

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

В.А. Алексеенко, С.А. Бузмаков, М.С. Панин

ГЕОХИМИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

*Допущено методическим советом Пермского государственного
национального исследовательского университета
в качестве учебного пособия для студентов,
обучающихся по специальности «Природопользование»
направления «Экология и природопользование»*

Пермь 2013

УДК 502:550.4
ББК 20.1+26.30
А 47

Алексеевко В.А.

А 47 Геохимия окружающей среды: учеб. пособие для вузов / В.А. Алексеевко, С.А. Бузмаков, М.С. Панин; Перм. гос. нац. иссл. ун-т. – Пермь, 2013. – 359 с.: ил.

ISBN 978-5-7944-2113-2

В учебном пособии излагаются основные понятия и законы геохимии, знание которых необходимо для использования в геохимии окружающей среды, экологической геологии, биогеохимии, общей геологии, биологии, экологии.

Структура и содержание издания учитывают требования кредитной системы подготовки бакалавров и магистров, предполагающих высокую самостоятельность в выборе учебного материала и постижении знаний.

Предназначено для студентов, магистрантов, преподавателей и докторов PhD вузов экологических, геологических, биологических и химических специальностей, специалистов в области геохимии.

Учебное пособие посвящается памяти двух великих ученых, наших современников – профессоров Александра Ильича Перельмана и Всеволода Всеволодовича Добровольского. Обучение по написанным ими учебникам, общение с ними способствовали росту нашей профессиональной деятельности, а также работе над этой книгой.

УДК 502:550.4
ББК 20.1+26.30

Печатается по решению методических комиссий Пермского государственного национального исследовательского университета и Южного федерального университета

Рецензенты: лаборатория геоэкологии горнодобывающих регионов Горного института УрО РАН (зав. лабораторией **А.А. Бачурин**);
Б.Е. Шенфельд, д-р техн. н., проф., директор ФГБУ «Уральский государственный научно-исследовательский институт региональных проблем»

ISBN 978-5-7944-2113-2 © Алексеевко В.А., Бузмаков С.А., Панин М.С., 2013
© Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2013

THE MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE RUSSIAN FEDERATION
State educational institution of higher education
«PERM STATE NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY»

V.A. Alekseenko, S.A.Buzmakov, M.S. Panin

GEOCHEMISTRY OF ENVIRONMENTAL

Perm 2013

UDK 502:550.4
BBK 20.1+26.30
A 47

Alekseenko V.A.

A 47 **Geochemistry of Environmental: monograph for schools / V.A. Alekseenko, S.A. Buzmakov, M.S. Panin; Perm state university national reseach. – Perm, 2013. – 359 с.: ил.**

ISBN 978-5-7944-2113-2

This textbook provides an introduction to basic concepts, rules, laws and legislation, knowledge of which is necessary for use in environmental geochemistry, environmental geology, biogeochemistry, general geology, biology and ecology.

The manual is intended for students, undergraduates and professors of universities and doctors PhD of biological, ecological and chemical specialties, experts in the field of geochemistry. Its structure and content take into consideration the requirements of the credit system of bachelor's and master's degrees, suggesting a high autonomy in the choice of teaching material and comprehension of knowledge.

The manual is dedicated to the memory of two great scientists, our contemporaries, Professors Alexander Ilyich Perelman and Vsevolod Vsevolodovich Dobrovolski. Training on written textbooks, communication with them contributed to our work and, in particular, work on this book.

UDK 502:550.4
BBK 20.1+26.30

Published by the decision of the Editorial Board
Perm state national research university and Southern Federal University

Reviewers: Laboratory of Environmental Geoscience mining regions of Mining Institute Ural department Russian Academy of Sciences (Head of the Laboratory **A.A. Bachurin**);

B.E. Shenfeld, Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of Ural State Research Institute of Regional Problems.

ISBN 978-5-7944-2113-2 © Alekseenko V.A., Buzmakov S.A., Panin M.S., 2013
© Perm state national research university, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	7
ЧАСТЬ I	
ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОНЯТИЯ	11
1.1. Общие понятия, классификации химических элементов	11
1.2. Процессы, минералы, горные породы	18
1.3. Оболочки земного шара, геохимические системы	40
1.4. Важнейшие показатели, используемые для оценки геохимических систем и происходящих в них изменениях	48
ЧАСТЬ II	
ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА	76
2.1. Общие понятия	76
2.2. Геохимические барьеры	213
2.3. Геохимические ландшафты	231
ЧАСТЬ III	
ПРАВИЛА, ЗАКОНОМЕРНОСТИ, ЗАКОНЫ	262
3.1. Распространенность, распределение и концентрация химических элементов в литосфере	262
3.2. Химические элементы в геохимических ландшафтах	302
3.3. Химические элементы и живое вещество	316
ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ТЕРМИНЫ	329
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	350
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	354

CONTENTS

INTRODUCTION	7
PART I	
GEOLOGICAL, PHYSICAL-CHEMICAL AND GEO-CHEMICAL CONCEPTS	11
1.1. General concepts, classification of chemical elements	11
1.2. Processes, minerals, rocks.	18
1.3. Shell of the globe, the geochemical system.	40
1.4. The most important indicators used to assess the geochemical systems and the changes occurring in them	48
PART II	
ENVIRONMENT	76
2.1. General concepts	76
2.2. Geochemical barriers	213
2.3. Geochemical landscapes	231
PART III	
RULES, REGULARITIES, LAWS	262
3.1. The prevalence, distribution and concentration of chemical elements in the lithosphere.	262
3.2. Chemical elements in geochemical landscapes.	302
3.3. Chemical elements and living matter.	316
DEFINITIONS AND TERMS	329
RESOLUTION	350
BIBLIOGRAPHY	354

ПРЕДИСЛОВИЕ

В предлагаемом учебном пособии рассматриваются, как следует из его названия, основные термины и понятия, используемые в *геохимии окружающей среды*. Этому посвящены две первые части пособия. В третьей части приводится ряд установленных к настоящему времени правил, закономерностей и законов, знание которых необходимо для проведения эколого-геохимических работ на современном уровне.

Что же представляет собой эта отрасль науки, называемая геохимией окружающей среды и только сейчас становящаяся самостоятельной? Что она изучает? Судя по наименованию, в первую очередь можно сказать, что она является составной частью другой крупной научной системы – *общей геохимии*. Сама геохимия сейчас отмечает своё столетие. Возникла она в 1908-1911 гг. на кафедре минералогии Московского университета им. М.В. Ломоносова, возглавлявшейся В.И. Вернадским. В числе основоположников этой молодой науки следует назвать, кроме В.И. Вернадского, его аспиранта (впоследствии академика) А.Е. Ферсмана и норвежского ученого В.М. Гольдшмидта. Изучает геохимия историю атомов Земли, их миграцию и концентрацию в её различных природных и техногенных системах. В последние десятилетия геохимия занимается исследованием этих проблем, касающихся других космических объектов.

