в ходе работ важных классификационных ландшафтно-геохимических особенностей детально описываются дополнительные точки наблюдения, располагающиеся между основными, выбранными в соответствии с масштабом работ.

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.

§ 79. Расстояние между точками обязательного наблюдения меняется в зависимости от масштаба эколого-геохимических работ. Опыт проведенных исследований позволяет рекомендовать расстояния между профилями и точками наблюдения на них, приведенные в табл. 10.1.

Таблица 10.1

Густота сети наблюдений при эколого-геохимических исследованиях различных масштабов

Масштаб работ	Расстояние, м		Масштаб работ	Расстояние, м	
	между профилями	между точками наблюдений		между профилями	между точками наблюдений
1:2000000	около 20000	около 2000	1:100000	1000	1000
1:1000000	15000–10000	1000–1500	1:50000	500	500
1:500000	10000–5000	5000	1:25000	250	250–50
1:200000	5000–2000	2000	1:10000	100	100–10

Сгущение сетки наблюдений проводится на участках с особо сложным ландшафтно-геохимическим строением, при наличии нескольких крупных и удаленных друг от друга загрязнителей, при различных способах поступления загрязняющих веществ от загрязнителя на изучаемую территорию и в других аналогичных случаях с особо сложными экологическими и ландшафтно-геохимическими условиями.

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.

§ 80. На стадии режимных наблюдений при работах, связанных с качественной оценкой состояния окружающей среды, произво-

дятся наблюдения за изменением границ между отдельными ланд шафтами и регистрируются появление новых и исчезновение п1 рых ландшафтов.

Для проведения указанных наблюдений необходимо иметь сеть инструментально привязанных реперов. В связи с этим в проекте в обязательном порядке следует учитывать проведение специальных топографо-геодезических работ и закрепление на гра ницах ландшафтов и геохимических барьеров точек на местное* ти для многолетнего наблюдения.

Рассматриваемые наблюдения осуществляются периодичен ки, а периоды при качественной оценке связаны с изменением вре мен года, а также выполнением определенных этапов техногенных процессов. К последним могут относиться этапы промышленного и гражданского строительства, ввод в действие очистных сооружений и т.п.

§ 81. На первых трех стадиях эколого-геохимических исследований для качественной оценки состояния окружающей среды необходим отбор требуемого количества проб из почв для определения щелочности среды и наличия в водных вытяжках типоморфных элементов, позволяющих установить класс геохимических ландшафтов и обосновать их разделение на третьем классификационном уровне.

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.

§ 82. Если проектом предусматривается количественная оценка состояния окружающей среды, то кроме всех работ, указанных в § 78—81, должны проводиться систематически литохимическое, биогеохимическое и гидрогеохимическое опробования на всех точках наблюдений. При этом этапы «Геохимическое опробование...» и «Обработка результатов анализов...» разделяются на две части.

§ 83. Работы первой части указанных этапов включают систематический отбор комплекса проб, предусмотренного проектом, на всех точках наблюдения. Дополнительное опробование должно проводиться при смене ландшафтно-геохимических условий и на различных геохимических барьерах (как на установленных при камеральном составлении карт, так и на выявляемых в полевьп условиях).

После анализов проб и их статистической обработки дается общая количественная характеристика состояния окружающей среды изучаемого района и выделяются отдельные аномалии и аномальные участки.

В случае нарушения последовательности стадийного проведения исследований (см. § 14,17) для каждого выделенного ландшафта определяются фоновые содержания элементов (их соединений) в почках, основных видах растений (их опробуемых частях), подземных и поверхностных водах. Установленные величины следует обязательно сравнить с содержанием в аналогичных, но достоверно не загрязненных ландшафтах, определенных в соседних районах при эколого-геохимических исследованиях предыдущих стадий работ. Это необходимо сделать для того, чтобы установить, не определяются ли на данном участке фоновые содержания в пределах невыявленной крупной геохимической аномалии. В последнем случае выделение аномалий должно проводиться по содержаниям, установленным для незагрязненного района.

Если данным работам предшествовала региональная количественная оценка, то по результатам работ первой части рассматриваемых этапов должны быть уточнены контуры всех ранее выявленных геохимических аномалий, а в их пределах выделены (в соответствующем масштабе) зоны максимальной, минимальной и максимальной совместной концентрации элементов. Выделение аномалий должно вестись по содержаниям, установленным на предыдущей (первой или второй) стадии ландшафтно-геохимических исследований.

§ 84. Работы по выполнению второй части этапов «Геохимическое опробование...» и «Обработка результатов анализов...» (см. § 3) при количественной оценке состояния окружающей среды предусматривают следующие исследования:

- оценку распределения элементов на незагрязненных участках по всем почвенным горизонтам;
- оценку распределения элементов по почвенным горизонтам на основных литохимических аномалиях;
- установление геохимических и морфологических особенностей выявленных аномалий;
- подсчет количества загрязняющих веществ в тоннах, накопившихся в пределах аномалий.

§ 85. Полевые работы по выполнению второй части рассматриваемых этапов (см. § 81—83) могут начинаться только после завершения работ первой части и выделения аномалий. Допустимо

начало их в следующем полевом сезоне. В обязательном порядке они должны включать следующие виды исследований:

• проведение контрольных маршрутов (с контрольным опробованием) на основных аномалиях по сгущенной сети;

• проходку шурфов (скважин) в пределах основных геохимических ландшафтов на участках с фоновым содержанием элементов (по 2-3 шурфа на каждый ландшафт);

• проходку шурфов (скважин) в пределах основных геохимических аномалий;

• опробование в шурфах (скважинах) всех почвенных горизонтов.

§ 86. Вторая часть этапа «Обработка результатов анализов...» состоит из статистического анализа результатов спектральных и химических анализов всех проб, отобранных при выполнении второй части полевых исследований.

§ 87. При крупномасштабных исследованиях точки наблюдения (опробования), горные выработки, буровые скважины и границы основных ландшафтов должны наноситься на карту по данным инструментальных привязок.

§ 88. На стадии режимных наблюдений при исследованиях, имеющих количественный характер, должно производиться периодическое опробование почв, растений и вод (опробоваться могут как поверхностные, так и подземные воды) в одних и тех же инструментально закрепленных точках.

Кроме опробования поверхности, на этой стадии работ необходимо проводить отбор почвенных проб из шурфов и скважин. Гидрохимическому опробованию должны подвергаться естественные источники, колодцы, скважины.

§ 89. Сеть отбора при режимных наблюдениях устанавливается в зависимости от задачи исследований и конкретных ландшафтно-геохимических условий. Обязательно должны опробоваться центральные и кривые части всех выделенных ландшафтов и аномалий, а также основные геохимические барьеры.

§ 90. Частота опробования зависит от конкретной задачи проектного задания и может определяться не только факторами, перечисленными в § 79, но и такими, как время дня, интенсивность и характер выпадающих атмосферных осадков, режим работ загрязняющих предприятий и др.

§ 91. Для всех стадий эколого-геохимических исследований этап «Обработка результатов анализов...» должен включать в себя статистическую обработку всех полученных данных и сравнительный

имализ 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.

10.4.2. Исследования в пределах аквальных ландшафтов

§ 92. Если проектом предусматривается только качественная оценка состояния окружающей среды, то полевые исследования проводятся в летний период для уточнения ландшафтно-геохимической карты, созданной камеральным путем, и выявления ландшафтно-геохимических аномалий.

§ 93. При качественной оценке этап «Геохимическое опробование и проведение анализов» включает в себя отбор и анализ относительно ограниченного числа проб воды и донных отложений для установления кислородного режима (кислородная, глеевая, сероводородная обстановки), окислительно-восстановительных и щелочно-кислотных условий, а также набора типоморфных элементов. Пробы должны распределяться равномерно по всей площади работ и отбираться по профилям. При оценке состояния рек в каждом из профилей должно быть взято не менее трех проб. Все основные геохимические ландшафты должны быть охарактеризованы не менее чем 30 пробами.

§ 94. Этап «Обработка результатов анализов» при качественной оценке состояния окружающей среды состоит из статистической обработки результатов анализов проб, указанных в § 93.

§ 95. 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.

§ 96. При качественной оценке состояния окружающей среды на стадии режимных наблюдений в каждом из четырех сезонных периодов должны осуществляться наблюдения за изменениями границ между отдельными ландшафтами. Также является обязательной регистрация появления новых и исчезновения старых ландшафтов.

§ 97. Для наблюдения за изменением границ ландшафтов часто бывает необходима сеть реперов, инструментально вынесен-

ных на берегах. В этих случаях в проекте следует предусмотрен, проведение специальных топографо-геодезических работ.

При исследованиях в пределах открытых морей и крупных водохранилищ в проектах необходимо запланировать инструментальную привязку основных точек наблюдения.

§ 98. Если проектом предусматривается количественная оценка состояния окружающей среды, то кроме исследований, перечисленных в § 93 и 94, должны проводиться систематическое опробование вод и донных отложений и анализ отобранных проб.

Сеть отбора проб (особенно при работах на крупных водоемах и морях) может меняться в зависимости от конкретных задач, для решения которых проводятся эколого-геохимические исследования. Обычно же можно придерживаться (для работ различного масштаба) расстояний между профилями и точками проб на них, указанных в § 79.

Обязательное сгущение сети пробоотбора должно осуществляться в пределах аномалий, выявленных на предыдущих стадиях исследований, на геохимических барьерах, в районах сброса в водные ландшафты вод из очистных сооружений.

§ 99. При отборе проб в реках и водохранилищах в меженный период обязательно должны исследоваться прибрежные участки, заливаемые во время паводка.

§ 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.

§ 103. Сеть отбора проб на стадии режимных наблюдений определяется конкретными задачами целевого проектного задания и ландшафтно-геохимической обстановкой. Обязательно должны опробоваться центральные и приконтактовые части всех выделенных на участке работ ландшафтов и аномалий, а также основные геохимические барьеры.

10.5. Отбор проб и оформление полевых материалов

10.5.1. Общие положения

§ 104. 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.

§ 105. Пробы необходимо отбирать в центральных частях выделяемых геохимических ландшафтов и в зонах их смены (часто такие зоны представляют собой геохимические барьеры).

§ 106. 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.

§ 107. 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.

По данным первичного (рядового) и контрольного опробований подсчитывают погрешность работ (см. § 175) и проверяют качество опробования.

Полевая документация пробоотбора ведется в стандартной полевой книжке (см. приложение 7) одновременно с отбором пробы и описанием ландшафтно-геохимических особенностей района по ходу маршрута. Все записи должны делаться черным карандашом в поле. Зарисовки на точках отбора проб и по маршруту между ними могут осуществляться цветными нехимическими карандашами.

§ 108. Ежедневно все пробы, отобранные в различных маршрутах, должны быть зарегистрированы в специальных журналах лито-, биогео- и гидрохимического опробований.

§ 109. До начала полевых работ нумеруются страницы полевых книжек и журналов опробования. В полевых книжках категорически запрещаются любые подчистки и стирания резинкой записей, заклеивание и вырывание страниц. Вычеркивание записей разрешается в виде исключений только одной тонкой чертой (так, чтобы запись оставалась читаемой) и должно обязательно сопровождаться подписью ответственного исполнителя работ.

§110. Все записи в полевой книжке должны систематически проверяться и подписываться в поле начальником отряда (старшим специалистом). Ими же должна контролироваться на местности в различных ландшафтно-геохимических условиях правильность отбора проб и документации. Записи, сопровождающие проведение контрольных маршрутов, ведутся в специальной или личной полевой книжке начальника отряда (старшего специалиста).

§ 111. В заполненной полевой книжке начальник отряда должен сделать на последней странице запись о количестве страниц и расписаться. Полевые книжки должны храниться вместе с остальными первичными материалами.

§ 112. Ежедневно в каждом отряде пройденные за этот день маршруты (включая контрольные) должны выноситься на сводную, единую для отряда карту фактического материала. На эту же карту выносятся все пройденные горные выработки и точки отбора проб. Точки контрольного отбора проб выделяются на карте особым знаком.

§ 113. Ежедневно в каждом отряде все маршруты выносятся на одну, единую для отряда ландшафтно-геохимическую карту, составленную камеральным путем до начала полевого сезона. При этом на ней проводится исправление границ между ландшафта-

ми, выносятся новые ландшафты, выявленные при полевых наблюдениях.

§ 114. После каждого маршрутного дня целесообразно также на отдельную карту выносить и все отмечаемые в различных маршрутах ботанические, почвенные, геоморфологические и геологические особенности, описанные в полевых книжках, но не выделяемые при данном масштабе работ как смена геохимических ландшафтов.

Эта карта может оказать очень большую помощь при установлении генезиса аномалий, уточнении положения зон загрязнения, выявлении источников загрязнения.

10.5.2. Литохимическое опробование

§ 115. Отбор литохимических проб проводится при эколого-геохимических исследованиях на суше (из почвенных горизонтов) и в пределах аквальных ландшафтов (из илов).

§ 116. Все пробы почв удобно отбирать в специальные матерчатые мешочки с завязками. Желательно на мешке заранее написать порядковый номер, который вносится при отборе пробы в полевую книжку. При этом не должно быть мешочков с одинаковым номером.

Возможно использование мешочков без порядковых номеров: в этом случае в каждую пробу должна вкладываться бумажная этикетка с соответствующим номером пробы, который обязательно вносится в полевую книжку.

§ 117. Отбор проб донных отложений может проводиться в мешочки, как это указано в предыдущем параграфе. В тех случаях, когда предусматривается анализ вод донных отложений, пробы помещаются в специальные водонепроницаемые пакеты с номерами, не смываемыми водой.

§ 118. При качественной оценке состояния окружающей среды литохимические пробы отбираются для проведения анализов, позволяющих установить щелочно-кислотные условия и класс водной миграции элементов. Отбираемые пробы должны равномерно характеризовать выделяемые ландшафты и объективно отражать распределение в них типоморфных элементов.

§ 119. При количественной оценке состояния окружающей среды литохимические пробы отбираются для установления закономерностей распределения элементов (их соединений) в выделяемых ландшафтах. Обычно в литохимических пробах в первую

очередь определяют содержание тяжелых металлов, токсичных соединений и ожидаемых приоритетных загрязняющих веществ.

§ 120. При исследовании почв пробы отбираются из верхнего гумусового горизонта с помощью геологического молотка или легкой двусторонней мотыги. Масса отбираемой пробы ориентировочно составляет около 200 г.

§ 121. В случае исследования шурфов отдельные пробы отбираются из каждого почвенного горизонта, а также из почвоподстилающих пород.

§ 122. Опробование шурфов должно обязательно сопровождаться их зарисовкой и документацией в специальном журнале. Из каждого почвенного горизонта и из почвоподстилающих пород отбирается по одной задирковой* или пунктирно-бороздовой пробе**.

§ 123. Если проектом предусмотрен отбор литохимических проб из скважин, то отбору проб должна предшествовать тщательная документация керна. Из каждого почвенного горизонта отбираются керновые*** (или пунктирные) пробы.

При необходимости перебуриваются значительные мощности почвоподстилающих коренных пород и рыхлых образований и отбираются также керновые или пунктирные пробы. Каждая разность коренных пород (рыхлых образований) должна характеризоваться отдельной пробой. При большой мощности слоя разных пород делается несколько проб на глубине до 1 м.

§ 124. Пробы почв должны быть высушены еще в полевых условиях. В процессе сушки глинистые пробы следует периодически разминать с целью избежания их ссыхания в трудноразминаемые комки.

§ 125. Во время просушивания из проб почв следует удалить корни растений и обломки горных пород размером более 0,5 см в диаметре. При этом следует обязательно следить, чтобы прилипающие к ним рыхлые образования остались в пробе.

* Задирковая проба отбирается путем отбойки (задирки) ровного слоя пород (почв) по всей их обнаженной части. Отбор задирковых проб целесообразен при малой мощности почвенных горизонтов.

** Пунктирно-бороздовая проба отбирается путем точечной отбойки восьмидесяти мелких кусочков (сколов) размером в поперечнике до 3–4 см. Кусочки отбираются на одинаковом расстоянии друг от друга и объединяются в одну пробу.

*** Керновая проба отбирается путем раскалывания керна по оси. В пробу берется 1/2, 1/4 или 1/8 часть материала. При плохом выходе керна может опробоваться шлам. При шнековом или вибрационном бурении материал для пробы следует брать с каждой зарубки, величина которой должна соответствовать опробуемому интервалу.

§ 126. Пробы, отобранные в горизонте почв «С», разделяются каждая на две части. В одну отделяются в различной степени выветренные обломки, в другую — рыхлые образования.

§ 127. Отбор литохимических проб из донных отложений (илов) ведется с помощью дночерпателей и специальных пробоотборников.

§ 128. Если нет специальных станций (типа «Наяда»), позволяющих определять значение pH в илах непосредственно в воде, то определение щелочности ведется сразу после подъема пробоотборника.

§ 129. Описание поднятого материала также ведется сразу же после подъема пробоотборника. Особое внимание обращается на возможное изменение окраски илов при их взаимодействии с кислородом атмосферы. Просушивать пробы донных отложений рекомендуется в соответствии с требованиями § 124—126.

10.5.3. Биогеохимическое опробование

§ 130. Если нет специального задания по изучению биогеохимических особенностей района работ, то биогеохимическому опробованию целесообразно подвергать наиболее распространенные в районе растения. Их число, как правило, не должно превышать пяти, а если есть возможность, то выбираются два—три повсеместно растущих в районе растения.

§ 131. На каждой точке опробуются все произрастающие (из числа выбранных) растения. Каждое растение составляет отдельную пробу. Отбор проб на аграрных ландшафтах следует проводить только по достижении опробуемыми культурами товарной зрелости.

§ 132. При исследовании травянистых растений (соотношение между отдельными частями которых всегда примерно одинаково) для пробы лучше брать целиком их надземную часть, исключая нижние (загрязненные минеральными частицами почв) листья и часть стебля.

§ 133. При исследовании многолетних кустарников и деревьев для пробы необходимо брать только одну и ту же часть растения (листья, прирост последнего года, многолетние побеги, кору). Для удобства у деревьев опробуются только нижние ярусы ветвей.

При детальных исследованиях, проводимых для получения количественной оценки состояния окружающей среды, пробу следует брать со всех частей растения. Это позволит оценить количество (в тоннах) различных элементов, находящихся в ланд-

шафтах в биогенной форме. Для первой (ориентировочной) количественной оценки, проводящейся при региональных исследованиях, опробовать можно только одну часть растений.

§ 134. Проводить биогеохимическое опробование целесообразно в течение времени, соответствующего определенной фенологической фазе развития растений. Если такой возможности нет, то площадь работ делится на участки, опробование которых займет время, соответствующее определенным фенофазам развития растений. Введение поправок на вегетационные колебания содержаний элементов нецелесообразно, так как представляет собой трудоемкую и малоточную работу.

§ 135. Если требуется зимнее опробование, его проводят после наступления устойчивых морозов и до начала весенних оттепелей.

§ 136. Биогеохимические пробы могут быть простыми (берется одно растение или одна, заранее определенная его часть) и составными. В последнем случае для пробы отбирается также только один вид растения или его определенная часть, но с площади до 60 $м^2$. Отбор составных проб целесообразен при эколого-геохимических исследованиях первых двух стадий.

§ 137. Масса биогеохимических проб обычно составляет 20—50 г сырого вещества зеленых растений. В случае отбора для пробы растений с большой зольностью указанную массу можно сократить до 10-15 г.

§ 138. Для отбора проб могут быть использованы ножи, садовые ножницы, сучкорезы. Листья с деревьев и кустарников удобнее всего отбирать руками в перчатках.

§ 139. Проводить контрольное опробование необходимо в ту же фенологическую фазу развития растения, в которую проводилось основное опробование. Если это невозможно (ко времени выделения аномалий стадия развития растения изменилась), контрольному опробованию подвергаются растения на аномальном и фоновом участках. Расчеты фоновых и аномальных значений в этом случае проводятся на фоновом участке.

§ 140. Опробование при изменившейся стадии развития растения должно составлять незначительную часть контрольного опробования.

§ 141. Запрещается проводить контрольное опробование при резко изменившихся метеорологических условиях.

§ 142. Все биогеохимические пробы должны быть высушены в полевых условиях. Во время дождей и на ночь они (так же, как и

литохимические пробы) должны убираться в специальное помещение (палатку). После просушивания пробы желательно измельчить и переложить из мешочков в специальные бумажные пакеты.

10.5.4. Гидрохимическое опробование

§ 143. Отбор водных проб при изучении аквальных ландшафтов проводится из рек, каналов, водохранилищ и других естественных и искусственных водоемов. Пробы отбираются с поверхности, а также из придонного и центрального слоев воды специальными пробоотборниками. Возможен пробоотбор с вертолетов с помощью специальных приспособлений.

В особых случаях, оговоренных в проекте, отбор проб проводится с интервалом, специально устанавливаемым для конкретных условий.

§ 144. В случае, если проектом предусмотрено гидрогеохимическое опробование при эколого-геохимических исследованиях на суше, пробы могут отбираться из рек, ручьев, болот, родников, отстойников, скважин и различных горных выработок.

Густота сети опробования меняется в зависимости от целевого задания, гидрогеологических и геоморфологических условий района работ и обязательно оговаривается в проекте для каждого конкретного района.

§ 145. Объем пробы зависит от определяемых компонентов и метода установления их концентрации.

§ 146. В отдельных случаях возможен отбор для отправления в лабораторию только концентратов или концентратов и проб воды на общий анализ.

§ 147. Пробы воды отбираются в стеклянные или пластмассовые емкости, специально подготовленные и закрытые пробками в лаборатории.

§ 148. Перед заполнением бутылки и пробки не менее двух раз ополаскиваются водой, отбираемой на анализ.

§ 149. В пробах, непосредственно на месте отбора, определяют величину pH. После этого в пробах, подвергаемых анализу на Cu, Zn, Pb, Ni, Co, U, Ra, проводят подкисление соляной кислотой (3 мл на 1 л воды), а в пробах, подвергаемых анализу на Hg и Ag,— серной кислотой (3 мл на 1 л воды). Кислота должна быть «спектрально чистой».

§ 150. Отбор гидрохимических проб обязательно должен сопровождаться записями в журнале опробования, нанесением на топо-

графическую карту пунктов отбора проб, составлением паспорта на пробу, который привязывается к горлышку бутылки (фляги).

§ 151. При отборе гидрохимических проб из источников проводятся следующие операции:

• устанавливается положение источника по отношению к орографическим и гидрографическим элементам;

• изучается характер водовмещающих пород;

• определяется тип источника и описывается характер выхода воды;

• измеряется дебит источника;

• определяются физические свойства воды;

• отбираются для спектрального анализа и описываются образцы отложений источника;

• при наличии каптажа осуществляется его описание и определяется возможность загрязнения им вод.

При опробовании поверхностных вод проводят:

• описание водоема (потока) и гидрогеологических условий участка;

• измерение расхода воды;

• определение физических свойств воды.

§ 152. Контрольное гидрохимическое опробование (особенно поверхностных вод) должно проводиться в то же время, что и рядовой (первый) отбор проб.

10.6. Подготовка проб к анализу

10.6.1. Литохимические пробы

§ 153. Перед началом обработки все пробы должны быть высушены до воздушно-сухого состояния на солнце или в сушильных шкафах. Обработка влажных проб запрещается.

§ 154. Обработка проб должна осуществляться в строгом соответствии с единой схемой обработки.

§ 155. При просеивании запрещается использовать сита с бронзовой, латунной или луженой сеткой. Просеивание следует проводить на чистые листы стекла, кровельного железа или алюминия.

§ 156. Растирание должно производиться в условиях, исключающих заражение проб ранее истиравшимся материалом, до «состояния пудры». При растирании вручную следует использовать агатовые ступки.

§ 157. Пробные мешочки после обработки проб тщательно очищаются от остатков почвы и пыли и передаются в отряд для последующего использования. По мере загрязнения, но не реже чем после пятиразового использования, мешочки необходимо стирать.

10.6.2. Биогеохимические пробы

§ 158. Высушенные и измельченные пробы подвергаются озолению, которое целесообразно проводить в лабораторных условиях в специальных электрических печах. Последние позволяют выдерживать определенный температурный режим, что резко увеличивает производительность работ при улучшении качества.

Оптимальные режимы озоления группы культурных растений, а также типичных растений степей и горных районов Европейской части России приведены в приложении 6. Соблюдение этих режимов позволяет примерно в три раза повысить скорость озоления.

§ 159. Озоление можно проводить в фарфоровых и металлических тиглях, предварительно установив, что данные тигли не вызывают загрязнения проб. Показателем полного озоления является появление равномерной окраски золы (от белой до пепельно-серой и коричневой) и отсутствие черных углей.

§ 160. Золу подвергают растиранию и отправляют в лабораторию на анализ. Учитывая большую гигроскопичность золы многих растений, а также повышенную «слипаемость» ее отдельных частичек, спектральный анализ золы биогеохимических проб «методом просыпки» в большинстве случаев невозможен.

10.6.3. Гидрогеохимические пробы

§ 161. В последние годы стали использоваться различные методы концентрации растворенных в воде компонентов, позволяющие уменьшить объемы транспортируемой воды. Наиболее распространенными являются методы соосаждения рудных элементов с гидроксидом алюминия и сульфидом кадмия, а также методы сорбции на активированном угле, ионно-обменных смолах и других сорбентах.

§ 162. Гидрогеохимические пробы, подготовленные для отправки в химическую лабораторию, следует хранить в прохладных местах, исключающих попадание прямых солнечных лучей. Сами пробы должны быть герметизированы.

10.7. Основные требования к аналитическим работам

§ 163. Определение содержания химических элементов в поч вах, водах и растениях, а также других показателей, характершу ющих состояние окружающей среды, может проводиться различными методами или совокупностью нескольких методов. Основные требования к этим методам следующие:

- достаточная точность (воспроизводимость и правильность);
- необходимая чувствительность анализа, позволяющая получить значимые цифры содержаний меньше фоновых;
- возможность определения элементов, находящихся в различных формах (минеральная, водные растворы и др.);
- максимальная комплексность проводимых определений;
- высокая производительность.

§ 164. В настоящее время наиболее распространены спектральный, атомно-адсорбционный и различные собственно химические методы определений.

§ 165. На стадии региональных работ (масштаб 1:500 000 — 1:200 000) в почвах, илах и золе растений целесообразно первоочередное определение спектральным анализом Be, B, P, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, Se, As, Sr, Zr, Nb, Mo, Ag, Sn, Sb, Ba, La, W, Hg, Pb, Bi, U.

В водах, водных вытяжках из почв и илов при региональных работах с целью определения класса водной миграции необходима проверка на наличие Al^{+3}, Fe^{+2}, Fe^{+3}, Ca^{+2}, Na^{+}, K^{+}, СГ, $HC0_3"$, $S<V^2$, $Si0_2$.

§ 166. На первой стадии эколого-геохимических исследований часто необходимо предусматривать специальные методы анализов проб, обычно химических. Выбор таких методов осуществляется с учетом специфики производства потенциальных загрязнителей и наиболее вероятного способа поступления в окружающую среду. Например, в районе действия химических заводов, производящих моющие средства, следует проводить анализы вод, позволяющие определить содержание поверхностно-активных веществ.

§ 167. На последующих стадиях эколого-геохимических исследований число элементов, определяемых спектральным методом в пробах, можно сократить до 15-20 за счет элементов, которые по данным предыдущих (более мелкомасштабных) работ не образуют

и районе аномалий и зон повышенной концентрации. Однако при пом обычно бывает необходимо увеличивать число специальных методов анализов для установления концентраций загрязняющих веществ, наиболее вероятных для изучаемого района.

§ 168. При работах, проводимых в пределах аномальных участков, перечень определяемых спектральным анализом элементов можно сократить до 10—15. Однако в данном случае снова требуется увеличить число специальных методов анализа. Они должны обеспечить установление формы нахождения и вида соединений, в которых имеются загрязняющие элементы, и, кроме того, определение концентрации загрязняющих веществ, не определяемых спектральным анализом.

§ 169. Результаты анализов следует выражать в конкретных цифрах содержаний определяемых компонентов. Учитывая размерность содержаний, принятую при геохимических исследованиях, концентрацию элементов в биогеохимических и литохимических пробах целесообразно выражать в г/т, а в гидрогеохимических — в мг/л или мкг/л.

§ 170. В соответствии с чувствительностью эмиссионного (рядового) спектрального анализа, достигнутого методом «просыпки» на спектрографе типа ДСФ-8, предел чувствительности должен быть не меньше следующих значений, %:

Mo, Ag . . . . . 10^{-5}
Pb, Си, Co, Bi, Sn, Cd, Ge, V, Ga, Be, Sc, Tl, Re . . . . . 10^{-4}
Cr, Ni, Sb, W, Li, Nb, Ti, Mn, As, B, Zr, Zn, Sr, Y . . . . . 10^{-3}
Ba, P, Ta, Te, Th, Hf, La, Ce . . . . . 10^{-2}

Предел обнаружения ртути должен быть не выше $1 \cdot 10^{-8}$% (атомная адсорбция).

§ 171. Для проверки качества лабораторных исследований необходимо проводить внутрилабораторный и внешний контроль. Внутрилабораторный контроль осуществляется путем повторного анализа проб, отправляемых под зашифрованными номерами. Количество таких контрольных проб должно составлять 3—5% их общего числа. Отправлять на внутрилабораторный анализ пробы удобнее всего с каждой партией рядовых проб. Внешний контроль проводится не в той лаборатории, где определялось содержание в рядовых пробах. Число проб, отсылаемых на внешний контроль, должно примерно равняться числу проб, подвергаемых внутрилабораторному анализу. Внешний контроль осуществляется 2—3 раза в год.

§ 172. Повторному анализу должны подвергаться пробы с фоновым содержанием, аномальным содержанием для одиночных

(изолированных) точек опробования, а также с содержанием, со» ответствующим геохимическим аномалиям, выявляемым по двум и девяти коррелирующимся пробам.

§ 173. Пробы, отобранные при контрольном опробовании, подвергаются анализу обязательно в основной лаборатории. Однако они могут использоваться для внутрилабораторного и внешнего контроля анализов.

§ 174. Вычисление погрешностей анализов и опробования ведется по одним и тем же формулам.

Погрешности геохимического опробования, а также спектрального анализа элементов обычно характеризуются логнормальным распределением. Для погрешностей химического анализа в водных вытяжках Al, Fe, Ca, Na, K и других элементов (см. § 165) характерно нормальное распределение, поэтому погрешности этого анализа определяются по тем же формулам, но не для логарифмов, а для самого содержания.

§ 175. Расчет погрешности ведется по следующим формулам. Систематическая погрешность

$$\Delta_{сист} = 1/n\sum_{i=1}^{n}(\lg C_{i1} - \lg C_{i2}) = 1/n\sum_{i=1}^{n}\lg(C_{i1}/C_{i2}),$$

где п — число пар контрольных проб; $C_п$ — результат рядового анализа пробы или первого отбора пробы; C_{i2} — результат контрольного анализа пробы или повторного отбора пробы.

Антилогарифм величины систематической погрешности будет представлять собой систематическое относительное расхождение значений самих концентраций ($S_{СНСТ}$). Оно показывает, во сколько раз первые результаты анализов систематически больше вторых.

Если значение $S_{СНСТ}$ не выходит за пределы 0,9—1,1, то систематической погрешностью анализа можно пренебречь.