Геохимия относится к числу наиболее динамично развивающихся наук. Несмотря на свой, можно сказать «младенческий возраст», она стала «матерью» для таких наук, как биогеохимия, геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых, геохимия ландшафта, экологическая геохимия. Геохимические исследования стали неотъемлемой частью почвоведения, здравоохранения, географии, химической технологии, наук, занимающихся сельским хозяйством. Данные геохимических исследований используются в строительстве, разведке и эксплуатации месторождений и даже в истории.

Однако мы рассматриваем не классическую или, как говорят, «чистую геохимию», а геохимию окружающей среды. Она возникла на стыке *классической геохимии, биогеохимии, геохи-*

мии ландшафта, экологии и учения об окружающей среде. Существующий в настоящее время учебник по экологической геохимии частями начал переиздаваться в 1997, а полностью был издан в 2000 г. (Алексеев, М.: Логос). *Биогеохимия* изучает историю атомов химических элементов, их миграцию и концентрацию в живом веществе. Первая полная сводка данных, относимых к биогеохимии, была написана В.И. Вернадским в 1940 г. В *экологии* рассматриваются условия существования животных и растительных организмов, взаимосвязь между этими организмами, а также между ними и средой обитания. *Геохимия ландшафта* изучает историю атомов, их миграцию и концентрацию в ландшафте, являющимся биокосной частью биосферы. *Учение об окружающей среде (энвайроментология)* разрабатывает представления о природной, квазиприродной, артеприродной, техногенной средах.

Исходя из всего изложенного, можно считать, что *геохимия окружающей среды*, используя достижения всех естественных наук и, в первую очередь, геохимии, биогеохимии, геохимии ландшафта и экологии, изучает с позиций распространенности, распределения, форм нахождения, процессов миграции и концентрации химических элементов взаимодействие человека со средой своего обитания. В настоящее время практически все экологические проблемы невозможно рассматривать без привлечения эколого-геохимической информации. Решают эти проблемы специалисты-биологи (ботаники, зоологи), почвоведы, геологи, географы и т.д., однако подавляющее большинство из них не изучали геохимию, биогеохимию, геохимию ландшафта. Так, даже у студентов-геологов с 1945 г. до конца 60-х гг. прошлого века дисциплина «геохимия» была вычеркнута из учебных планов в ВУЗах (за исключением Московского и Ленинградского государственных университетов). В связи с этим многие (в т.ч. основополагающие) термины и понятия, уже «устоявшиеся» в геохимии, биогеохимии и геохимии ландшафта, не всегда используются в их классическом понятии специалистами из смежных областей науки. Иногда это даже приводит к определенному искажению смысла. В связи с этим необходимо как-

то «стандартизировать» некоторые эколого-геохимические (а также собственно геохимические и биогеохимические) термины и понятия, дать им уже «устоявшиеся» объяснения, принятые в соответствующих науках. В настоящем учебном пособии этой проблеме посвящены её первая и вторая части.

В процессе своего развития в перечисленных выше науках, на базе которых возникла геохимия окружающей среды, были установлены многие правила, закономерности и законы. Часть их, давно используемая в геологии, геохимии ландшафта и биогеохимии, не применяется в других науках из-за ещё существующей, к сожалению, разобщенности наук. Другая часть правил, закономерностей и законов установлена совсем недавно и, возможно, в силу этого тоже еще не используется в смежных науках, особенно при решении экологических проблем. В связи с этим, после составления своеобразного справочника терминов и понятий (первая и вторая части пособия), мы решили свести вместе ряд положений, законов и закономерностей, на которые (по нашему мнению) необходимо опираться при рассмотрении экологических, эколого-геохимических проблем.

Настоящее учебное пособие – это издание справочно-информационного характера, отражающее круг понятий, терминов и категорий, прямо или косвенно связанных с экологической геохимией. Оно поможет как специалистам, так и любому человеку ориентироваться в используемой в экологической геохимии терминологии и содержании, которое вкладывается в тот или иной термин. Учебное пособие дает достаточно полное представление о предметах, объектах, процессах, категориях и т.д., обозначаемых данными терминами. Оно содержит большой цифровой материал, таблицы и рисунки, дополняющие содержание материала и уточняющие или иллюстрирующие текст.

В издании также отражены как вновь возникшие термины, связанные с геохимией окружающей среды, так и новые представления, появившиеся в экологии в последнее десятилетие. Библиографический список в какой-то степени представляет собой энциклопедию знаний. Даются, по возможности, определения терминов в соответствии с ГОСТами или рекомендуемые Международной организацией по стандартизации (ИСО), а так-

же существующими международными словарями. Приводятся несколько определений терминов в соответствии с существующими традициями их использования, принятые в природоохранной практике сокращения.

Весь объем геохимии окружающей среды невозможно включить в учебное пособие, поэтому в него вошли избранные термины. Насколько этот выбор удовлетворит пользователей учебного пособия, покажет время.

Издание предназначено для специалистов-экологов, геохимиков, геологов, биогеохимиков разных направлений, преподавателей и студентов университетов и высших учебных заведений, учителей, государственных служащих, соприкасающихся с проблемами геохимии, экологии, а также для широкого круга граждан, которые могут найти в пособии ответы на многие вопросы по охране окружающей среды.

Мы благодарны рецензентам, способствовавшим улучшению этой работы.

Замечания и отзывы просим присылать по следующим адресам:

353925, г. Новороссийск, ул. Молодёжная, 18, кв. 2,
Алексеевко Владимиру Алексеевичу, e-mail: ecogehim@mail.ru

614990, г. Пермь, ул.Букирева,15, ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», географический факультет, кафедра биогеоценологии и охраны природы, Бузмакову Сергею Алексеевичу e-mail: ler@psu.ru

071410, г. Семей, ул. Танирбергенова, 1, Семипалатинский государственный педагогический институт, Панину Михаилу Семеновичу, e-mail: pur@sgpi.kz

ЧАСТЬ I

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОНЯТИЯ

1.1. Общие понятия, классификации химических элементов

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.

Земля – одна из девяти основных планет Солнечной системы. Она относится к средним по массе, занимая третье место относительно Солнца после Меркурия и Венеры (рис. 1.1). Ее средний радиус – 6371 км. Близка к ней по размерам Венера (табл. 1.1). У Меркурия, Марса и Плутона радиус примерно в 2 раза меньше, чем у Земли, а у других планет Солнечной системы – в 3,4..., 11 раз больше. Средняя плотность Земли – 5,52 г/см³, Венеры – от 5,0 до 5,9; Марса – 3,9; Меркурия – 5,4 г/см³. Плотность остальных планет в 4-6 раз меньше.