Недопустимой величиной $A_{сист}$ следует считать трехкратные расхождения между результатами анализов рядовых и контрольных проб (или результатами анализа основного и повторного отборов проб).

Если $S_{СНСТ} < 0{,}9$ или $S_{СНСТ} > 1{,}1$, то $A_{сист}$ считается существенной. В этом случае ее алгебраически вычитают из всех значений $C_и$. По полученным данным определяется средняя случайная погрешность:

$$\Delta_{сл} = (1/\sqrt{2n})\sum_{i=1}^{n}(\lg C_{i1} - \lg C_{i2}) = (1/\sqrt{2n})\sum_{i=1}^{n}\lg(C_{max}/C_{min}).$$

Антилогарифм средней случайной погрешности $A_{сл}$ представ-
i лис г собой случайное среднее относительное отклонение самих концентраций ($S_{га}$). Оно показывает, во сколько раз получаемое значение содержания в среднем больше или меньше истинного.

Величина $S_{сл}$ по аналогии с поисковыми геохимическими исследованиями для биогеохимических проб и проб, отобранных из почв, не должна превышать 1,6. При большей погрешности результаты отбора проб следует считать браком.

При оценке результатов анализов, проводимых основной лабораторией, по величине средней случайной погрешности обычно устанавливаются следующие допуски:

• при анализе проб из почв 1,4 ± 1;

• при анатизе гидрохимических и биогеохимических проб ± 25% (отн.):

в интервале содержаний от 10 до 30% не хуже + 10% (отн.);

в интервале содержаний более 30% не хуже + 5% (отн.).

§ 176. После проведения контрольных анализов окончательным содержанием элементов, определяемых спектральным и атомно-адсорбционным методами анализов, следует считать среднее геометрическое содержание, получаемое из двух (рядового и контрольного) результатов.

Для более широко распространенных и определяемых химическими анализами в водных вытяжках из почв и в водах элементов Al, Fe, Ca, K, Na и др. за окончательное содержание следует брать среднее арифметическое из этих же двух результатов анализов.

10.8. Определение фоновых и аномальных содержаний

§ 177. Для количественной характеристики состояния окружающей среды результаты анализов проб подвергаются статистической обработке. При этом в первую очередь необходимо установить величину местного геохимического фона ($C_ф$) изучаемых элементов в почвах, водах, основных растениях (их частях) для каждого ландшафта. Определение $C_ф$ возможно после установления закона, по которому аппроксимируются значения распределения фонового содержания и его основных параметров, среднего значения и стандартного отклонения от среднего (см. § 4.3 и 4.4).

10.9. Отчетность

§ 178. Результаты эколого-геохимических исследований, проводимых для изучения состояния окружающей среды, могут быть изложены в самостоятельном отчете, а также представлены в виде отдельных глав в специальных отчетах, посвященных экологическому описанию конкретных регионов, воздействию предприятии или промышленных комплексов на окружающую среду и др.

§ 179. В отчете в обязательном порядке должны быть приведены принятые для изучаемого района схемы выделения геохимических ландшафтов и ландшафтно-геохимические карты с их описанием.

§ 180. В специальной главе необходимо указать принятые методы отбора, обработки и анализа проб. Целесообразно в табличной форме привести данные о пределах обнаружения отдельных элементов, о воспроизводимости и правильности использования методов анализа проб с указанием объема контрольных работ.

§ 181. Все точки рядового отбора проб, наблюдения при ландшафтно-геохимической съемке контрольного отбора проб выносятся на карты фактического материала. На этих же картах должны быть вынесены все пройденные горные и буровые выработки.

§ 182. В обязательном порядке в отчете должны быть приведены полные геохимические характеристики всех выделенных геохимических и межбарьерных ландшафтов. Они должны включать в себя данные о фоновом и аномальном содержании изучаемых элементов в почвах, основных видах произрастающих в районе растений, поверхностных и подземных водах, донных отложениях.

§ 183. Для каждого элемента должны быть составлены отдельные карты лито-, биогео- и гидрогеохимических аномалий. Кроме моноэлементных карт должны составляться полиэлементные карты аномалий с выделением аномальных участков.

§ 184. Целесообразным является построение лито- и биогеохимических карт фонового содержания отдельных элементов, составленных на ландшафтно-геохимической основе. На этих картах одним цветом закрашиваются геохимические ландшафты с близкими значениями фонового содержания. Градация содержания выбирается такой, чтобы аномальное содержание для девяти коррелирующихся проб попадало в следующий класс фонового содержания.

§ 185. В отчете должны приводиться данные о вероятных источниках загрязнения и способах образования техногенных геохимических аномалий.

По результатам детальных исследований должны быть разработаны рекомендации и мероприятия по предотвращению дальнейшего загрязнения и по наиболее рациональным способам устранения последствий уже происшедшего загрязнения окружающей среды.

Приложение 1

Максимальное содержание микроэлементов в подземных водах (по данным разных авторов)

Элемент	Максимальное содержание, г/л	pH	Минерализация воды, г/л	Тип подземных вод	Место определения
1	2	3	4	5	6
Ag	$2 \cdot 10^{-3}$	–	332	Горячие рассолы	Южная Калифорния (США)
As	0,4	2,5	254	Рудничные	Блявинское месторождение
Au	$5,5 \cdot 10^{-6}$	7,3–7,5	2,0	«	Гайское месторождение
B	4,68	9,1–9,4	428	Рапа солеродных бассейнов	Озеро Серлс (Калифорния, США)
Ba	5,5	–	–	Рассолы	Западная Виргиния (США)
Be	$4,3 \cdot 10^{-4}$	7,0–7,5	0,4–0,8	Углекислые	Чехия, Словакия
Br	10,18	–	586	Седиментационные	Ангаро-Ленский артезианский бассейн
Cd	$4,1 \cdot 10^{-2}$	<4,0	4,2	Рудничные	Шт. Монтана (США)
Ce	$41,8 \cdot 10^{-5}$	>9,4	0,51	Грунтовые	Ловозерский щелочной массив
Co	3,6	1,8	152	Рудничные	Норильское месторождение
Cr	$6 \cdot 10^{-4}$	6,8	0,22	Грунтовые	Кузнецкий Алатау
Cs	$2,9 \cdot 10^{-3}$	–	–	Гидротермы	Новая Зеландия
Cu	45,63	<3,0	117,3	Рудничные	Маунтин (Монтана, США)
F	15,0	11,7	60	«	Ловозерский щелочной массив
Ge	$1 \cdot 10^{-4}$	7,9	2,6	Углекислые	Центральный Кавказ
Hg	$2,2 \cdot 10^{-4}$	4,5	320	Воды выщелачивания галогенной толщи	Донбасс
I	0,462	–	27,6	Седиментационные	Копет-Даг
La	$26,3 \cdot 10^{-5}$	>9,4	0,63	Грунтовые	Ловозерский щелочной массив

Окончание прил. 1

1	2	3	4	5	6
Li	0,351	–	415	Рассолы	Калийные рудники (Германия)
Mn	1,69	<4,0	234	Рудничные	Центральный Туннель
Mo	$8 \cdot 10^{-3}$	7,5	1,5	«	Батыстау
Nb	$4 \cdot 10^{-4}$	11,8–12	55	«	Ловозерский щелочной массив
Ni	30	1,8	152	«	Норильское месторождение
Pb	0,1	–	332	Горячие рассолы	Южная Калифорния
Rb	$7,7 \cdot 10^{-3}$	–	13	Гидротермы	Новая Зеландия
Sb	0,9	8,8	–	«	«
Se	$3 \cdot 10^{-4}$	2,6	250	Рудничные	Гайское месторождение
Sn	$1,8 \cdot 10^{-2}$	–	–	«	Боливия
Sr	3,5	–	332	Рассолы	Шт. Пенсильвания (США)
Th	$2,2 \cdot 10^{-5}$	5,5	0,04	Грунтовые	Казахстан
Ti	0,015	0,5	–	Гидротермы	Камчатка
Tl	$2,22 \cdot 10^{-2}$	5,6	341,5	Рассолы	Канский бассейн
U	0,8	<2,0	2,0	Рудничные	СНГ
V	$9 \cdot 10^{-5}$	6,8	0,35	Грунтовые	Норильский район
W	0,75	9,1–9,4	428	Рапа солеродных бассейнов	Озеро Серлс (Калифорния, США)
Y	$16,3 \cdot 10^{-6}$	>9,4	0,63	Грунтовые	Ловозерский щелочной массив
Zn	12,07	2,8	278	Рудничные	Гайское месторождение
Zr	$1,5 \cdot 10^{-4}$	6,8	21,3	Углекислые	Кавказ

Приложение 2

Содержание и роль элементов в жизни растений (по данным Е.А. Бойченко, А.П. Виноградова, Д.П. Малюги, А.И. Перельмана, автора и др.)

Элемент	Кларк литосферы (Кл), %	Среднее содержание в золе растений (Ср), %	КБП = Ср/Кл	Максимальное содержание Са в золе		Роль элемента в жизни растения	Форма нахождения
				%	Растение, орган		
1	2	3	4	5	6	7	8
H	–	Незольный	–	–	–	Передатчик энергии, составная часть воды	Органические соединения, минеральная, растворы
Li	$3{,}2 \cdot 10^{-3}$	$1{,}1 \cdot 10^{-3}$	0,3	0,4	Стебли и листья табака	Ингибирует некоторые ферменты	Органические соединения
Na	2,5	2	0,8	31,0	Стебли и листья астры	Регулятор ионного баланса и pH клеток, активизирует ферменты	То же
K	2,5	3,0	1,2	49,7	Клубни картофеля	То же	«
Rb	$1{,}5 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	0,7	0,8	Хвоя кедра	Активизирует некоторые ферменты	«
Cs	$3{,}7 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	0,5	$0 \cdot 10$	Ветви ивы	Ингибирует ферменты	«
Fr	–	Не обн.	–	–	–	–	–
Cu	$4{,}7 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-2}$	4,2	3,0	Наземные части клевера	Катализирует работу ферментов окисления-восстановления	Органические соединения
Ag	$7 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-4}$	14,3	0,06	Ветви багульника	Не ясна	Не ясна
Au	$4{,}3 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-4}$	233	0,06	Наземные части хвоща	«	«

Продолжение прил. 2

1	2	3	4	5	6	7	8
Be	$3{,}8 \cdot 10^{-4}$	$2{,}1 \cdot 10^{-4}$	0,6	2,0	Зерна пшеницы	Ингибирует ферменты	Органические соединения
Mg	1,87	7,0	3,8	35,6	Древесина бука	Регулятор процессов передвижения веществ, активизирует деятельность ферментов, составная часть хлорофилла	То же, минеральная
Ca	2,96	3,0	1,0	32,0	То же	Регулирует ионный баланс и pH клеток, влияет на проницаемость протоплазмы, активизирует ферменты	«
Sr	$3{,}4 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-3}$	0,09	10,0	Наземные части клевера	Ингибирует некоторые ферменты	«
Ba	$6{,}5 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	0,2	5,0	Различные растения	Ингибирует ферменты, регулирует передвижение веществ	«
Ra	$1 \cdot 10^{-10}$	$2 \cdot 10^{-11}$	0,2	$3{,}16 \cdot 10^{-7}$	Ветви березы	Не ясна	Не ясна
Zn	$8{,}3 \cdot 10^{-3}$	$9{,}0 \cdot 10^{-2}$	10,8	21,3	Наземные части ярутки	Участвует в ферментативном переносе групп, гидролизе, окислении	Органические соединения
Cd	$1{,}3 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-6}$	0,1	0,01	Растения на полиметаллическом месторождении	Ингибирует некоторые ферменты	То же

1	2	3	4	5	6	7	8
Hg	$7{,}0 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-7}$	0,01	0,003	Некоторые водоросли	Ингибирует некоторые ферменты	Органические соединения
Sc	$1 \cdot 10^{-3}$	$9 \cdot 10^{-6}$	0,01	0,001	Веточки брусники	Не ясна	Не ясна
Y	$2{,}9 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-4}$	0,03	0,03	Мох	«	«
TR	$1{,}8 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	0,6	4,6	Орех гикори	Ингибирует ферменты	Органические соединения
Ac	–	–	–	–	–	Не ясна	Не ясна
B	$1{,}2 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-2}$	33,0	1,8	Наземные органы рододендрона	Влияет на фотосинтетическую активность растений, повышает гидрофильность	Органические соединения
Al	8,05	1,4	0,2	27,0	Плаун	Активизирует ферменты	То же
Ga	$1{,}9 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	2,6	0,005	Листья яблони	Не ясна	Не ясна
In	$2{,}5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-6}$	0,2	–	Некоторые растения	«	«
Tl	$1 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-7}$	0,005	0,001	Мох кукушкин лен	«	«
Ti	0,45	0,1	0,2	3,7	Мята	«	«
Zr	$1{,}7 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-4}$	0,03	0,02	Кора сосны	«	«
Hf	$1 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-7}$	0,005	(?)	Некоторые растения	«	«
Th	$1{,}3 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-5}$	0,04	0,1	Ветви и листья осины	«	«
C	$2{,}3 \cdot 10^{-3}$	Незольный	–	–	–	Накопитель энергии	Органические соединения, минеральная

1	2	3	4	5	6	7	8
Cr	$1{,}1 \cdot 10^{-4}$	$2{,}5 \cdot 10^{-2}$	2,0	0,2	Ковыль	Активизирует некоторые ферменты	Органические соединения
Mo	$1{,}1 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-3}$	18,2	0,2	Ветви березы	Катализирует ферменты окисления-восстановления	То же
W	$1{,}3 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-7}$	0,004	0,1	Растения на вольфрамовом месторождении	Не ясна	Не ясна
U	$2{,}5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-5}$	0,2	0,7	Корни Sarcolatus Vermiculatus	«	«
O	47	Незольный	–	–	–	Передатчик энергии	Органические соединения, минеральная
S	$4{,}7 \cdot 10^{-2}$	5	106	6,2	Зеленчук желтый	Накопитель энергии	Органические соединения
Se	$5 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-5}$	10	1,5	Астрагал	Связан обратной зависимостью с серой в растениях	Не ясна
Po	–	–	Не обн.	–	–	–	–
Mn	0,1	0,75	7,5	15,0	Листья лавровишни	Катализирует ферменты окисления-восстановления	Органические соединения
Tc	–	Не обн.	–	–	–	–	–
Re	$7 \cdot 10^{-8}$	$5 \cdot 10^{-10}$	0,007	–	Некоторые растения	–	–

Приложение 3

Зольность сухого вещества наземных растений (по А.Л. Ковалевскому)

Биообъект	Содержание золы в сухом веществе, %	
	предельное	среднее
Древесина лиственницы, сосны, кедра	0,12–0,35	0,2
Древесина осины, ивы, кора березы	0,7–1,4	1,0
Двух-, восьмилетние стебли и ветви кустарниковых растений, кора сосны и кедра	1,0–2,6	1,6
Двух-, восьмилетние части ветвей древесных растений, кора лиственницы	0,8–3,6	2,0
Семена зерновых и масличных культур (пшеница, рожь, ячмень, овес, кукуруза, гречиха, подсолнечник, хлопчатник)	1,5–4,0	2,3
Одно-, двухлетние побеги древесных, кустарниковых растений	1,7–3,8	2,5
Крупные корни древесных, кустарниковых и травянистых растений	1,2–5,0	2,5
Многолетняя хвоя древесных и кустарниковых растений	2,0–4,3	3,0
Семена бобовых	2,5–4,6	3,4
Кора осины	3,4–5,7	4,0
Листья кустарниковых растений, хвоя лиственницы	3,7–6,5	5,0
Зеленые побеги древесных растений	4,8–11	6,0
Мелкие корни древесных, кустарниковых и травянистых растений	3,6–10	6,0
Листья древесных растений	4–12	7,0
Наземные части травянистых растений с нормальной зольностью	6–12	8,0
Наземные части травянистых растений с повышенной зольностью	10–17	13
Сухие и полусухие солянки, листья сахарной свеклы, листья хлопчатника, крапива, эбелек, хвощи	15–25	20
Ростки сахарной свеклы, сарсазан, мясистые солянки, биюргун, листовые суккуленты	25–50	35

Приложение 4

Группы растений по глубине проникновения корневых систем (по А.Л. Ковалевскому)

Глубина проникновения корневых систем, м	Группы растений
0,2–1	Однолетние злаки, инюха, ластовень, адельвейс, нителистник, весенне-летние эфемеры Средней Азии. Плодовые и ягодные кустарники и деревья северной зоны (ель, кедр, пихта, лиственница, брусника, черника, голубика, багульник болотный); мхи мерзлотно-таежной зоны.
1–5	Рожь, пшеница, ячмень, овес, кукуруза, вика, люпин, клевер, люцерна, свекла, овощи, тыква, арбуз, молочай, донник, стеллера, василистник, леспецеда, соссюрея, лапчатка, кохия, астрагалы, солянки, полыни, ковыль, овсяница, чай, кияк и другие травянистые растения. Кедр, пихта, ель, можжевельник, лиственница, береза, ива, ерник, рододендрон, смородина, малина, жимолость, таволга, осока, иван-чай мерзлотно-таежной зоны. Береза, осина, ольха, акация, тополь, клен, ясень, дуб, боярышник, кизильник, бук, вяз, ива, яблоня, груша, сосна, псевдотсуга, ель, лиственница, жимолость, лещина, вереск, шиповник, карагана, курильский чай, плодовые и ягодные деревья и кустарники средней зоны.
5–20	Полыни, астрагалы, люцерна, бодяк, кукуруза, хлопчатник, фреатофиты Средней Азии. Сосна, можжевельник, дуб, бук, ясень, вяз, лох, тополь, берест, тамарикс, акация, аморфа, эфедра, саксаул, верблюжья колючка, шефердия, яблони, плодовые и ягодные кустарники южной зоны.
20–70	Криптомерия японская – 70 (Япония); акация – 68 (пустыня юго-западной Африки); можжевельник односемянный – 61 (плато Колорадо, США); тамарикс – 30, саксаул черный – 37, верблюжья колючка – 40, полынь песчаная – 25 (Средняя Азия); горчак розовый – 36 (Украина); сосна – 25, можжевельник– 25 (пустыни США); лебеда – 20 м (плато Колорадо, США).

Приложение 5

Оптимальные режимы озоления растений (их частей) (по данным Е.Н. Лукьянова)

Исследуемый материал	Нагревание	Температура, °С	Время выдержки после набора температуры, ч
Пырей	Медленное	450–600	2–4
Полынок	Быстрое	400–500	1,5–2
Пшеница (зерно)	Медленное	450–500	20–25
Пшеница (солома)	«	450–600	2–4
Ячмень (зерно)	«	450–500	12–15
Ячмень (солома)	«	450–600	22–4
Рис (зерно)	«	450–500	4–6
Кукуруза силосная	«	450–550	1,5–3
Кукуруза (початок)	«	450–500	10–15*
Тростник	«	450–650	1–2
Сахарная свекла	Быстрое	450–550	2–3**
Сосна (хвоя)	«	450–600	0,5–1
Листья дуба, граба	«	450–550	0,5–2
Капуста	«	450–500	2–4
Тополь, ива (листья)	«	450–550	0,5–2

* Озоленные пробы гигроскопичны.

** Герметизация печи в период набора температуры.

Приложение 6

Вероятные причины брака при озолении и способы его исправления (по Е.Н. Лукьянову)

Отклонение от нормального состояния озоления	*Возможные причины*	*Способы исправления*
Неполное выгорание органических веществ	Недостаточное время выдержки	Увеличить время нахождения пробы в печи
	Высокая скорость подъема температуры	Неустраним или трудно устраним выдержкой в течение 15–40 ч. при температуре озоления
Темная зола	Повышение температуры и оплавление золы (жесткая «зола»)	Неустраним; в дальнейшем для других проб необходимо снизить температуру выдержки на 80–100 °С
Оплавление золы	Превышение температуры	Неустраним

Приложение 7

Примерная схема полевой книжки для ландшафтно-геохимических исследований (1:500 000–1:200 000)

Министерство образования
Новороссийский НИИ Геохимии биосферы

Отряд _____
Полевая книжка № _____
Начальник отряда _____
ф.и.о.
Исполнитель _____
ф.и.о.
_____
ф.и.о.
_____
ф.и.о.
_____
ф.и.о.
Начата «____» _____ 19 ___ г.
Окончена «____» _____ 19 ___ г.

Нашедшего полевую книжку просим возвратить по адресу:

_____
_____

Оглавление

№ п/п	№ профилей	№ точек	№ стр.	№ п/п	№ профилей	№ точек	№ стр.

Схема описания полевых исследований*

Профиль № , направление движения
Исполнители

* Схема описания полевых исследований в полевой книжке занимает первые страницы.

Описание погоды: ветер (направление и сила), дождь (был ли накануне, продолжительность и сила), температура.

Привязка: населенные пункты, гидросеть, господствующие пысоты, дороги и т.д.

Геоморфологическая характеристика (расположение точки отбора в рельефе)

1. Равнина — горизонтальные или слабонаклонные (1—2°) плоские территории.

2. Возвышения.

Форма вершины	Форма возвышения	
	изометрическая	вытянутая
Острая	Пик	Островершинный водораздел
Округлая	Гора	Хребет - увал (гряда)
Плоская	Плоская гора	Плосковершинный водораздел

При описании необходимо указывать гипсометрическую отметку точки отбора.

3. Понижения.

Форма днища (в разрезе)	Форма понижения (в плане)	
V-образная	Воронка	Овраг
Корытообразная	Котловина	Балка

При описании указывать гипсометрическую отметку точки отбора.

Интенсивность механической миграции

1. Обнаженность склонов, %, и частота выходов коренных пород (количество обнажений и их площадь) по ходу маршрута и на точке отбора проб.

2. Описание склона на точке отбора проб:

а) часть склона — верхняя, средняя, нижняя; форму склона — выпуклая, вогнутая, прямая, выпукло-вогнутая, ступенчатая;

б) угол наклона склона, его экспозиция. Описываются положительные и отрицательные формы рельефа на склоне (промои-

ны, балки, ямы, бугры, воронки, борозды, водораздельные ребра и т.д.), [a] также их размеры, морфология, относительные превышения или понижения;

в) размер обломков, их предположительный генезис — свал, развал или вывал. При наличии обнажений на склоне указать степень трещиноватости коренных пород (одиночные трещины, число трещин на единицу площади);

г) описание встреченных конусов выноса, оползней, осыпей, наличие явлений смыва почв, дефлюкционных и солифлюкционных процессов на склонах. Размеры указанных явлений.

Гидрогеологическая характеристика

1. Долина реки — описать продольный (крутой, пологий, ступенчатый) и поперечный (V-образный, корытообразный, асимметричный, щелевидный) профили.

2. Указать наличие террас, фрагментов поймы, форму (в плане) и размеры русла, форму и состав аллювия.

3. В маршруте отметить встречаемые родники и охарактеризовать их (дебит, чистоту воды, запах, площадь выхода окисного железа), отложение солей. Отобрать литохимические пробы при наличии гидрооксидов железа (в том числе донные отложения с гидрооксидами).

4. При пересечении рек и ручьев охарактеризовать чистоту воды, скорость течения, ширину русла, порожистость дна, пленки, степень подъема воды после дождя.

Геологическая характеристика

1. Описание коренных горных пород:

а) название по происхождению — осадочные, магматические, метаморфические;

б) среди осадочных пород выделить карбонатные, карбонатно-терригенные и терригенные (указать степень глинистости).

Из карбонатных осадочных пород следует отдельно выделить известняки, сидериты, доломиты, а из карбонатно-терригенных — мергели, песчанистые известняки (песчанистого материала до 30%), песчаники с известковистым цементом. Ряд особенностей, характеризующих терригенные породы (содержащие более 60% частиц выделенной размерности), приведен в следующей таблице.

Несцементированные породы	Сцементированные породы	Размер частиц, мм
Песок	Песчаник	0,05-2
Алеврит	Алевролит	0,005-0,05
Глина	Аргиллит	< 0,005

При наличии 10-25%, например, алеврита в песке порода называется алевритовым песком. При наличии 25—40% примеси к названию породы прибавляется наречие «сильно». Например, сильно алевритовый песок.

Структура осадочных пород — оолитовая, желваковая, конкреционная, ракушняковая, органогенно-обломочная, обломочная. Различают следующие виды обломочных структур (в скобках указана размерность, мм): грубозернистая (2—1); крупнозернистая (1-0,5); среднезернистая (0,5—0,25); мелкозернистая (0,25—0,1); тонкозернистая (0,1—0,05).

Текстура — плитчатая, массивная, пятнистая, слоистая (косослоистая), полосчатая, брекчиевидная, порфировая.

Характеристика отдельных слоев и их мощность.

Карбонатность.

Вторичные и рудные минералы.

Элементы залегания выходящей толщи, мощность выхода.

При наличии складчатости в породе необходимо указывать размер складок (расстояние между ближайшими осями), азимуты и углы падения крыльев, наличие плойчатости (микроскладок), кливажа и т.д.

Магматические породы делятся на глубинные (интрузивные) и излившиеся (эффузивные или вулканические). И те, и другие для составления ландшафтно-геохимических карт необходимо разделить на кислые (содержание кремнезема больше 60%), средние (около 60%), основные и ультраосновные (меньше 55%), так как они весьма существенно отличаются по геохимическим особенностям.

К метаморфическим породам относятся осадочные и магматические, изменившиеся под воздействием температуры, давления и геохимически активных веществ (процессов метаморфизма). Среди них в первую очередь следует выделить различные кристаллические сланцы, роговики, скарны, мрамор.

2. Четвертичные отложения. При описании указать:

а) состав мелкозема — супесь, суглинок, глина, песок;

б) цвет, карбонатность;

в) наличие обломков коренных пород, их размеры, степень ої і танности, состав по схеме описания пород, карбонатность, при центное содержание в отложениях, особенности распределения,

г) морфология выхода четвертичных отложений — плащевид» ный островной, конусовидный, струйчатый и т.д.;

д) мощность описываемых отложений как на точке отбора проб, так и по всему маршруту (на срезах дорог, у обрывистых берегов, в промоинах);

е) вероятный генезис — элювиально-делювиальные, аллювиальные, озерные ледниковые, флювиогляциальные, морские отложения.

Описание растительности

Леса (лиственные, смешанные, хвойные).
Лесостепь.
Степь (разнотравно-злаковая, дерновинно-злаковая и др.).
Луг (заболоченный, настоящий, остепненный).
Болото (травяное, верховое и низинное).

Леса. Видовой состав. Ярусность

Деревья I яруса.
Деревья II яруса.
Кустарниковый ярус.
Травяной ярус.
Всходы деревьев и кустарников.
Наличие мохового и лишайникового покрова.
Подстилка.

Сомкнутость крон

От 20 до 30% — редкий лес, солнечные лучи проникают.
От 40 до 50% — светлый лес до травяного яруса.
От 80 до 90% — темный, влажный лес, травяной покров почти не развит.

Густота кустарникового яруса (оценка в баллах)

Одиночные кустарники (редкий подрост деревьев — доминант) — 1.

Кустарники группами, но сплошных зарослей нет — 2.

Плотная труднопроходимая стена кустарников и подроста деревьев — 3.

Проективное покрытие (оценка в баллах)

Несомкнутый травяной покров, единичные растения (5-10%) - 1.

Растения довольно близко располагаются друг от друга, но между ними значительные расстояния (20-25%) — 2.

Растения близко находятся друг около друга, образуя сомкнутый покров, но видны дыры (30-50%) — 3.

Растения образуют «ажурный» сомкнутый покров (60—70%) - 4.

Растения образуют плотный многоярусный покров (влажный луг, разнотравно-типчаково-ковыльная степь) (100%) — 5.

Описание лугов

Виды доминанты: состав разнотравья, %; высота травостоя, проективное покрытие.

Наличие подстилки из мхов: высота мохового покрова; проективное покрытие (оценка в баллах).

Лесостепь (залесенный луг)

1. Группа деревьев по степи, по лугу: лес 30%, степь 70%. Проба отбирается в степи.

2. Лес и степь примерно в равных пропорциях: 50:50 или 40:60. Проба отбирается в лесу и степи.

3. Лес с частичными полянами: лес 70%, степь (луг) 30%. Проба отбирается в лесу.

Санитарное состояние леса/луга (оценка в баллах)

Валежник (почти разложившийся, покрытий лишайником, мхом, грибами и др.; свежесваленные деревья) — 1.

Сухостой (сухие верхушки; сухие отдельные деревья; сухие группы деревьев) — *2.* ,

Повреждение листвы (высыхание; пятнистость; скручивани! листьев; хлороз — осветление или изменение окраски); уничтя жение листвы личинками насекомых — 3.

Повреждение молодых побегов (вялость; недоразвитость; хло» роз; высыхание) — 4.

Наличие нехарактерных для растений утолщений (на стволах; на ветвях) — 5.

Указать размеры участка с плохим состоянием растительное» ти. Охарактеризовать видимые изменения всех составных частей ландшафта (в почве, подстилке, грунтовых водах, коренных породах). Указать возможную причину плохого санитарного состояния.

Антропогенное воздействие на растительный покров

1. Наличие вырубок (размеры делянок, их доли в общей площади леса на данном участке, примерный возраст деревьев на вырубке).

2. Пожарища (размеры, доля в общей площади, примерный возраст деревьев).

3. Посадка необычных для данного ландшафта пород деревьев (процент участия, возраст).

4. Выпас скота на лугах: а) несбитый луг; б) луг заметно сбит; в) луг сбит до «выгона».

Описание почв

1. Цвет.

2. Гумус (густота окраски почвы перегноем) (оценка в баллах):

• чуть заметный серый оттенок, цвет определяется материнской породой почвы, Fe, известью, но не гумусом — 1;

• хорошо заметный серый оттенок, но в основном цвет определяется материнской породой, Fe, известью и др.— 2;

• умеренно густо-серый оттенок, ясно виден желтый, бурый, красноватый, коричневый и т.п. цвет породы — 3;

• густо-серый без ясных коричневых или иных цветных оттенков. Высыхая, влажная почва светлеет, но не сильно — 4;

• темно-серая, черная почва без каких-либо цветных оттенков. Высыхая, почва слабо светлеет — 5.

3. Легко растворимые соли (оценка в баллах):

• солевые выцветы слабо заметны при подсыхании поверхности почвы — 1;

• солевые выцветы ясно заметны — 2;
• солевой выцвет умеренно густой, совершенно ясный — 3;
• солевой выцвет густой и довольно мощный — 4;
• солевой выцвет очень мощный, почва «зарастает» кристалликами соли — 5.

4. Механический состав — (оценка в баллах):
• песок (состоит преимущественно из песчаных частиц) — 1;
• супесь (песок 90—80%, глина и алеврит 10—20%) — 2;
• суглинок (песок 40-20%, глина и алеврит 70-50%) — 3;
• глина (состоит преимущественно из глинистых частиц) —4;

5. Взаимодействие с HC1 (оценка в баллах):
• не вскипает — 1;
• вскипает — 2;
• вскипает бурно — 3.

6. Сложение почвы (оценка в баллах):
• рассыпчатое (в сухом состоянии представляет сыпучую массу) - 1;
• рыхлое (характерно для горизонтов почв, имеющих зернистую и мелкокомковатую структуру) — 2;
• уплотненное (копается со средними усилиями, лопата или нож входят в почву при несильном нажиме; легко разламывается руками) — 3;
• плотное (копать трудно, руками разламывается с трудом) — 4;
• слитое (почва не поддается действию лопаты) — 5.