Рис. 1.1. Расположение планет Солнечной системы относительно Солнца (вне масштаба)

Таблица 1.1

Сравнительная характеристика планет Солнечной системы

Планета	Диаметр, км	Среднее расстояние от Солнца, млн км	Период обращения по орбите	Период вращения вокруг своей оси	Наклон оси вращения	Число спутников (лун)	Относительная масса (масса Земли=1)	Плотность (плотность воды=1)	Атмосфера	Температура поверхности, \diamond С
Меркурий	4880	57,9	88 сут.	59 сут.	28°	0	0,055	5,4	Нет	Днем 350, ночью -170
Венера	12 258	108,2	224,7 сут.	243 сут. (обратное)	3°	0	0,815	5,2	CO ₂	Облака -33, твердая поверхность +480
Земля	12 756	149,6	365,26 сут.	23 ч 56 мин 4 с	23°27'	1	1,000	5,52	N, O ₂ , CO ₂ , Ar, H ₂ O	Поверхность грунта 22
Марс	6774	227,9	687 сут.	24 ч 37 мин 23 с	23°59'	2	0,108	3,9	CO ₂ , Ar(?)	Твердая поверхность -23
Юпитер	142 800	778,3	11,86 лет	9 ч 30 мин 30 с	3°05'	13	317,9	1,314	H, He	Облака -150
Сатурн	120 000	1427	29,46 лет	10 ч 14 мин	26°44'	11	95,2	0,704	H, He	Облака -180
Уран	51 800	2870	84,01 лет	11 ч (обратное)		5	14,6	1,21	H, He	Облака -210
Нептун	49 500	4497	164,8 лет	16 ч	28°48'	2	17,2	1,67	H, He	Облака -220
Плутон	5800	5900	247,7 лет	6 сут. 9 ч	?	0	0,1(?)	2(?)	He обнаружена	-230(?)

Как видно из данных, приведенных в табл. 1.1, только в атмосфере Земли есть свободный кислород, необходимый для жизни людей и большинства организмов. Следует отметить, что только на поверхности Земли выявлены водные растворы.

Химический элемент можно определить как вид атомов с определенным набором свойств. Рассматривая термин «химический элемент» с точки зрения строения атомов, можно дать такое определение:

Химический элемент – это вид атомов, характеризующийся определенной величиной положительного заряда ядра.

Редкие химические элементы. В настоящее время к редким относят около 30 химических элементов. Своё название они получили не из-за низких концентраций в земной коре, а из-за того, что эти элементы крайне редко используются (использовались) людьми. К редким сейчас относят **щелочные металлы** (Li, Rb, Cs); **редкоземельные металлы** (Y, La, Sc) и **14 лантаноидов** (Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu); **редкие щелочноземельные** (Be, Sr); редкие **высоковалентные металлы** (Zr, Hf, Nb, Ta), Ga и Ge.

Редкость использования элементов во многом объясняется отсутствием их месторождений с богатыми (в понятии, связанном с другими элементами) рудами. Следует также отметить приуроченность важнейших редкометалльных рудных формаций к комплексам таких малораспространенных и относительно недавно открытых и изученных горных пород, как карбонатиты и апограниты и др. Долгое неиспользование редких металлов во многом связано со сложностью и энергоёмкостью извлечения и с особой длительностью и сложностью получения чистых и сверхчистых металлов. Эти факторы оказали сдерживающее влияние на изучение таких эколого-геохимических особенностей редких элементов, как распространённость и распределение в почвах, растениях и водах различных геохимических ландшафтов; влияние повышенных и пониженных концентраций на различные живые организмы, в том числе на человека; изменение процессов миграции-концентрации в зависимости от изменения ландшафтно-геохимических условий и т.д. До сих

пор более чем для половины редких металлов не установлены кларковые содержания в почвах и в золе растений.

Микроэлементы – не совсем удачный термин употребляется для выделения группы химических элементов, *содержание которых в конкретной рассматриваемой геохимической системе* меньше $n \cdot 10^{-2} \%$. Один и тот же элемент может быть в различных системах и микро- и макроэлементом. При употреблении термина для биологических систем, как правило, не указывается, для чего установлена концентрация микроэлемента: для содержания в золе, сухом или влажном состоянии анализируемого вещества; это создает дополнительные трудности при обобщении данных. **Макроэлементы** – группы химических элементов, *содержание которых в конкретной, рассматриваемой геохимической системе* больше $n \cdot 10^{-2} \%$. Недостатки выделения макроэлементов рассмотрены выше.

Атом – наименьшая частица химического элемента, обладающая его химическими свойствами.

Атомы находятся не в изолированном друг от друга состоянии, а в разнообразных сочетаниях между собой. Часть из них (этих сочетаний) является относительно устойчивой и рассматривается в геохимии как форма нахождения химических элементов.

Ионы – положительно и отрицательно заряженные атомы. Даже при их небольшом содержании они оказывают чрезвычайно большое влияние на миграцию и концентрацию химических элементов в различных геохимических системах (см. разд. 1.3). Кроме того, ионы одного и того же элемента с различными зарядами могут вести себя как различные химические элементы. Так, ион Fe^{2+} ведет себя подобно Ca^{2+} и Mg^{2+} , а ион Fe^{3+} – Al^{3+} и Cr^{3+} .

Отметим, что в земной коре химические элементы находятся и мигрируют как в ионной, так и в неионной формах.

Молекула – наименьшая частица вещества, обладающая его химическими свойствами.

Геохимические классификации химических элементов проводились многими геохимиками. Одной из наиболее известных является **классификация В.М. Гольдшмидта**. Выделен-

ные им группы элементов в значительной мере отражают их преимущественное накопление в определенных слоях (сферах) Земли.

Ученый установил связь элементов, преобладающих в каждой из выделенных им геосфер, с величинами атомных объемов элементов, что довольно хорошо видно из рис. 1.2.

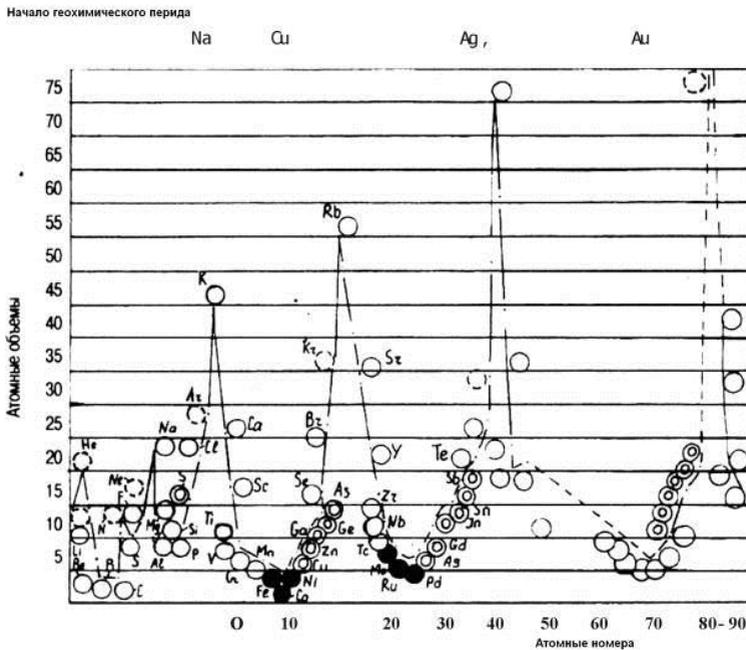


Рис 1.2. Кривая атомных объемов

Элементы, характеризующие каждую из сфер, располагаются в определенных частях кривой атомных объемов (восходящие и нисходящие ветви, вершины и т.д.). Так были выделены элементы:

- атмосфильные (благородные газы, азот);
- литофильные (Na, Mg, Al, Si, K, Ca и др.);
- халькофильные (Cu, Zn, Ag, Pb, Hg, As и др.);
- сидерофильные (Fe, Co, Ni, платиноиды).

Первые концентрируются преимущественно в атмосфере, вторые – в каменной оболочке, третьи подобны меди и образуют

сульфиды, четвертые подобны железу. Предполагаемая первоначально связь элементов с определенными сферами не имеет четких закономерностей, однако названия групп элементов сохранились. Отметим, что многие элементы могут относиться сразу к нескольким группам.

Более дробное и обоснованное разделение элементов на отдельные группы характеризует **классификацию В.И. Вернадского** (табл. 1.2), 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 наиболее характерно состояние рассеяния. **В пятой группе** находятся 7 сильно радиоактивных элементов, **в шестой** – 15 элементов редких земель.

Таблица 1.2

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

Название группы	Элементы	n
Благородные газы	He, Ne, Ar, Kr, Xe	5
Благородные металлы	Ru, Rh, Pb, (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

Классификация В.И. Вернадского более удобна, чем ранее рассмотренная, для использования в экологической геохимии. Этому особенно способствует выделение групп циклических, радиоактивных и рассеянных элементов.

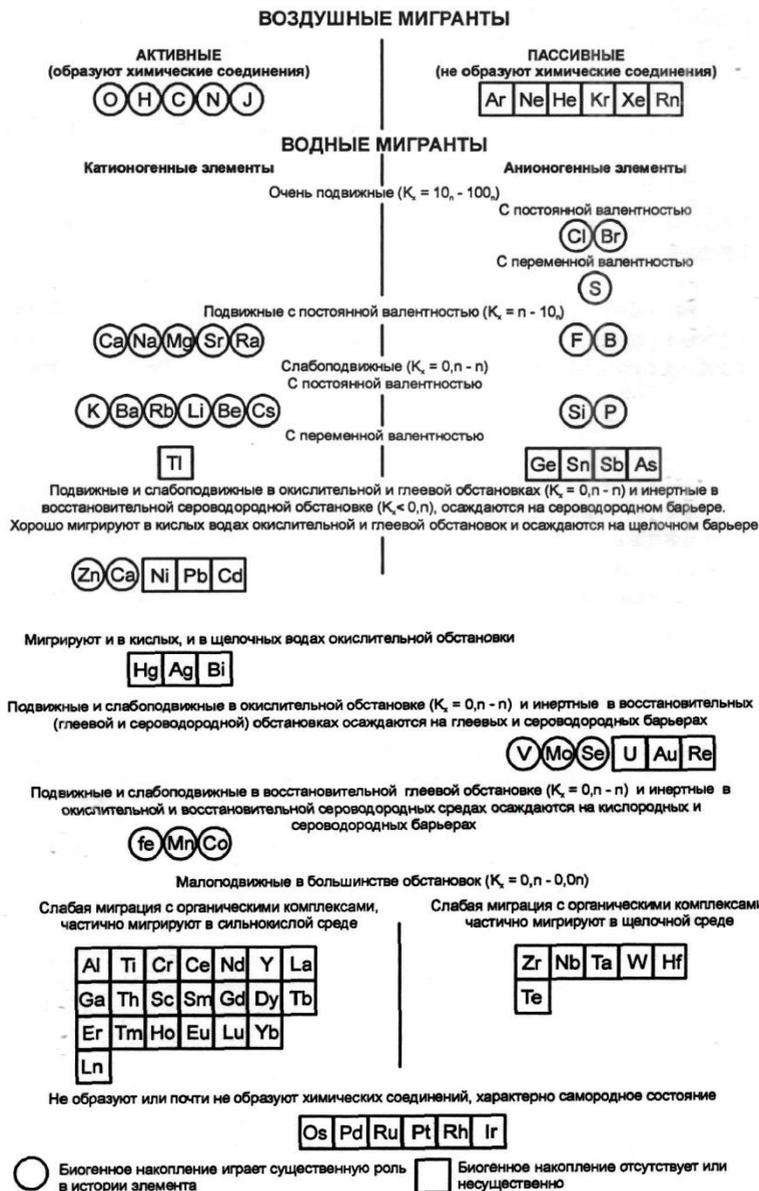


Рис. 1.3. Геохимическая классификация химических элементов по особенностям гипергенной миграции (по А.И. Перельману)

Еще более применимой должна стать при изучении биосферы и ноосферы **классификация элементов А.И. Перельмана**, по особенностям гипергенной миграции. В основу этой классификации положены наиболее характерные особенности миграции химических элементов в биосфере и их способность концентрироваться на определенных геохимических барьерах (рис. 1.3).

Сначала все элементы Перельман разделил **на две группы**: мигрирующие преимущественно в газообразном состоянии и в растворах. Было выделено 11 воздушных, и из них только 5 относятся к активным. Водные мигранты разделяются в зависимости от интенсивности миграции, которая определяется по величине коэффициента водной миграции (K_x). 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.

1.2. Процессы, минералы, горные породы

Выветривание – процесс приспособления к условиям биосферы минералов и горных пород (см. ниже), образовавшихся в глубинных условиях. Оно происходит в результате изменения физико-химической обстановки, в которой формировались эти породы и минералы до их попадания 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 (осадообразование) в результате совокупного воздействия физических, химических и биологических процессов, происходящих в биосфере.

Диagenез – процессы превращения осадков в горные породы (см. ниже).

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

Метаморфизм – совокупность процессов изменения горных пород и руд за пределами зон выветривания (в более глубоких 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.

- **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:



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



- **Гидратация** – процесс присоединения воды к минералам. В биосфере может происходить самостоятельно:

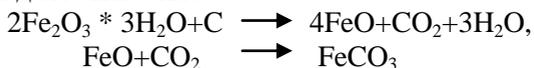


а может сопровождать ранее рассмотренные реакции. Довольно часто гидратации способствуют процессы жизнедеятельности бактерий.

- **Карбонатизация** – процесс взаимодействия ионов $[\text{CO}_3]^{2-}$ и $[\text{HCO}_3]^-$ с минералами. Его конечным результатом является растворение вступающих в реакцию минералов с образованием из составляющих их минералов карбонатов. Карбонатизацию обычно наиболее труднорастворимых силикатов можно рассмотреть на примере анортита, когда в результате образуются каолинит и кальцит:



- **Восстановление** – процесс восстановления в условиях биосферы относительно редок, так как идет при условии отсутствия свободного кислорода. Такие условия иногда возникают в донных отложениях (этому может способствовать техногенная деятельность) и почвенных горизонтах. Восстановление контролируется главным образом наличием органического вещества и бактериальной деятельностью:



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

Минерал – это, по В.И. Вернадскому, физически или химически индивидуальный продукт земных химических реакций, состоящий из химических молекул.

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

Атомные (R_a) и ионные (R_i) 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. 1.3). Ими успешно пользовались при самых различных геохимических построениях и для объяснения разнообразнейших процессов основоположники геохимии В.М. Гольдшмидт и А.Е. Ферсман, а вслед за ними 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.