7. Влажность почвы (оценка в баллах):
• сухая, не холодит рук, песок просыпается. Высыхая, на воздухе не светлеет — 1;
• свежая, слегка холодит руки и слабо светлеет при высыхании — 2;
• влажная, заметно холодит руки, значительно светлеет при высыхании. Песок сцеплен водой, легко формируется — 3;
• сырая, сильно светлеет, высыхая. На ощупь — холодная и сырая. Глина и суглинок хорошо окатываются — 4;
• мокрая, блестит, лоснится от покрывающей почву пленки воды. При сжимании выдавливается вода — 5.

8. Структура: а) пылеватая; б) зернистая; в) комковатая; г) ореховатая; д) столбчатая.

9. Корни (оценка в баллах):
• корни довольно редки — 1;
• корни редковаты (10—20 штук на 1 дм^2) — 2;
• густота корней значительна (20—50 штук на 1 дм^2) — 3;

• корни густо пронизывают почву, но сплошного войлока н образуют — 4;

• сплошной густой корневой войлок, настоящая дерновина — 10! Щебень в почве (оценка в баллах):

• встречаются единичные обломки — 1;

• хорошо заметен, занимает 0,1 объема — 2;

• занимает 0,25 объема — 3;

• занимает 0,5 объема — 4;

• почва почти полностью представлена щебнем — 5.

Контрольные вопросы

Глава 1

1. Место экологической геохимии среди других наук, ее связи с ними.
2. В чем разница между «химическим» и «геохимическим» мышлением (по А.И.Перельману)?
3. Почему для изучения биосферы наиболее удобным является ландшафтный уровень?
4. Что общего у экологической геохимии с геохимией и экологией?
5. Что вкладывается в современное понятие науки экологии?
6. Что подразумевается под геохимической оценкой условий существования организмов?
7. История формирования геохимии как самостоятельной науки. Основоположники геохимии.
8. Кем впервые были определены средние содержания химических элементов в земной коре? Как называются эти величины?
9. Расскажите о вкладе В.И.Вернадского в развитие науки.
10. Кем и где впервые был прочитан курс новой науки геохимии? Какую роль сыграла научная деятельность А.Е.Ферсмана в развитие геохимии?
11. Работы каких ученых послужили основой дальнейшего развития геохимии во второй половине XX в.?
12. Расскажите о возникновении и становлении науки «геохимия ландшафта».
13. Почвоведение — история возникновения и становления науки.
14. Экология, ее роль в создании науки «экологическая геохимия».
15. Какая связь между геохимией ландшафта и экологической геохимией?

Глава 2

1. Дайте краткую характеристику оболочек земного шара. Какие из них образуют биосферу?
2. Как называется процесс приспособления к условиям биосферы минералов и горных пород, сформировавшихся в глубинной части Земли?
3. Каковы значения атомных и ионных радиусов для геохимии?
4. Понятия ЭК и ВЭК. Их роль в геохимических расчетах, ограничение в применении.
5. Дайте характеристику горным породам различных типов. Приведите примеры.
6. Дайте определения и характеристики месторождений полезных ископаемых. Какую роль в их поисках играют геохимические индикаторы?
7. Какие геохимические показатели можно охарактеризовать, используя величины атомных и ионных радиусов?

8. Назовите признаки отличия поляризации от поляризируемости. Как влияет поляризация на доступность химических элементов живым организмам?
9. На каких принципах строились геохимические классификации химических элементов В.М.Гольдшмидта, В.И.Вернадского, А.И.Перельмана?
10. В чем отличие диффузионной миграции химических элементов от инфильтрационной?
11. Назовите типы геохимических обстановок в зависимости от окислительно-восстановительных условий среды. Какой цвет и почему в них принимают различные горные породы и минералы?
12. Дайте определение и приведите примеры биокосных систем.
13. Под влиянием каких факторов идет формирование почв?
14. Расскажите об органическом веществе почв.
15. Что такое биомасса? Из каких величин она складывается? Охарактеризуйте эти величины.
16. Что такое биоценоз? Каковы требования выделения отдельных биоценозов?
17. Дайте определение экосистемы. Какие показатели ее характеризуют?
18. Что такое экотоны? Почему важно их изучение?
19. Типы почв, их классификация и распространение.
20. Дайте определение экологического круговорота химических элементов.
21. Что представляют собой трофические уровни? Как происходит перераспределение энергии при переходе на каждый последующий трофический уровень (закон Пирамиды энергии Р.Линдемана)?
22. Что показывает коэффициент биологического поглощения?
23. Дайте определение элементарного ландшафта (по Б.Б.Полынову). Что следует относить к элементарному ландшафту?
24. Что такое геохимический ландшафт?
25. Дайте определение геохимических барьеров (по А.И.Перельману).
26. Что В.И.Вернадский называл ноосферой?
27. Что характеризует понятие «техногенез»?
28. Что показывает величина технофильности?
29. Что определяет показатель относительного использования химических элементов?
30. Что представляет собой показатель относительного техногенного накопления химических элементов?
31. Каков состав гумуса?
32. Есть ли сходство между такими биокосными системами, как почва и ил?
33. Охарактеризуйте солоди, солончаки, солонцы. В чем их различие?

Глава 3

1. Что понимается под формой нахождения химических элементов? Назовите важнейшие из них.
2. Охарактеризуйте самостоятельные минеральные виды как природную форму нахождения химических элементов.

3. Какие свойства минералов и почему учитываются в экологической геохимии?
4. Назовите основные принципы кристаллохимии.
5. Как связаны основные свойства минералов с кристаллохимическими показателями?
6. Что представляют собой изоморфные смеси? Роль этой формы химических элементов в хозяйственной деятельности.
7. Образование и особенности существования изоморфных смесей в биосфере.
8. Водные растворы как форма нахождения химических элементов. Роль водных растворов в хозяйственной деятельности человека.
9. Процессы разложения и образования воды в биосфере.
10. Состояние воды в биосфере и состав природных растворов.
11. Приведите общие сведения о газовых смесях. Как происходит образование газов в биосфере?
12. Расскажите о газах биосферы и составе природных газовых смесей.
13. Расскажите об особенностях коллоидной и сорбированной форм нахождения химических элементов.
14. «Ландшафт — это подлинное царство коллоидов». Прокомментируйте это высказывание А.И.Перельмана.
15. Что представляет собой процесс адсорбции молекул и ионов? Расскажите об ионном обмене в водных растворах.
16. Какой процесс получил название старения коллоидов? Как он связан с миграцией химических элементов, находящихся в коллоидной форме?
17. Что вы знаете о магматических расплавах как форме нахождения химических элементов?
18. Что включает в себя биогенная форма нахождения химических элементов?
19. Область распространения живого вещества.
20. Каково значение водных растворов для живых организмов?
21. Назовите ряд специфических особенностей живого вещества.
22. Каковы функции вирусов и бактерий в биосфере?
23. Роль растений и процесса фотосинтеза в существовании биосферы.
24. Концентрация химических элементов растениями. Дайте определение растений-концентраторов и деконцентраторов.
25. Какова геохимическая функция, выполняемая животными?
26. В каких простых формах находятся химические элементы в животных?
27. Что вы знаете о состоянии рассеяния? Сформулируйте закон Вернадского—Кларка, следствия из этого закона.
28. Какие экологические проблемы возникают при антропогенных процессах, связанных с производством и использованием техногенных соединений, не имеющих природных аналогов?
29. Дайте характеристику галогеносодержащим соединениям.
30. Каковы основные особенности синтетических полимеров?

Глава 4

1. Строение и состав Земли.
2. Что называется земной корой? Каковы особенности ее строения?
3. Сходства и отличия в строении континентальной и океанической коры,
4. Расскажите о строении и рельефе океанической коры.
5. В чем заключаются особенности состава поверхности океанической коры"
6. Каково строение океанической коры?
7. Из чего сложена поверхность континентальной коры?
8. Охарактеризуйте основные законы распределения химических элемеи тов и их параметры.
9. Критерии выделения геохимических аномалий.
10. Какая величина считается аномальной? Дайте определение положительных и отрицательных аномалий.
11. Расскажите о методике выявления геохимических аномалий.
12. Понятие кларка. Значение этого понятия для экологической геохимии. Разновидности кларков.
13. Перечислите основные закономерности распространения химических элементов в земной коре и поясните их.
14. Объясните, что такое абсолютный разброс кларков элемента в породах. Какова необходимость нахождения этой величины?
15. Что такое относительный разброс кларкового содержания элемента в породах? Какова необходимость нахождения этой величины?
16. Все ли природные геохимические аномалии можно назвать месторождениями полезных ископаемых? На какие группы делятся месторождения? Каково их влияние на живые организмы?
17. Понятие геохимических полей концентрации и перераспределения элементов. Основные особенности таких участков.
18. Каковы геохимические особенности вторичных геохимических полей рассеяния?
19. Каковы причины образования ассоциаций химических элементов в различных участках земной коры?
20. Каковы особенности геохимической обстановке в Океане?
21. Для чего используется величина талассофильности?
22. Охарактеризуйте геохимические особенности пород и осадков дна Океана. С чем связана дифференциация химических элементов при отложении осадков?
23. Что показывают величины биофильности и коэффициента биологического поглощения?
24. Какие элементы называют дефицитными, а какие — избыточными?
25. Что называют узлами и районами месторождений полезных ископаемых? Назовите их отличие от соседних участков земной коры.
26. Расскажите об ассоциациях химических элементов, находящихся в повышенных концентрациях над различными месторождениями. Что называется вторичным геохимическим полем?

Глава 5

1. Расскажите об основном геохимическом цикле миграции элементов.
2. Какие виды миграции химических элементов вы знаете? Охарактеризуйте каждый из них.
3. Какие типы миграции можно выделить в связи с перемещением химических элементов?
4. Какие факторы определяют миграцию химических элементов в земной коре?
5. Какие факторы миграции называются внутренними?
6. Что подразумевается под внешними факторами миграции?
7. Как влияют процессы радиоактивного распада на миграцию химических элементов?
8. Какое значение имеет концентрация водородных ионов в процессе миграции химических элементов в почвах? в водах?
9. Как влияет режим серы и кислорода на миграционную способность химических элементов?
10. Расскажите о роли живых организмов в создании условий миграции химических элементов в зоне гипергенеза.
11. Чем определены особенности миграции химических элементов в биосфере? Под влиянием каких факторов они формируются?
12. Как распределены окислительно-восстановительные обстановки в биосфере?
13. Расскажите об особенностях миграционного процесса в поверхностных водах.
14. Основной природный источник аэрозолей в биосфере.
15. Диффузионная миграция химических элементов.
16. Электрохимические процессы и миграция элементов.
17. Дайте формулировку второго правила Перельмана о «ведущих элементах».
18. Расскажите об особенностях эволюции процессов миграции химических элементов в биосфере.

Глава 6

1. Расскажите об основных типах геохимических барьеров. На какие классы они разделяются?
2. Расскажите о многосторонних и комплексных барьерах.
3. Какими величинами можно количественно охарактеризовать геохимические барьеры?
4. Сформулируйте принцип торможения химических реакций (принцип Перельмана). Какие элементы в соответствии с этим принципом называются избыточными, какие — недостаточными?
5. Сероводородные барьеры, их распространение в биосфере.
6. Под влиянием каких факторов образуются в биосфере глеевые барьеры? Приведите примеры.

7. На каких участках биосферы возникают щелочные барьеры? Прит g r | те примеры.
8. Как формируются испарительные барьеры? Почему важно изучение *ш* парительных барьеров для решения экологических проблем?
9. Расскажите о сорбционных барьерах. Приведите примеры возникший ния различных сорбционных барьеров.
10. Расскажите о возникновении термодинамических барьеров. Приведи те примеры.
11. В каких условиях формируются механические барьеры для веществ, перемещающихся в водных потоках?
12. Как возникают механические барьеры для веществ, перемещающихся в воздушных потоках?
13. Расскажите о формировании биогеохимических барьеров.
14. В каких участках биосферы на природных биогеохимических барьерах ежегодно концентрируется наибольшая масса веществ?
15. Каковы отличия техногенных биогеохимических барьеров от природных?
16. Расскажите об основных факторах концентрации элементов на биогеохимических барьерах.
17. Как происходит формирование социальных геохимических барьеров?
18. Каковы геохимические особенности социальных барьеров?
19. Как образуются комплексные барьеры?

Глава 7

1. Что представляют собой межбарьерные ландшафты? Почему важно их изучение?
2. На чем основывается классификация геохимических ландшафтов, принятая в учебнике?
3. Какие ландшафты объединяются на первом таксономическом уровне?
4. По какому признаку ландшафты суши разделяются на абиогенные, биогенные и техногенные?
5. На чем базируется объединение биогенных ландшафтов, рассматриваемых на втором классификационном уровне?
6. На каких принципах строится классификация техногенных геохимических ландшафтов?
7. Какие участки биосферы следует относить к сельскохозяйственным ландшафтам? Чем определяются важнейшие особенности миграции элементов в пределах сельскохозяйственных ландшафтов?
8. Животноводческие ландшафты.
9. Как влияют мелиорационные мероприятия на процессы миграции химических элементов в пределах сельскохозяйственных ландшафтов?
10. Какие территории следует относить к промышленным ландшафтам? Отличие процессов миграции, протекающих в промышленных ландшафтах, от миграции в биогенных ландшафтах.

11. Лесотехнические ландшафты. Особенности миграции химических элементов в этих ландшафтах.
12. Техногенные дорожные ландшафты.
13. Ландшафты населенных пунктов. Какие характерные особенности присущи ландшафтам населенных пунктов?
14. По каким признакам объединяются ландшафты на третьем классификационном уровне?
15. Что учитывается при объединении отдельных ландшафтов на четвертом классификационном уровне?
16. С учетом каких факторов объединяются биогенные и техногенные ландшафты на пятом классификационном уровне?
17. Что учитывается в шестом классификационном уровне? Какие ландшафты выделяются на этом таксономическом уровне?
18. С учетом каких факторов классифицируются ландшафты на седьмом классификационном уровне? Какие ландшафты выделяются на этом уровне?
19. Что положено в основу классификации ландшафтов на восьмом классификационном уровне?
20. По каким признакам объединяются водные ландшафты на первом классификационном уровне?
21. Что положено в основу классификации водных ландшафтов на втором классификационном уровне?
22. Что учитывается при классификации водных ландшафтов на третьем классификационном уровне?
23. В зависимости от чего проводится объединение водных ландшафтов на четвертом классификационном уровне?
24. Какой признак положен в основу классификации водных ландшафтов на пятом классификационном уровне?
25. Чем определяется объединяется водных ландшафтов на шестом таксономическом уровне?
26. Чем вызвана необходимость крупномасштабного картографирования селитебных ландшафтов?
27. Какие таксономические уровни выделяются при классификации селитебных ландшафтов? С учетом каких факторов выделяется каждый уровень?
28. Что в первую очередь определяет поведение геохимических элементов в биосфере? Сформулируйте закон о геохимическом поведении элементов в биосфере. Какие важнейшие следствия вытекают из него?
29. Сформулируйте закон, устанавливающий связь между эколого-геохимическими изменениями в пределах ландшафта. Какие следствия, имеющие большое прикладное значение, вытекают из этого закона?
30. Как звучит закон, устанавливающий закономерности развития эколого-геохимических изменений в биосфере при смене одного ландшафта другим? Сформулируйте основные следствия из этого закона.
31. Как влияют ландшафтно-геохимические условия на соотношение концентрации химических элементов в организмах?