Таблица 1.3

Величина 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
Al^{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	-	-

Продолжение табл. 1.3

Ион	№ элемента	По Гольдшмидту	По Бокио и Белову	Ион	№ элемента	По Гольдшмидту	По Бокио и Белову
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
Cr ²⁺	24	0,83	1,83	Rh ³⁺	45	0,68	0,75
Cr ³⁺	24	-	0,64	Rh ⁴⁺	45	-	0,65
Cr ⁶⁺	24	0,35	0,52	Ru ²⁺	44	-	-
Cs ¹⁺	55	1,65	1,65	Ru ³⁺	44	-	-
Cu ²⁺	29	0,70	0,80	Ru ⁴⁺	44	0,65	0,62
Dy ¹⁺	66	-	0,98	S ²⁻	16	1,74	1,86
Dy ³⁺	66	1,07	0,88	S ⁶⁺	16	0,34	0,30
B ³⁺	68	1,04	0,85	Sb ³⁻	51	-	2,08
Eu ²⁺	63	-	-	Sb ³⁺	51	0,90	0,90
Eu ³⁺	63	1,13	0,97	Sb ⁵⁺	51	-	0,62
F ¹⁻	9	1,33	1,33	Sc ²⁻	21	1,91	1,98
F ⁷⁺	9	-	0,07	Sc ³⁺	21	0,83	0,83
Fe ²⁺	26	0,83	0,80	Sc ⁴⁺	21	-	0,69
Fe ³⁺	26	0,67	0,67	Sc ⁶⁺	21	-	0,35
Fr ¹⁺	87	-	1,75	Se ⁴⁺	34	-	0,69
Ga ³⁺	31	0,62	0,62	Se ⁶⁺	34	-	0,35
Ge ²⁺	32	-	0,65	SH ¹⁻	16	-	-
Ge ⁴⁻	32	-	-	Si ⁴⁻	14	-	-
Ge ⁴⁺	32	0,44	0,44	Si ⁴⁺	14	0,39	0,39
H ¹⁻	1	1,54	1,36	Sm ²⁺	62	-	-

Ион	№ элемента	По Гольдшмидту	По Бокио и Белову	Ион	№ элемента	По Гольдшмидту	По Бокио и Белову
Hf ⁴⁺	72	-	0,82	Sm ³⁺	62	1,13	0,97
Hg ²⁺	80	1,12	1,12	Sn ²⁺	50	-	1,02
Ho ³⁺	67	1,05	0,86	Sn ⁴⁺	50	0,74	0,67
I ¹⁻	53	2,20	2,20	Sr ²⁺	38	1,27	1,20
I ¹⁺	53	-	-	Ta ⁵⁺	73	-	0,66
I ⁵⁺	53	0,94	-	Tb ³⁺	65	1,09	0,89
I ⁷⁺	53	-	0,50	Te ²⁻	52	2,11	2,22
In ¹⁺	49	-	1,30	Te ⁴⁺	52	0,89	0,89
In ³⁺	49	0,92	0,92	Te ^{e+}	52	-	0,56
Ir ²⁺	77	-	-	Ti ³⁺	90	-	1,08
Ir ³⁺	77	-	-	Th ⁴⁺	90	1,10	0,95
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	0,52	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

В настоящем учебном пособии, 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 увеличени-

ем 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. 1.3 они приведены для структур с координационным числом 6 (структура NaCl); 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. Ими контролируется структура и энергия кристаллических решеток минералов. От радиусов во многом зависят особенности распределения элементов, 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 (р). **Величина деформации контролируется целым рядом факторов, основными из которых являются:**

- размеры ионных (атомных) радиусов – прямо пропорциональны поляризуемости;
- валентность (заряд иона) – прямо пропорциональна активной поляризации;
- тип строения электронной оболочки – с увеличением координационного числа, т.е. симметрии решетки, явление поляризации ослабевает.

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.

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:

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

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

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

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 «неприятя» разработанной им геоэнергетической теории и энергетических коэффициентов. Анализируя многочисленные новые данные, можно уверенно говорить, что ЭК являются (как и ионные радиусы, используемые для их расчета) как бы «полуколичественными» показателями. Их использование не только возможно, но и необходимо для понятия сути геохимических процессов. Однако *применение ЭК ограничивается ионной формой*, а во многих случаях даже есть возможность решения обратной задачи: если с помощью ЭК и 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, равен ЭК, 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 учебном пособии.

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. 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. 1.4) 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**. Знание рассматриваемых потенциалов необходимо и при нахождении величины электроотрицательности.

С увеличением значения потенциала ионизации резко уменьшается возможность образования чисто ионных кристаллических решеток. В этом случае будут преобладать атомно-ионные и атомные решетки. Они отличаются большей устойчивостью, и, следовательно, образующие их элементы будут менее доступны живым организмам.

Таблица 1.4

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

Продолжение табл. 1.4

Атом- ный номер	Хими- ческий символ	I	II	III	IV	V	VI
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)
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	-	-	-	-

Атом- ный номер	Хими- ческий символ	I	II	III	IV	V	VI
60	Nd	-	6,31	-	-	-	-
61	Pm	-	-	-	-	-	-
62	Sm	-	5,6	11,2	-	-	-
63	Eu	-	5,67	11,24	-	-	-
64	Gd	-	6,16	12	-	-	-
65	Tb	-	6,74	-	-	-	-
66	Dy	-	6,82	-	-	-	-
67	Ho	-	-	-	-	-	-
68	Er	-	-	-	-	-	-
69	Tm	-	-	-	-	-	-
70	Yb	-	6,2	12,1	-	-	-
71	Lu	-	6,15	14,7	(19)	-	-
72	Hf	-	5,5	14,9	(21)	(31)	-
73	Ta	-	7,7	16,2±0,5	(22)	(33)	(45)
74	W	-	7,98	17,7±0,5	(24)	(35)	(48)
75	Re	-	7,87	16,6±0,5	(26)	(38)	(51)
76	Os	-	8,7	17±1	(25)	(40)	(54)
77	Ir	-	9,2	17,0±0,3	(27)	39	57
78	Pt	-	8,96	18,54±0,1	(29)	41	55
79	Au	2,4	9,223	20,5	(30)	44	58
80	Hg	1,8	10,434	18,751	34,2	46	61
81	Tl	-	6,106	20,42	29,8	50	64
82	Pb	-	7,415	15,03	31,93	39,0	69,7
83	Bi	-	7,287	19,03	25,9	45,3	56
84	Po	-	8,2±0,4	19,4±1,7	27,3±0,8	38	61
85	At	-	9,2±0,4	20,1±1,7	29,3±0,9	41	51
86	Rn	-	10,745	21,4±1,8	29,4±1,0	(44)	(55)
87	Fr	-	3,98±0, 1	22,5±1,8	33,5±1,5	(43)	(59)
88	Ra	-	5,277	10,144	(34)	(46)	(59)
89	Ac	-	6,89±0, 6	11,5±0,4	-	(49)	(62)
90	Th	-	-	11,5±1,0	20,0	28,7	(65)
91	U	-	4	-	-	-	-

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

Необходимо отметить, что существует определенная связь потенциала ионизации со скачками в строении электронных оболочек атомов и кларками. Это было особо отмечено А.Е. Ферсманом и указывается при рассмотрении понятия «абсолютный разброс элементов».

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/R_i). Величины ионных потенциалов и связанные с ними основные свойства ионов представлены на рис. 1.4. 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, плохо растворимые гидролизованные соединения. Если потенциал Картледжа больше 12, образуются комплексные кислородосодержащие и хорошо растворимые анионы типа CO_3^{2-} и SO_4^{2-} . Кремний и молибден часто выделяют в промежуточную группу ($Z/R_i=9,5...12$).

По величине ионного потенциала легко установить химический характер ионов (рис. 1.5), а следовательно, и их поведение в биосфере.

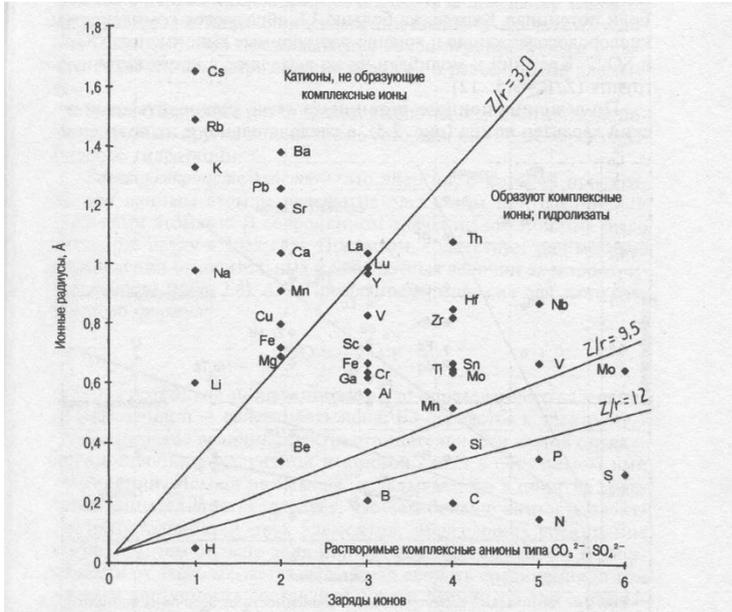


Рис. 1.4. Величины ионных потенциалов и связанные с ними свойства ионов

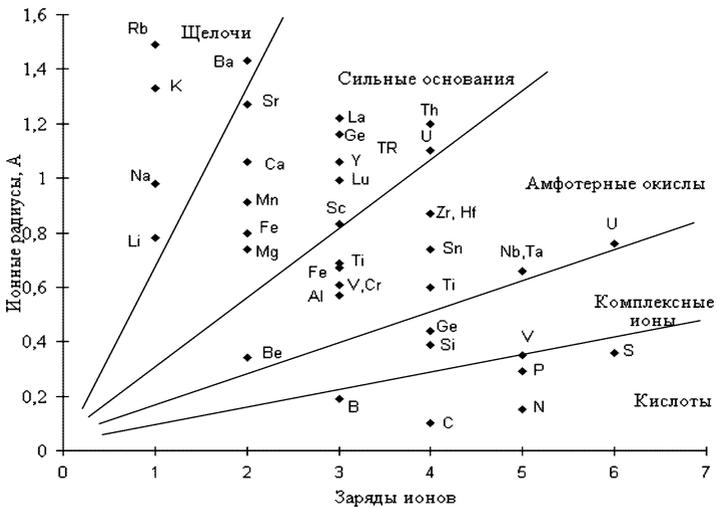


Рис. 1.5. Химический характер ионов в зависимости от величины ионного потенциала

Чрезвычайно важно, что, зная ионные потенциалы, можно, в первом приближении, определить поведение гидратов в природных растворах при изменении щелочно-кислотных условий (табл. 1.5). Это представляется особо перспективным в связи с техногенным загрязнением редкими и рассеянными элементами.

Таблица 1.5

Связи ионного потенциала и осаждаемости гидратов при разных рН (по А. Е. Ферману)

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
рН	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
рН	6,8	-	-	7,0	-	7,4	8,4	10,5

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. 1.6). **А.С. Поваренных** предложил для этого следующую формулу:

$$\varepsilon O = \frac{J_n}{n} + F,$$

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

Таблица 1.6

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
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
All	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
F	9	3,98	610
Fe	26	1,83	185, 235
Fm	100	1,3	-
Fr	87	0,7	90
Gb	31	1,81	235
Gd	64	1,12	140
Ge	32	2,01	265
H	1	2,2	315
Hf	72	1,3	180

Продолжение табл. 1.6

Химический элемент (ион)	Порядковый номер	Электроотрицательность	
		по Л. Полингу	по А.С. Поваренных
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
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	280
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

Окончание табл. 1.6

Химический элемент (ион)	Порядковый номер	Электроотрицательность	
		по Л. Полингу	по А.С. Поваренных
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
Y	39	1,22	160
Yb	70	(1,2)	140
Zn	30	1,85	205
Zr	40	1,33	195

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. 1.7), 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*. Для быстрого расчета доли ионной и ковалентной связи можно использовать составленную А.С. Поваренных номограмму. Так, электроотрицательность К равна 100, Cl – 460, следовательно, составит 360. По номограмме (рис. 1.6) определяем, что в этом соединении ионная связь составляет около 70%, а ковалентная – 30%.

Таблица 1.7

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

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

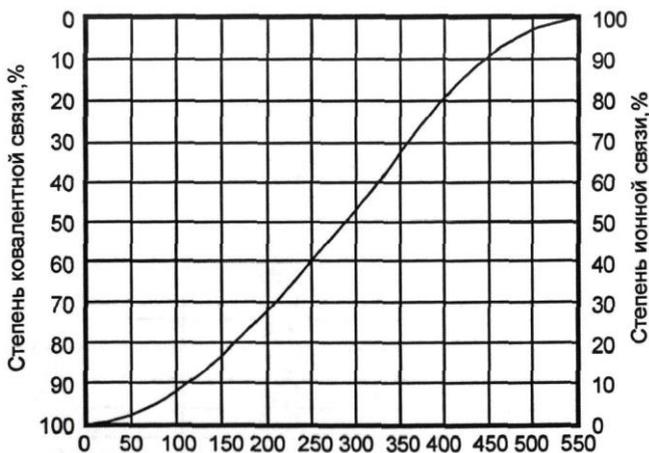


Рис. 1.6. Номограмма по определению ионной и ковалентной связи

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 высоки-

ми 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 с 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.

Горные породы – плотные или рыхлые агрегаты, слагающие земную кору. Они могут состоять из однородных и различных минералов и обломков других горных пород. Среди горных пород выделяются магматические, осадочные и метаморфические.

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

По содержанию кремнезема магматические породы подразделяются на кислые (80-60% SiO_2), средние (около 60% SiO_2) и ультраосновные (менее 45% SiO_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 характерно широкое развитие процессов окисления и гидратации при отсутствии биогенной аккумуляции элементов под влиянием растений (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 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 выделяются 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. **Метаморфогенные** образуются в результате процессов метаморфизма. Они могут состоять из одного или нескольких тел полезных ископаемых.