Глава 8

1. Какие показатели можно отнести к основным, определяющим особенности миграции элементов в период формирования ноосферы?
2. Как изменились соотношения масс химических элементов, находящихся и мигрирующих в различных формах нахождения в процессе формирования ноосферы? Приведите примеры.
3. Как можно определить интенсивность миграции химических элементов?
4. Что представляет собой интенсивность техногенной миграции элементов?
5. Как можно измерить изменение интенсивности миграции химических элементов в абсолютных и относительных величинах?
6. От чего зависит интенсивность миграции химических элементов, находящихся в различных формах нахождения?
7. Как изменились массы химических элементов, находящихся в различных формах нахождения, и интенсивность их миграции в период формирования ноосферы? Приведите примеры.
8. С чем связано возникновение новых геохимических барьеров в период формирования ноосферы? Приведите примеры.
9. Как изменяется дальность миграции химических элементов в период формирования ноосферы? Приведите примеры.
10. Сформулируйте закон об ассоциациях химических элементов, образующих крупные техногенные геохимические аномалии. Какие следствия можно вывести из этого закона?

Глава 9

1. Почему важна комплексность оценки состояния окружающей среды?
2. Назовите основные виды антропогенных изменений в биосфере.
3. Каковы основные требования к эколого-геохимической оценке состояния биосферы?
4. Из каких важнейших этапов состоит комплексная оценка состояния территорий?
5. Как проводить количественную оценку состояния окружающей среды?
6. В чем недостатки использования ПДК как контрольных величин при количественной оценке состояния окружающей среды больших территорий?
7. Какие величины наиболее приемлемы как нормирующие показатели для отдельных крупных регионов?
8. Сформулируйте основные принципы количественной оценки состояния окружающей среды.
9. При помощи каких эколого-геохимических показателей можно объективно оценить эколого-геохимическую обстановку на различных территориях?

10. На основании каких исследований возможно проведение достоверной экономической оценки состояния и изменений в окружающей среде?

Глава 10

1. На какие основные стадии разделяются эколого-геохимические исследования на суше? Что является основной задачей каждой стадии?
2. Какие работы необходимо проводить на каждой стадии эколого-геохимических исследований суши? Охарактеризуйте каждую из них.
3. На какие стадии разделяются эколого-геохимические исследования в пределах аквальных ландшафтов? Что является основной задачей каждой стадии?
4. Какие работы необходимо проводить на каждой стадии эколого-геохимических исследований аквальных ландшафтов? Охарактеризуйте каждую из них.
5. Расскажите о проектировании и организации эколого-геохимических исследований на суше и в пределах аквальных ландшафтов.
6. Как составляются схематические карты геохимических ландшафтов для территорий суши и водных объектов камеральным путем?
7. Расскажите о проведении полевых ландшафтно-геохимических исследованиях на суше. От чего зависит сеть опробования территорий?
8. Как следует проводить полевые ландшафтно-геохимические исследования в пределах аквальных ландшафтов? От чего зависит сеть опробования?
9. Какие требования предъявляются к оформлению полевых материалов?
10. Как следует проводить отбор литохимических проб?
11. Как следует проводить биогеохимическое опробование территорий?
12. Какие требования предъявляются к гидрохимическому опробованию территорий?
13. Расскажите о процессе подготовки различных проб к анализу.
14. Каковы основные требования к аналитическим работам?
15. Как определяется фоновое и аномальное содержание элементов в различных ландшафтах?
16. В каком виде следует предоставить отчетность о проведенной эколого-геохимической работе?

Рекомендуемая литература

К главе 1

1. *Алексеенко В.А.* Введение в экологическую геохимию. 1 -е, 2-е изд. Краснодар: КГТУ, 1994; 1997.
2. *Алексеенко В.А.* Геохимические методы поисков рудных месторождений. Краснодар: КПИ. 1973, 1974. Ч. 1 и 2.
3. *Барсуков В.Л., Григорян С.В., Овчинников Л.Н.* Геохимические методы поисков рудных месторождений. М.: Наука, 1981.
4. *БеусА.А., Грабовская Л.И., Тихонова Н.В.* Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1976.
5. *Вернадский В.И.* Живое вещество и биосфера. М.: Наука, 1994.
6. *Вернадский В.И.* Избранные сочинения. М.: АН СССР, 1954.
7. *Вернадский В.И.* Научная мысль как планетное мышление. М.: Наука, 1991.
8. *Вернадский В.И.* Труды по истории науки в России. М.: Наука, 1988.
9. *Войткевич Г.В., Вронский В.А.* Основы учения о биосфере. М.: Феникс, 1996.
10. *Войткевич Г.В., Закруткин В.В.* Основы геохимии. М.: Высшая школа, 1976.
11. *ГирусовЭ.В.* Основы социальной экологии. М.: РУДН, 1998.
12. *Гольдшмидт В.М.* Главнейшие работы по геохимии и кристаллохимии. М., 1933.
13. *Дажо Р.* Основы экологии. М.: Прогресс, 1975.
14. *Добровольский В.В.* Проблемы геохимии в физической географии. М., 1984.
15. *Небел Б.* Наука об окружающей среде. М.: Мир, 1993. Т. 1, 2.
16. *Перельман А.И.* Геохимия. М.: Высшая школа, 1989.
17. *Перельман А.И.* Геохимия биосферы. М.: Наука, 1973.
18. *Перельман А.И.* Геохимия ландшафта. М.: Высшая школа, 1975.
19. *Перельман А.И.* Геохимия ландшафта и экология // Экология: опыт, проблемы, поиск. Новороссийск, 1991.
20. *Перельман А.И.* Изучая геохимию. М.: Наука, 1987.
21. *РиклефсР.* Основы общей экологии. М.: Мир, 1979.
22. *Ферсман А.Е.* Избранные труды. М.: АН СССР, 1953-1959. Т. 1-5.

К главе 2

1. *Алексеенко В.А.* Введение в экологическую геохимию. 1 -е, 2-е изд. Краснодар: КГТУ, 1994; 1997.
2. *Вернадский В.И.* Труды по биогеохимии и геохимии почв. М.: Наука, 1992.
3. *Виноградов А. П.* Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: АН СССР, 1957.
4. *Войткевич Т.В., КокинА.В., Мирошников А.Е., Прохоров В Т.* Справочник по геохимии. М.: Недра, 1990.

5. *Глазовская М.А.* Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. М.: Высшая школа, 1988.
6. *Дедю И.И.* Экологический энциклопедический словарь. М., 1989.
I. Добровольский В.В. География почв с основами почвоведения. М.: Высшая школа, 1989.
8. *Добровольский В.В.* Почвоведение. М.: Высшая школа, 1988.
9. *Перельман А.И.* Геохимия. М.: Высшая школа, 1989.
10. *Перельман А.И.* Геохимия природных вод. М.: Наука, 1982.
II. *Рабинович В.А., Хавин З.Я.* Краткий химический справочник. СПб.: Химия, 1994.
12. *Реймерс Н.Ф.* Охрана природы и окружающей среды: Словарь-справочник. М.: Просвещение, 1990.
13. *Реймерс Н.Ф.* Природопользование. М.: Мысль, 1990.
14. *Словарь* геохимических терминов и понятий / В.П. Парначев и др. М.: ГТУ, 1995.
15. *Словарь* экономических терминов и понятий. М.: Финансы и статистика, 1997.
16. *Химическое* загрязнение почв и их охрана / Д.С. Орлов и др. М.: Агропромиздат, 1991.
17. *ЭмслиДж.* Элементы. М.: Мир., 1993.
18. *Rosier H.L., Lange D.H.* Geochemishe Tabellen. Leipzig, 1965.

К главе 3

1. *Алексеенко В.А.* Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. М.: Высшая школа, 1989.
2. *Алексеннко В.А.* Химические элементы в биосфере. Краснодар: КГТУ, 1997. 4.2.
3. *Базилевич Н.И.* Геохимическая работа живого вещества Земли и почвообразование // Тр. X Международный конгресс почвоведов. М.: Наука, 1974. Т. 6. С. 17-27.
4. *Болошкш ИМ., Егоров Н.И., Терехов В.Я., МинеевДА.* Минералогия и геохимия редких и радиоактивных металлов. М.: Энергоатомиздат, .1987.
5. *Гаврусевич Б.А.* Основы общей геохимии. М.: Недра, 1968.
6. *Добровольский В.В.* География микроэлементов: глобальное расселение. М.: Мысль, 1983.
7. *Добровольский В.В.* Основы биогеохимии. М.: Высшая школа, 1998.
8. *Корж В.Д.* Геохимия элементного состава гидросферы. М.: Наука, 1991.
9. *ЛапоА.В.* Следы былых биосфер. М.: Знание, 1987.
10. *Перельман А.И.* Атомы-спутники. М.: Наука, 1990.
11. *Титаееа Н.А.* Ядерная геохимия. М.: МГУ, 1992.

К главе 4

1. *Алексеенко В.А.* Распределение химических элементов в литосфере и живые организмы // Научная мысль Кавказа. 1997. № 2. С. 63—70.

2. Алексеенко ВА. Химические элементы в биосфере. Краснодар: КГТУ, 1997,
3. *Виноградов АЛ.* Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: АН СССР, 1957.
4. *Войткевич Г.В., КокшА.В., МирошниковА.Е., Прохоров В.Г.* Справочник по геохимии. М.: Недра, 1990.
5. *Добровольский В.В.* География микроэлементов: глобальное рассеяние. М.: Мысль, 1983.
6. *Лисицын АЛ.* Осадкообразование в океанах, количественное распределение осадочного материала. М.: Наука, 1974.
7. *Милановский Е.Е.* Расширяющаяся и пульсирующая Земля // Природа. 1982. № 8. С. 46-59.
8. *Перельман А.И.* Геохимия. М.: Высшая школа, 1989.
9. *Потапов И.И.* Гиотектоника — философия геологии. М.: СКНЦ ВЩ, 1996.
10. *РоновА.Б., Ярошевскш А.А.* Новая модель химического состава земной коры// Геохимия. 1976. № 12. С. 1763-1795.
11. *РухинЛ.Б.* Основы литологии. М.: Госоптехиздат, 196L
12. *Сорохтин О.Г., Ушанов С.А.* Глобальная эволюция Земли. М.: МГУ, 1991.
13. *СтраховН.М.* Типы литогенеза и их эволюция в истории Земли. М.: Госгеолтехиздат, 1963.
14. *Ферсман А.Е.* Избранные труды. М.: АН СССР, 1953-1959. Т. 1-5.

К главе 5

1. *Алексеенко В.А.* Миграция и концентрация химических элементов в биосфере. М.: ГТУ, 1997.
2. Добровольский В.В. Основы биогеохимии. М.: Высшая школа, 1998.
3. *Елпатевский П.В.* Геохимия миграционных потоков в природных и природно-техногенных геосистемах. М.: Наука, 1993.
4. *Круговорот* веществ в природе и его изменение хозяйственной деятельностью человека. М., 1980.
5. *Миграции* химических элементов в подземных водах. М.: Наука, 1974.
6. *Морозов В.И.* Цитохимические аномалии в зоне гипергенеза. М.: Недра, 1992.
7. *Перельман А.И.* Геохимия элементов в зоне гипергенеза. М.: Недра, 1972.
8. *Перельман А.И.* Геохимия эпигенетических процессов. М.: Недра, 1968.
9. *Пиковскш Ю.И.* Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде. М.: МГУ, 1993.
10. *Щербина В.В.* Миграция элементов и процесс минералообразования. М.: Наука, 1980.

К главе 6

1. *Алексеенко В.А.* Миграция и концентрация химических элементов в биосфере. Краснодар: КГТУ, 1997.

2. *Алексеенко В.А.* О закономерностях накопления химических элементов растениями // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Спецвыпуск. 1994. С. 82-87.
3. *Артемьев В.А.* Геохимия органического вещества в системе река—море. М.: Наука, 1993.
4. *Вальков В.Ф.* Экология почв Ростовской области. М.: СКНЦ ВЩ, 1994.
5. *Геохимия* ландшафтов рудных провинций // Е.Н. Борисенко, Н.С. Касимов, А.И. Перельман и др. М.: Наука, 1982.
6. *Перельман А.И.* Геохимия. М.: Высшая школа, 1989.
7. *Перельман АМ.* Геохимия природных вод. М.: Наука, 1982.

К главе 7

1. *Алексеенки В.А.* Классификация геохимических ландшафтов населенных пунктов // Экология: опыт, проблемы, поиск. Новороссийск, 1991.
2. *Алексеенко В.А.* Ландшафтно-геохимические исследования и окружающая среда. Ростов: РГУ, 1989.
3. *Глазовская М.А.* Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов. М.: МГУ, 1964.
4. *Глазовская М.А.* Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. М.: Высшая школа, 1988.
5. *Касимов Н.С.* Геохимия степных и пустынных ландшафтов. М.: МГУ, 1988.
6. *Перельман А.И.* Биокосные системы Земли. М.: Наука, 1977.
7. *Перельман А.И.* Геохимия ландшафта. М.: Высшая школа, 1975.
8. *Экогеохимш* городских ландшафтов/ Под ред. Н.С.Касимова. М.: МГУ, 1995.

К главе 8

1. *Ведение* в экологию / Под ред. Ю.А.Казанского. М.: АТ, 1992.
2. *Воробьев А.В.* Человек и биосфера. М.: МГГУ, 1998.
3. *Геохимия* ландшафтов // Материалы II Всесоюзного совещания. Новороссийск, 1986.
4. *Геохимия* ландшафтов при поисках месторождений полезных ископаемых и охране окружающей среды // Материалы I Всесоюзного совещания. Новороссийск, 1986.
5. *Геохимия* окружающей среды / Ю.Е.Сает и др. М.: Недра, 1990.
6. *Добыча* полезных ископаемых и геохимия природных экосистем / Под ред. МАГлазовской. М.: Наука, 1982.
7. *Кормилицын В.И.* Основы экологии. М.: МЭИ, 1993.
8. *Новиков Ю.В.* Экология, окружающая среда и человек. М.: Фаир, 1988.
9. *Тюрюканов А.Н., Федоров В.М.* Тимофеев-Ресовский: биосферные раздумья. М., 1996.
10. Тяжелые металлы в окружающей среде. Пущино, 1996.

К главе 9

1. *Жданов Ю.А.* Экология с человеческим лицом // Экология: опыт, проблемы, поиск. Новороссийск, 1991. С. 52-58.

2. *Паулюкявичус Г.* Оценка роли леса в экологической оптимизации холм и стых ландшафтов Литвы. Вильнюс, 1978.
3. *Рушкенас Б.* Влияние некоторых агромелиоративных мероприятий НІ очистку сточных вод // Сб. Лит. НИИ Ги Ма. Вильнюс, 1986.

К главе 10

1. *Алексеенко В.А.* Геохимия ландшафта и окружающая среда. 1 -е и 2-е изд. М.: Недра, 1990; 1997.
2. *Алексеенко В.А.* Региональная экологическая политика и социальные проблемы // Научная мысль Кавказа. 1996. № 3. С. 11-13.
3. *Дьяконов К.Н., Касимов Н. С, Тикунов В. С.* Современные методы географических исследований. М.: Просвещение, 1996.
4. *Эколого-геохимжеские* оценки городов / Н.С.Касимов и др. // Вестник МГУ. Сер. географ. 1990. № 3. С. 3-12.
5. *ФортескъюДж.* Геохимия окружающей среды. М.: Мир, 1985.

Краткая аннотация

Глава 1. Предмет, история и задачи экологической геохимии

Приводятся общие сведения об этой новой науке, развившейся на стыке обшей геохимии, геологии, экологии, геохимии ландшафта, почвоведения, биогеохимии. Кратко рассматривается история становления экологической геохимии. Показана большая роль в формировании этой науки работ таких выдающихся ученых, как В.И.Вернадский, А.Е.Ферсман, Ф.У.Кларк, В.М.Гольдшмидт, Б.Б.Полынов, В.В.Докучаев, А.И.Перельман, В.В.Добровольский, МАХлазовская и др.