Проявления полезного ископаемого (частный случай - рудопроявления) – природные скопления минерального веще-

ства небольших или невыясненных размеров. В результате изучения, разведки, изменения экономической конъюнктуры они могут быть переведены в разряд месторождений.

Зона рассеянной минерализации – участки земной коры, минеральное вещество в которых повышено по сравнению с вмещающими их породами, но не содержится в концентрациях, пригодных для промышленного использования.

Тела полезных ископаемых (частный случай – **рудные тела**) – обособленные скопления минерального вещества, пригодные для промышленного использования. Составляют часть месторождения.

Первичные геохимические ореолы – участки земной коры, окружающие тела и целые месторождения полезных ископаемых, образовавшиеся в результате одних с ними процессов, но по содержаниям полезных компонентов при данной экономической конъюнктуре не пригодные для промышленного использования. Формируются в результате как привноса, так и выноса ряда компонентов. При определенных условиях могут быть переведены (как правило, частично) в рудные тела.

Вторичные геохимические ореолы – локальные участки с аномально повышенными содержаниями химических элементов, образовавшиеся в результате гипергенного разрушения месторождений, рудных тел и их первичных ореолов. Элементы, образующие вторичные геохимические ореолы, могут находиться в минеральной, биогенной и изоморфной формах, а также в виде растворов и газовых смесей.

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 опре-

деленными закономерностями, получили название **косвенных** индикаторов.

1.3. Оболочки земного шара, геохимические системы

Оболочки земного шара. Земля состоит из ядра и обволакивающих его и друг друга отдельных оболочек, отличающихся по ряду свойств, в первую очередь, геофизических и геохимических. Одной из таких внешних оболочек является **земная кора**. Однако и она далеко не однородна и состоит из нескольких сфер. (В соответствии с учением В.И. Вернадского, здесь не указано конкретное, единое их число, поскольку для выделения сфер земной коры могут быть выбраны разные показатели, от этого и число сфер становится различным). Часто геосферы выделяют с учетом параметров, обычно используемых при рассмотрении термодинамических равновесий. По **В. Гиббсу (1906)**, ими являются температура и давление. Можно за основу выделения оболочек брать и другие показатели, например, изменение химического состава земной коры. Используя пять разных параметров, В.И. Вернадский выделил по каждому из них от 9 до 11 геосфер земной коры.

Наиболее часто **выделяют следующие оболочки**, отличающиеся по плотности, агрегатному состоянию и скорости сейсмических волн: мантия (нижняя и верхняя), литосфера, гидросфера, атмосфера. С учетом форм нахождения химических элементов В.И. Вернадским была выделена биосфера – сфера, в пределах которой элементы могут находиться в биогенной форме.

Земная кора по современным понятиям – это неоднородная по агрегатному состоянию и составу твердая верхняя оболочка Земли. Однако ряд ученых (например, Ф.У. Кларк при установлении состава земной коры) к земной коре относят, кроме твердой ее части, гидросферу и атмосферу.

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.

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.

Биосфера. Считается, что термин «биосфера» впервые был введен французским естествоиспытателем **Жаном Батистом Ламарком** в 1803 г. для обозначения совокупности живых организмов, обитающих на земном шаре. Долгие годы этим термином практически не пользовались. В 1875 г. его снова употребил знаменитый австрийский геолог **Эдуард Зюсс**. Однако он под биосферой понимал не только живое вещество нашей планеты, но и окружающую среду. Оценок, происходящих в этой сфере специфических процессов в работах Зюсса и после него, до В.И. Вернадского не было

Создание цельного учения о биосфере связано с работами величайшего ученого **Владимира Ивановича Вернадского**, в его работах термин «биосфера» приобретает новое значение: *«Биосфера – единственная область земной коры, занятая жизнью. Только в ней в тонком наружном слое нашей планеты сосредоточена жизнь; в ней находятся все организмы, всегда резкой, не проходящей гранью отделенные от окружающей их косной материи. Никогда живой организм в ней не зарождается. Он, умирая, живя и разрушаясь, отдает ей свои атомы и непрерывно берет их из нее, но охваченное жизнью, живое вещество всегда имеет свое начало в живом же».*

Как видно из приведенной цитаты, В.И. Вернадский снова условно отделяет живые организмы от среды их обитания, но именно среду обитания живых организмов он считает биосферой. В дальнейшем Владимиром Ивановичем и его последовате-

лями было установлено, что основные особенности среды обитания живых организмов (т.е. биосферы) сформированы под воздействием этих живых организмов. Показано, что без геохимической работы живых организмов были бы другими состав и активность природных вод, атмосферы и литосферы. Вследствие этого совершенно другими стали бы и все процессы миграции химических элементов: *«С исчезновением жизни на земной поверхности шли бы лишь медленные, от нас скрытые изменения, связанные с земной тектоникой. Они проявлялись бы не в наши годы и столетия, а в годы и столетия геологического времени».*

Таким образом, за миллиарды лет сменяющие друг друга организмы создали именно ту биосферу, в которой в настоящее время протекают различные виды жизнедеятельности людей. Практически все геохимические и значительная часть геофизических процессов, происходящих в современной биосфере, в той или иной мере связаны со всем сообществом живых организмов, названным В.И. Вернадским **«живым веществом»**. Уничтожая или даже только видоизменяя живое вещество, мы обязаны ожидать в будущем (часто не столь отдаленном, как иногда предполагается) изменения биосферы. Это объективная закономерность.

Система (от гр. – systema) – целое, составленное из частей. В «Толковом словаре русского языка» С.И. Ожегова система определяется как *«нечто целое, представляющее собой единство закономерно расположенных и находящихся во взаимной связи частей»* (1982). В настоящее время существует общая теория систем. Ее основные понятия широко используются практически во всех отраслях естественных и общественных наук. В общем учении о системах по Жерару (Раппорт, 1969) сложились следующие три важнейших **требования к их характеристике:**

- Должны быть рассмотрены особенности отношений между частями (элементами), составляющими систему. Это требование отвечает характеристике структуры системы.

- Необходимо изучить совокупность реакций системы на изменение внутренних и внешних условий среды, что в общем случае соответствует функции системы.

- Следует знать историю системы, т.е. происходящие в ней изменения за достаточно продолжительный промежуток времени. Он для каждой системы может быть различным, но должен охватывать основные изменения, происшедшие с системой. Многие из изменений могут иметь необратимый характер.

Геохимические системы. В 1934 г. А.Е. Ферсман в общее учение о системах ввел понятие **геохимические системы**, которые были им разделены на щиты, пояса, поля и узлы. Ниже рассмотрим эти системы по А.Е. Ферсману.

Геохимические щиты – это устойчивые древние платформы с резким преобладанием собственно магматических образований. По геохимическому комплексу они соответствуют глубинным процессам. Для них характерны следующие элементы и соединения:

SiO_2 ; Fe, Ta, U, Tr, F, P, Ti, Au.

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

Геохимические поля – это сравнительно обширные области, в пределах которых миграция элементов происходила преимущественно в поверхностных зонах и была связана с водными и материковыми накоплениями. Специфические ассоциации элементов и их соединений (S, CaSO_4 , Na, K, Sr, Br, J, Ba) коррелируются в пределах полей с определенными свитами осадочных пород. Последовательность накопления этих пород и концентрация в них элементов, образующих месторождения полез-

ных ископаемых, зависят в основном от условий существования водного бассейна.