Глава 2. Основные термины и понятия

Кратко рассматривается ряд терминов и понятий, употребляемых в учебнике. Знание их необходимо для изучения экологической геохимии. Все они сгруппированы в четыре основных раздела: 1 — геологические, физико-химические и собственно геохимические термины и понятия; 2 — эколого-биологические; 3 — понятия о геохимических ландшафтах и геохимических барьерах; 4 — понятия ноосферы и техногенеза. Это дает возможность читателям начать знакомство с экологической геохимией без предварительного углубленного изучения таких дисциплин, как геология, биология, экология, геохимия, геохимия ландшафта.

Глава 3. Основные формы нахождения химических элементов в земной коре

Дается определение форм нахождения химических элементов, под которыми понимаются системы различных относительно устойчивых химических равновесий этих элементов. Рассмотрены девять важнейших для биосферы форм нахождения химических элементов: минеральная, изоморфная, водные растворы, газовые смеси, коллоидная и сорбированная, магматические расплавы, биогенная, состояния рассеяния, техногенные соединения. Впервые для биосферы рассмотрены коллоидная и сорбированная формы и техногенные соединения. Приведены данные о распространенности каждой из форм в биосфере, о их связи с основными антропогенными процессами, об устойчивости в изменяющихся условиях биосферы.

Глава 4. Распространенность химических элементов

Приводятся данные о составе океанической и континентальной земной коры. Рассматриваются основные закономерности распростране-

ния химических элементов в земной коре в целом и в различных типах составляющих ее горных пород. Впервые рассматривается влияние на организмы в среде их обитания не только абсолютных величин концентраций элементов, но и их распределения (разброса их кларковых концентраций) в различных геохимических системах. Впервые в учебнике дается определение показателей относительного и абсолютного разброса содержаний химических элементов. Приводятся данные о законах распределения элементов в геохимических системах; об абсолютном и относительном разбросе кларков, о коэффициентах биологического поглощения, химических элементах, дефицитных и избыточных для живых организмов, природных ассоциациях химических элементов, которые находятся в повышенных концентрациях в различных геохимических системах.

Глава 5. Миграция химических элементов

Даются сведения об источниках энергии, за счет которых происходит миграция химических элементов в биосфере. Разбираются геохимические циклы, три основных типа и четыре вида миграции элементов в среде обитания организмов. Детально рассматриваются факторы миграции, как внутренние, связанные со свойствами атомов и их соединений, так и внешние, обуславливаемые условиями в среде миграции. Значительное внимание уделено зональному отложению элементов при миграции в растворах, влиянию радиоактивного распада и различных биогеохимических процессов на миграцию. Рассматривается постепенная эволюция процессов миграции химических элементов в истории Земли.

Глава 6. Геохимические барьеры и концентрация химических элементов

Рассматривается введенное в естественные науки в 1961 г. академиком А.И.Перельманом новое фундаментальное понятие — геохимические барьеры. Дается классификация барьеров с выделением четырех основных классов: физико-химических, биологических, механических и социальных. Все они, за исключением физико-химических, впервые подробно рассматриваются в настоящем учебнике. В каждом из классов для барьеров разных видов приводятся особенности концентрации определенных элементов и их соединений, характеристики барьеров, дающие возможность количественно оценить каждый из них. Показывается возможность уверенно прогнозировать на конкретных природных и техногенных (антропогенных) геохимических барьерах концентрацию определенных геохимических элементов и их соединений. Рассматривается возможность техногенного формирования комплексных геохимических барьеров.

Глава 7. Эколого-геохимические особенности геохимических ландшафтов

Впервые в учебнике приводится разработанная автором и принятая в практике классификация геохимических ландшафтов, базирующихся на таксономических уровнях. Рассматриваются основные геохимические особенности природных и техногенных геохимических ландшафтов. Значительное внимание уделено процессам миграции. Так, подробно рассмотрены геохимические особенности ландшафтов суши (сельскохозяйственных, промышленных, лесотехнических, селитебных, дорожных) и аквальных ландшафтов, в том числе — искусственных водоемов.

Особое место занимают ландшафты населенных пунктов. Детально разбираются принципы их классификации.

Рассматриваются законы, определяющие поведение химических элементов в геохимических ландшафтах и развитие эколого-геохимических изменений как в пределах одного ландшафта, так и в группе сопредельных ландшафтов.

Глава 8. Особенности миграции и концентрации химических элементов в начальный период формирования ноосферы

Миграция химических элементов в рассматриваемый период происходит под воздействием природных и антропогенных факторов. При этом роль последних постоянно возрастает. В главе приводятся основные показатели, определяющие особенности миграции элементов в период формирования ноосферы. По мнению автора, к ним относятся следующие:

соотношение масс химических элементов, находящихся и мигрирующих в биосфере в разных формах;

интенсивность миграции;

формирование новых геохимических барьеров;

дальность миграции.

В отдельном разделе разбираются особенности техногенных геохимических аномалий. Рассматриваются закон о составе ассоциаций химических элементов, образующих крупные техногенные аномалии, и следствия, вытекающие из этого закона.

Глава 9. Принципы комплексной эколого-геохимической оценки состояния окружающей среды

Приводятся общие и специфические требования к оценке процессов и явлений, протекающих в биосфере. Подробно рассматриваются особенности качественной и количественной эколого-геохимической оценки состояния территорий и его (состояния) изменений. С позиции экологической геохимии дается характеристика ряда нормирующих показателей.

Рассматриваются возможность и необходимость использования новых эколого-геохимических показателей. Кратко разбирается возможность экономической оценки территорий и происходящих на ней экологических изменений.

Глава 10. Основы методики проведения эколого-геохимических исследований

В заключительной главе рассматривается методика эколого-геохимических исследований, проводимых на ландшафтно-геохимической основе. Разбираются общие требования к исследованиям, проводимым на суше и в пределах аквальных ландшафтов; требования к проектированию работ, составлению картографированных материалов. Отдельно рассматриваются отбор проб, оформление полевых материалов, подготовка проб к анализу и требования к аналитическим работам.

Summary

Chapter 1. Subject, history and tasks of the ecological geochemistry

General information is given on the new science that was born on the boundary between general geochemistry, geology, ecology, landscape geochemistry, soil science, biogeochemistry. The history of formation of the science is concisely considered. There is showed a most important contribution to the formation of ecogeochemistry of such prominent scientists as V.I. Vernadskiy, F.V. Clark, V.M. Goldschmidt, B.B. Polynov, V.V. Dokuchaev, A.I. Perelman, V.V. Dobrovolskiy and others.

Chapter 2. Main terms and definitions

A number of terms and concepts are concisely dealt with, used in the manual. Knowing of them is necessary for studying of ecological geochemistry. All of them are divided into four main sections: 1. Geological, physical and chemical, and geochemical proper terms and definitions; 2. Ecobiological definitions; 3. Concepts of geochemical landscapes and geochemical barriers; 4. The ones of the noosphere andtechnogenesis. This make possible for the potential readers of the book to begin an acquaintance of ecogeochemistry without deep studying of geology, biology, ecology, geochemistry, landscape geochemistry.

Chapter 3. The main forms of state of chemical elements in the Earth's crust

A definition of the forms of state of chemical elements is given that is understood as systems of different relatively stable chemical equilibriums of these elements. The most significant in the biosphere 9 forms of state of chemical elements are dealt with: minerals, isomorphic, water solutions, gas mixtures, colloidal and sorption forms, magmatic, biogenic, state of dispersion, technogenic ones. Forthe first time for the biosphere colloidal and sorption forms and technogenic compounds has been considered. The information on the distribution of forms of state in the biosphere in their connection with main anthropogenic processes and that on the stability in alternating conditions of the biosphere are given.

Chapter 4. Dispersion of chemical elements

The information on the composition of continental and oceanic crust is given. General trends in chemical elements distribution in the Earth's crust on the whole and in different kinds of its constituent rocks. For the first time there has been considered the influence exerted on organisms in their habitat by both

absolute values of chemical elements concentrations and dispersion of their cl;u к concentrations in different geochemical systems. Definitions of parameters of absolute and relative dispersions of chemical elements are given. Data are presented concerning the laws of chemical elements distribution in geochemical systems, geo chemical anomalies of a different scales and methods for their determining; absolute and relative dispersion of clarks, coefficients of biological uptake, excessive and deficient for organisms elements, natural associations of chemical elements at higher concentrations, located in different geochemical systems.

Chapter 5. Migration of chemical elements

The information on the energy sources by means of which migration of chemical elements takes place in the biosphere is presented. Geochemical cycles, three main types and four kinds of migration of chemical elements within the habitat of living organisms are dealt with. Agents of migration both inner derived from properties of atoms and their compounds and outer brought about by conditions in which migration takes place are widely considered. Special attention is paid to zonal depositions of elements, migrating in solutions, to influence of radioactive decay and different biogeochemical processes on migration. Progressive evolution of migration processes in the Earth's history is considered.

Chapter 6. Geochemical barriers and concentration of chemical elements

There considered a fundamental concept, introduced into natural sciences by academician A.I. Perelmanin 1961 - geochemical barriers. Geochemical barriers are classified. For main classes such as physical and chemical, biogeochemical, mechanical and social barriers are dealt with in the charter. Peculiarities of chemical elements and their compounds' concentration on different kinds of barriers are considered. Geochemical barriers are characterized in a way that enables to make a quantitative assessment of each one. There is demonstrated a possibility of forecasting of concentrations of some chemical elements and compounds on certain geochemical anomalies.

Chapter 7. Geochemical landscapes

For the first time in the manual the classification of geochemical landscapes developed and tested by the author is given. Main geochemical peculiarities of natural and technogenic landscapes are investigated, a special attention being paid to processes of migration and concentration of these. Geochemical peculiarities of terrestrial (agricultural, industrial, urban, lumbering, road) and aqual landscapes, artificial water bodies included, are considered.

Special attention is paid to the landscapes of populated areas, dwelling upon the principles of their classification.

The laws, describing a behavior of chemical elements within landscapes and development of ecogeochemical changes both within a landscape and within groups of adjoining landscapes are considered.

Chapter 8. Peculiarities of migration and concentration of chemical elements at the first period of the noosphere formation

Migration and concentration of chemical element during the period in question are taking place under influence of natural and anthropogenic agents, with a contribution of the formers gradually increasing. Parameters determining peculiarities of migration of elements are described. In the author's opinion they are as follows:

mass ratio of chemical elements, presenting and migrating in the biosphere in different forms;

migration intensivity;

new geochemical barriers formation;

distance of migration.

In the special section of the chapter peculiarities of technogenic geochemical anomalies are dealt with. The law of composition of the associations of chemical elements, forming large technogenic anomalies and consequences, arising out of this law are considered.

Chapter 9. Principles of the integrated ecogeochemical assessment of the environmental status

General and special requirements to assessment of the processes and phenomena taking place in the biosphere are given in the chapter. Peculiarities of qualitative and quantitative ecogeochemical assessment of area's status and its alteration are considered in details. From the ecogeochemical point of view some normalizing indices are characterized. Possibility and necessity of using new ecogeochemical indices are considered. The possibility of making economic assessment of the areas and ecological changes, taking place within these areas are concisely considered.

Chapter 10. Main principles of the technique for ecogeochemical investigations

In the chapter the technique for ecogeochemical investigations, carried out on the landscape geochemical basis is considered. General requirements to investigations, concerning planning field works, cartographical materials, sampling, preparing samples to analysis and others are considered.

Оглавление

1. ВВЕДЕНИЕ В ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ ГЕОХИМИЮ

Глава 1. ПРЕДМЕТ, ИСТОРИЯ И ЗАДАЧИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ГЕОХИМИИ 5
1.1. Общие сведения . . . . . S
1.2. История развития 11

Глава2. ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ПОНЯТИЯ 23
2.1. Геологические, физико-химические и собственно геохимические понятия — 2 3
2.2. Эколого-биологические термины и понятия 50
2.3. Понятия о геохимических ландшафтах и барьерах 69
2.4. Понятие о ноосфере и техногенезе 77

2. ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ В БИОСФЕРЕ

Глава 3. ОСНОВНЫЕ ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЗЕМНОЙ КОРЕ 85
3.1. Основные понятия 85
3.2. Самостоятельные минеральные виды 86
3.2.1. Общие сведения 86
3.2.2. Минералы и антропогенные процессы 87
3.2.3. Основные принципы кристаллохимии 89
3.2.4. Связь основных свойств минералов с кристаллохимическими показателями 93
3.2.5. Минералы в биосфере 100
3.3. Изоморфная форма нахождения химических элементов 101
3.3.1. Общие сведения 101
3.3.2. Явление изоморфизма и антропогенные процессы 102
3.3.3. Факторы изоморфизма 103
3.3.4. Изоморфные смеси в биосфере 106
3.4. Водные растворы 109
3.4.1. Общие сведения 109
3.4.2. Вода и антропогенные процессы . . . . . ПО
3.4.3. Разложение и образование воды в биосфере 113
3.4.4. Состояние воды в биосфере и состав природных растворов 114
3.5. **Газовые смеси** 120
3.5.1. Общие сведения 120
3.5.2. Газы и антропогенные процессы 122
3.5.3. Газы в биосфере и состав природных газовых смесей 124
3.6. Коллоидная и сорбированная формы нахождения элементов 126
3.6.1. Общие сведения 126
3.6.2. Коллоиды и антропогенные процессы 128
3.6.3. Адсорбция молекул и ионов 129
3.6.4. Ионный обмен в водных растворах 132
3.6.5. Миграция и старение коллоидов 133
3.7. Магматические расплавы 134
3.7.1. Общие сведения 134
3.7.2. Магматические расплавы и антропогенная деятельность 135
3.7.3. Состав расплавов 135
3.8. Биогенная форма 136

3.8.1. Общие сведения . . . 136
3.8.2. Организмы и антропогенная деятельность . . . 137
3.8.3. Специфика живого вещества . . . 141
3.8.4. Бесклеточное живое вещество (вирусы) . . . 142
3.8.5. Бактерии . . . 143
3.8.6. Растения; процесс фотосинтеза . . . 148
3.8.7. Грибы . . . 156
3.8.8. Животные . . . 157
3.9. Состояние рассеяния . . . 160
3.9.1. Общие сведения; закон всеобщего рассеяния . . . 160
3.9.2. Состояние рассеяния и антропогенная деятельность . . . 161
3.10. Техногенные соединения . . . 163
3.10.1. Общие сведения . . . 163
3.10.2. Техногенные соединения и антропогенные процессы . . . 164
3.10.3. Характеристика ряда распространенных техногенных соединений, не имеющих природных аналогов . . . 167

Глава 4. РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ . . . 177
4.1. Общие сведения о строении и составе Земли . . . 177
4.1.1. Вводные положения . . . 177
4.1.2. Ядро и мантия . . . 177
4.2. Земная кора . . . 180
4.2.1. Общие сведения . . . 180
4.2.2. Океаническая кора (строение, рельеф) . . . 181
4.2.3. Состав поверхности океанической коры . . . 184
4.2.4. Континентальная кора (строение, рельеф) . . . 185
4.2.5. Состав поверхности континентальной коры . . . 187
4.3. Законы распределения химических элементов в различных геохимических системах . . . 189
4.4. Эколого-геохимические аномалии . . . 191
4.4.1. Общие сведения . . . 191
4.4.2. Положительные и отрицательные аномалии . . . 192
4.4.3. Выявление аномалии . . . 192
4.5. Кларки и фоновые содержания химических элементов . . . 197
4.5.1. Кларки земной коры (литосферы) . . . 197
4.5.2. Местные кларковые содержания . . . 206
4.5.3. Кларки различных типов горных пород, почв, океанических осадков, вод. Их возможное влияние на организмы . . . 206
4.6. Природные геохимические аномалии. Месторождения полезных ископаемых 241
4.6.1. Общие сведения . . . 241
4.6.2. Геохимические поля концентрации и перераспределения химических элементов, отвечающие районам и узлам месторождений полезных ископаемых . . . 244
4.6.3. Вторичные геохимические поля рассеяния . . . 247
4.6.4. Ассоциации химических элементов, находящихся в повышенных концентрациях . . . 249

3. МИГРАЦИЯ И КОНЦЕНТРАЦИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В БИОСФЕРЕ

Глава 5. МИГРАЦИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ . . . 259
5.1. Общие сведения. Геохимические циклы миграции . . . 259

5.2. Виды и типы миграции химических элементов 264
5.3. Основные факторы миграции химических элементов в земной коре 267
5.3.1. Внутренние факторы 267
5.3.2. Внешние факторы 275
5.4. Некоторые особенности миграции элементов в биосфере 282
5.4.1. Особенности, связанные с биохимическими процессами 282
5.4.2. Особенности механической миграции 285
5.4.3. Диффузия 290
5.4.4. Электрохимические процессы при миграции элементов 291
5.4.5. Ведущие элементы. Второе правило А.И. Перельмана 292
5.5. Об особенностях эволюции процессов миграции химических элементов 292

Глава 6. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ БАРЬЕРЫ И КОНЦЕНТРАЦИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ 297
6.1. Общие сведения 297
6.2. Физико-химические барьеры 302
6.2.1. Сероводородные барьеры 302
6.2.2. Кислородные барьеры 312
6.2.3. Глеевые барьеры 316
6.2.4. Щелочные барьеры 317
6.2.5. Кислые барьеры 320
6.2.6. Испарительные барьеры 321
6.2.7. Сорбционные барьеры 327
6.2.8. Термодинамические геохимические барьеры 329
6.3. Механические барьеры 330
6.3.1. Общие сведения 330
6.3.2. Барьеры для веществ, перемещающихся в водных потоках 331
6.3.3. Барьеры для веществ, перемещающихся в воздушных потоках 333
6.4. Биогеохимические барьеры 334
6.4.1. Общие сведения 334
6.4.2. Основные факторы концентрации элементов на биогеохимических барьерах 342
6.5. Социальные геохимические барьеры 353
6.5.1. Общие сведения 353
6.5.2. Некоторые геохимические особенности социальных барьеров 354
6.6. Комплексные геохимические барьеры 355

4. ФОРМИРОВАНИЕ НООСФЕРЫ И ПОВЕДЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Глава 7. ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ЛАНДШАФТОВ 359
7.1. Общие сведения 359
7.2. Классификация геохимических ландшафтов 362
7.2.1. Ландшафты суши 362
7.2.2. Водные ландшафты 402
7.2.3. Ландшафты населенных пунктов 411
7.3. Законы поведения химических элементов в ландшафтах и развития в них эколого-геохимических изменений 419
7.3.1. Основные положения 419

7.3.2. Геохимическое поведение химических элементов в биосфере 421
7.3.2. Связь между эколого-геохимическими изменениями в пределах ландшафта 426
7.3.3. Влияние смены одних ландшафтов другими на эколого-геохимическую обстановку в соседних ландшафтах 430
7.3.4. Ландшафтно-геохимические условия и соотношение концентраций химических элементов в организмах 433

Глава 8. ОСОБЕННОСТИ МИГРАЦИИ И КОНЦЕНТРАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В НАЧАЛЬНЫЙ ПЕРИОД ФОРМИРОВАНИЯ НООСФЕРЫ 436
8.1. Общие сведения 436
8.2. Изменение соотношения масс химических элементов, находящихся и мигрирующих в различных формах нахождения 437
8.2.1. Общие положения 437
8.2.2. Коллоидная и сорбированная формы нахождения 437
8.2.3. Минеральная форма 445
8.2.4. Биогенная форма 447
8.2.5. Техногенная форма 447
8.2.6. Водные растворы 448
8.2.7. Газовые смеси 451
8.3. Изменение интенсивности миграции 456
8.3.1. Общие положения 456
8.3.2. Коллоидная и сорбированная формы 457
8.3.3. Минеральная форма 464
8.3.4. Биогенная форма 467
8.3.5. Техногенные соединения 472
8.3.6. Водные растворы 476
8.3.7. Газовые смеси 481
8.3.8. Органические соединения 482
8.3.9. Социальная миграция 489
8.4. Появление новых геохимических барьеров 491
8.4.1. Общие положения 491
8.4.2. Физико-химические барьеры 491
8.4.3. Механические барьеры 493
8.4.5. Биогеохимические барьеры 494
8.4.6. Социальные геохимические барьеры 495
8.4.7. Комплексные техногенные барьеры 496
8.5. Изменение дальности миграции 496
8.6. Техногенные геохимические аномалии 498

5. ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Глава 9. ПРИНЦИПЫ КОМПЛЕКСНОЙ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ 505
9.1. Общие сведения 505
9.2. Основные виды антропогенных изменений в биосфере 507
9.3. Основные требования к эколого-геохимической оценке состояния биосферы 508
9.3.1. Общие требования к оценке процессов и явлений 508
9.3.2. Специфические требования к оценке биосферных процессов 509

9.4. Качественная оценка состояния территории и его изменений 515
9.5. Количественная оценка состояния территорий и его изменений 518
9.5.1. Основные положения . . . . . 51»
9.5.2. Характеристика предельно допустимых концентраций с точки зрения экологической геохимии 519
9.5.3. Геохимические показатели оценки состояния окружающей среды и ее изменений 527
9.5.4. Принципы количественной оценки и введение новых эколого-геохимических показателей 528
9.6. Экономическая оценка 531

Глава 10. ОСНОВЫ МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИИ 534
ЮЛ. Основные понятия и общие требования . . . . . -534
10.1.1. Исследования на суше 534
10.1.2. Исследования в пределах аквальных ландшафтов 540
10.2. Проектирование и организация эколого-геохимических исследований на суше и в пределах аквальных ландшафтов 543
10.3. Составление схематических карт геохимических ландшафтов камеральным путем 545
10.3.1. Исследования на суше 546
10.3.2. Исследования в пределах аквальных ландшафтов 552
10.4. Полевые эколого-геохимические исследования 558
10.4.1. Исследования на суше 558
10.4.2. Исследования в пределах аквальных ландшафтов 563
10.5. Отбор проб и оформление полевых материалов 565
10.5.1. Общие положения 565
10.5.2. Литохимическое опробование 567
10.5.3. Биогеохимическое опробование 569
10.5.4. Гидрохимическое опробование 571
10.6. Подготовка проб к анализу 572
10.6.1. Литохимические пробы 572
10.6.2. Биогеохимические пробы 573
10.6.3. Гидрогеохимические пробы 573
10.7. Основные требования к аналитическим работам 574
10.8. Определение фоновых и аномальных содержаний 577
10.9. Отчетность 578

con

Приложения 601

Контрольные вопросы 61C

Рекомендуемая литература . . . . . 61~

Краткая аннотация 626

Учебное издание

Алексеенко Владимир Алексеевич

Экологическая геохимия

Учебник

Редактор Е.В.Комарова
Корректор Т.М.Толмачева
Переплет Д.Ю.Коночкина
Компьютерная верстка П.Ю.Аборина

ЛР № 071045 от 09.06.99
Подписано в печать 01.09.99. Гарнитура Тайме
Формат 60x88/16. Бумага офсетная. Печать офсетная
Печ. л. 39,5. Усл. печ. л. 38,3- Тираж 10 000 экз. (1-й завод - 5000 экз.)
Заказ №2031

Отпечатано в ГУП ИПК "Ульяновский Дом печати"
432601, Ульяновск, ул. Гончарова, 14

По вопросам приобретения литературы
обращаться по адресу:
105318, Москва, Измайловское ш., 4
Тел./факс: (095) 369-5668, 369-7727
Электронная почта: universitas@mail.ru

РОСТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Старейший на юге России Ростовский государственный университет ведет свою историю от основанного в 1869 году и эвакуированного в 1915 году в Ростов-на-Дону императорского Варшавского университета.

В составе университета 13 факультетов, на которых ведется подготовка специалистов по 8 направлениям и 35 специальностям. В университете обучается около 12 тысяч студентов, ежегодный прием более 2,5 тысяч человек.

При университете функционируют 8 научно-исследовательских институтов, учредителем которых он является, а также НКТБ «Пьезоприбор», ИППК преподавателей гуманитарных и социальных наук, Южно-российский центр информатизации высшей школы, Зональная научная библиотека, Ботанический сад, Вычислительный центр и другие учебные и вспомогательные подразделения.

В университете работает около 4 тысяч сотрудников, из них: профессорско-преподавательский состав — 1124 человека, научные работники — 794 человека, среди которых 201 доктор наук и 1102 кандидата наук. В коллективе университета 3 действительных члена и 2 члена-корреспондента РАН, более 70 академиков и членов-корреспондентов отраслевых и международных академий, 18 заслуженных деятелей науки РФ, 8 лауреатов Государственных премий, 12 лауреатов государственной стипендии для выдающихся ученых.

Традиционно сложившаяся география международного сотрудничества РГУ включает в себя университеты Европы, Азии, Америки.

Почетными докторами РГУ являются М.А. Шолохов, А.И. Солженицин, М.В. Балгай, Р.З. Сагдеев (Россия). Ч.П. Сноу, Питер В.А. Вест, С. Смейл (Великобритания), А. Кляйн, К. Андербрюгге, Р. Гретц, М. Хубер, А. Жунке (Германия), М. Познан (Польша), Н.Г. Чумаченко (Украина), Р. Гуглиеметти (Франция), Д.Ж. Маркович (Югославия).

Ректор РГУ — доктор физико-математических наук, профессор Александр Владимирович Белоконь.

НОВОРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ГЕОХИМИИ БИОСФЕРЫ РГУ

Проводит исследования по следующим основным научным направлениям:

- проблемы охраны окружающей среды и рационального природопользования;
- проблемы миграции и концентрации химических элементов в природных и техногенных геохимических ландшафтах;
- проблемы накопления металлов растениями в различных ландшафтно-геохимических условиях;
- проблемы прогнозирования и поиска месторождений полезных ископаемых геохимическими методами.

Только за последние 3 года сотрудниками института опубликовано пять научных монографий и два учебника для студентов высших учебных заведений. Составлены и изданы карты геохимических ландшафтов различных масштабов для юга европейской части России, Украины и Северного Вьетнама. Ведутся работы на Северном Кавказе, в Предкавказье, в Красноярском крае, в Воронежской области и Хакаской республике.

Институт готов проводить работы на хоздоговорных началах по указанным основным научньм направления, по комплексной качественной и количественной оценке эколого-геохимического состояния природных, сельскохозяйственных, промышленных и селитебных ландшафтов; по разработке мероприятий, улучшающих экологическую обстановку; по установлению местных показателей, нормирующих экологически благоприятное содержание химических элементов в почвах и растениях. Проводится прием в аспирантуру и докторантуру. Основатель и директор института — автор настоящего учебника.

353918, Новороссийск, просп. Ленина, 54.
Телефон: (8617)23-03-03. Факс: (8617) 23-03-03

КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

16 июня 1998 г. исполнилось 80 лет со дня основания первого технического учебного заведения Кубани — Северо-Кавказского политехнического института (СКПИ), ныне Кубанского государственного технологического университета (КубГТУ). Своими достижениями и успехами за период существования КубГТУ обязан прежде всего выдающимся ученым, основателям многих научных и педагогических школ.

Во всем мире известны кубанские школы, кафедры технологии жиров, виноделов-шампанистов, эфиромасличной и парфюмерной промышленности, товароведения, лекарственного и фармацевтического сырья, технологии сортоведения табака, биохимии растительного сырья, технологии сахаристых веществ, хранения и переработки зерна и других направлений (химические технологии, технологическое оборудование, строительство дорог, мостов и т.д.). В настоящее время в университете свыше 11 тыс. студентов, обучающихся по 50 специальностям, 800 преподавателей, среди который 84 доктора наук, 10 заслуженных деятелей РФ, почетные профессора Фонда Сороса, 50 педагогов, избранных в состав международных и российских академий. Ректор КубГТУ — академик А.А.Петрик.

60 лет в Новороссийске существует филиал КубГТУ, который подготовил за все время более 15 тыс. специалистов и в данное время имеет эколого-экономическую направленность. Впервые в России была начата подготовка и осуществлено два выпуска по специальности «Государственное и муниципальное управление» — менеджеров (инженеров-экономистов), «молодых чиновников», которые могут управлять народным хозяйством, владея вопросами технологий различных отраслей, зная экологические, экономические, юридические основы и тонкости муниципального и регионального управления. Также впервые в России произведено уже три выпуска экологов по специальности «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов», специализация — геохимия.

350072, Краснодар, ул. Московская, д. 2

НКТБ «ПЬЕЗОПРИБОР»

Научное конструкторско-технологнческое бюро «Пьезоприбор» РТУ более 20 лет специализируется в сфере пьезоэлектрического приборостроения — области науки и техники, к которой относятся приборы и устройства, содержащие электромеханические преобразователи, работающие на основе пьезоэлектрического эффекта.

Практическое использование пьезоэлектрических устройств: измерительная техника, системы автоматики, радиотехника, связь, ультразвуковые технологические процессы и процессы нанотехнологии, космическое приборостроение, медицинская техника.

От научных исследований, патентования и сертификации до серийного производства — путь разработок, выполненных в НКТБ «Пьезоприбор».

НАУЧНО- ТЕХНИЧЕСКИЕ НАПРАВЛЕНИЯ

• Теоретические и экспериментальные исследования по физике пьезоэлектрических преобразователей, процессов поляризации и технологии получения пьезомотериалов.

• Разработка новых принципов построения чувствительных элементов пьезоэлектрических преобразователей для датчико-преобразующей аппаратуры.

• Создание пьезо- и сегнетоэлектрических материалов (в том числе композиционных), стабильных к внешним экстремальным воздействиям.

• Проектирование пьезотехнических устройств и приборов.

• Серийный выпуск пьезоэлектрических преобразователей, датчиков и устройств пьезотехники различного назначения.

• Разработка и выпуск автоматизированного контрольно-испытательного и экологически безопасного высокопроизводительного технологического оборудования для производства пьезокерамических изделий.

• Создание специализированного оборудования для исследования и аттестации пьезоматериалов, датчиков и пьезопреобразователей.

КАДРЫ И ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БАЗА

В НКТБ работают 140 сотрудников.

Площадь производственных помещений составляет 9000 м^2.

Бюро располагает уникальной базой для гидроакустических испытаний, специализированным исследовательским, технологическим и контрольно-измерительным оборудование, опытным производством для серийного выпуска пьезотехнических изделий.

ОСНОВНЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ

• Разработаны унифицированные ряды пьезоэлектрических элементов, модулей и датчиков для измерения динамических процессов в ракетно-космической технике, промышленного мониторинга в топливно-энергетическом комплексе, транспорте и других отраслях техники.

• Создана технологическая база для производства широкой номенклатуры изделий пьезотехники.

• Разработаны оригинальные пьезотехнические устройства для адаптивной оптики, нанотехнологии, сейсморазведки, систем пожаротушения, ультразвуковой медицинской диагностики.

• Организован выпуск товаров народного потребления.

РАБОТА С ЗАКАЗЧИКАМИ И СОТРУДНИЧЕСТВО

Наибольший объем работ выполняется по НИР и ОКР для Российского космического агентства в рамках Федеральной космической программы.

В плане научно-технического сотрудничества и организации услуг ведется работа с предприятиями Ростова-на-Дону и области.

Учебно-методическая деятельность осуществляется на физическом факультете Ростовского госуниверситета и аэрокосмическом факультете Академии оборонных отраслей промышленности (Москва).

ТЕМАТИКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ РАЗРАБОТОК

• Организация промышленного выпуска элементной базы для гидроакустики.

• Создание и выпуск новых пьезоэлектрических приборов и устройств для спецтехники и товаров народного потребления.

• Разработка и производство пьезопреобразователей для современной медицинской техники.

344090, Ростов-на-Дону, ул. Мильчакова, 10.
Телефон: (863-2) 22-34-01. Факс: (863-2)22-69-23