Геохимические узлы – это районы, испытавшие наложение нескольких геохимических циклов. В связи с этим для них характерны многоэтапные процессы минералообразования и омоложения месторождений. Комплекс элементов, характерных для геохимических узлов, довольно обширен, а их концентрация привела в пределах узлов к образованию месторождений различных типов.

Классификация геохимических систем А.И. Перельмана

А.И. Перельман подошел к изучению геохимических систем с учетом форм движения материи и выделил:

- **абиогенные** (неорганической природы, к ним относятся мантия, горные породы и минералы, не заселенные организмами);
- **биологические** (живые);
- **биокосные** (системы, в которых тесно переплетены и взаимообусловлены живое и неживое вещества, например, почвы, природные воды и т.д.);
- **техногенные** (созданные в результате антропогенной деятельности) геохимические системы.

Особенности требований, предъявляемых к геохимическим системам

Выше были указаны три основных общих требования к характеристике и изучению вообще любой системы. Геохимическое изучение природных систем вносит определенные особенности и уточнения к этим требованиям.

1. *Особенности отношений между частями, составляющими систему.* При принятии ее (системы) условно однородной должны рассматриваться химические (геохимические) отношения между атомами (ионами) химических элементов или их определенных соединений. В случаях, когда система рассматривается как неоднородная, кроме этого необходимо изучать геохимические отношения между основными (при данном масштабе исследований) частями, составляющими эту систему.

Такое изучение особо необходимо при характеристике биокосных систем.

2. *Реакция геохимической системы на изменение внешних условий* должна определяться как минимум **по следующим показателям:**

- изменениям распространенности (содержания) элементов, или их определенных соединений, в системе в целом или в ее отдельных частях;
- изменениям распределения химических элементов также в системе в целом или в составляющих ее частях;
- изменениям форм нахождения или изменениям соотношений между формами нахождения химических элементов, составляющих систему или ее части.

К числу основных геохимических факторов, которые воздействуют извне на рассматриваемую (особенно биокосную) систему и изменение которых может оказать существенное воздействие на эту систему, **следует отнести следующее:**

- изменение концентрации химических элементов (их соединений);
- изменение распределения химических элементов (их соединений);
- изменение форм нахождения химических элементов;
- изменение режима *кислорода-серы*;
- изменение кислотно-щелочных условий;
- изменение сорбционных свойств среды, граничащей с изучаемой системой;
- изменение ландшафтно-геохимических факторов миграции элементов (их соединений) в зоне контакта с изучаемой системой;
- изменение радиационной обстановки на границе с изучаемой системой.

Если проводится не только геохимическое, но и физико-химическое изучение системы, то при ее характеристике значительное внимание должно уделяться, кроме указанных показателей, основным термодинамическим – температуре и давлению.

В случае решения экологических проблем и при изучении биокосных систем с точки зрения развития живого вещества перечисленные показатели необходимо рассматривать и с позиции комфортности развития (а часто даже возможности существования вообще) определенных организмов или всего живого вещества в целом. Необходимо особо отметить, что в таких случаях первостепенное внимание должно уделяться радиоактивным элементам, ибо их радиоактивное воздействие на организмы во многом отлично от химического.

Изменение внутренних условий среды (геохимической системы) без вышерассмотренного внешнего воздействия обычно может происходить только в результате саморазвития этой системы. Так, например, возможно изменение биокосной системы в результате эволюции организмов. Такая изменяющаяся система с точки зрения геохимии будет также характеризоваться уже рассмотренными показателями, а точнее их изменениями, происшедшими в результате саморазвития рассматриваемой системы.

3. *История изменений, происходящих в природной геохимической системе*, всегда была одной из основных задач геохимии. Основатель этой науки В.И. Вернадский называл геохимию *«историей атомов химических элементов»*. При рассмотрении крупных геохимических систем в большинстве случаев изучаются изменения, происходящие за достаточно продолжительный промежуток времени. Однако и здесь есть исключения: в последнее время проводится изучение практически современных изменений, происходящих в такой крупнейшей природной геохимической системе, как вся биосфера, за ничтожно малый (по сравнению с ее существованием) отрезок времени. Во многом это связано со все возрастающим техногенным воздействием на миграцию и концентрацию химических элементов в этой системе, а также с тем, что ряд техногенных факторов не имеет природных аналогов.

Геохимические эпохи

Давая пространственную геохимическую характеристику отдельным регионам, А.Е. Ферсман одновременно заложил основу учения об изменении особенностей миграции и концентра-

ции элементов на протяжении всей геологической истории Земли. Развитие этого учения привело к выделению геохимических эпох – периодов специфической концентрации отдельных элементов и их определенных ассоциаций. Иногда геохимические эпохи были характерны для всей земной коры, иногда их проявление было более локальным, и они четко выделились только для одной или нескольких региональных геохимических единиц. Примером «глобальной» геохимической эпохи может служить верхний докембрий – период повсеместного осаждения железных руд. Концентрацию металлов в определенный период на локальном участке иллюстрирует накопление свинца и цинка в осадочных толщах хребта Каратау в период, продолжавшийся с верхнедевонского времени до нижнекаменноугольного.

Металлогенические эпохи

По аналогии с выделением геохимических эпох А.Е. Ферсман предложил выделять и металлогенические эпохи – периоды формирования месторождений определенного типа или определенного металла. Геохимические и металлогенические эпохи могут в отдельных случаях не совпадать. Так, в Джунгарском Алатау накопление полиметаллов в осадочных (карбонатных) толщах происходило в основном в период с верхнего кембрия до верхнего ордовика, а формирование, за счет ранее накопившихся металлов, обширной группы месторождений произошло в каменноугольное время.

Геохимические провинции представляют собой участки земной коры с повышенным содержанием определенных химических элементов. По данным В.М. Гольдшмидта (1954) и В. Голубинова (1937), территория Юго-Восточной Азии и Анды представляет собой оловорудные геохимические провинции.

Металлогенические провинции – значительные участки земной коры, характеризующиеся большим количеством руд (месторождений) определенного типа, или определенного металла. Примерами полиметаллических провинций могут служить хребет Каратау и Центрально-Джунгарский антиклинарный в Южном Казахстане. Широко известны медные металлогенические провинции в Перу и Чили.

1.4. Важнейшие показатели, используемые для оценки геохимических систем и происходящих в них изменениях

При геохимической (эколого-геохимической) оценке природных систем необходимо первоочередное использование следующих **четырёх важнейших показателей** (по Алексеенко):

- распространённости химических элементов (их соединений);
- форм нахождения элементов;
- биогеохимических особенностей элементов, определяемых их положением в таблице Д.И. Менделеева;
- разброса химических элементов.

Распространённость (содержание) химических элементов. Кларк.

Одной из важнейших характеристик геохимических систем является содержание в ней различных химических элементов. При установлении этого параметра обычно *условно принимается, что система состоит из геохимически одинаковых частей*. Впервые количественная распространённость химических элементов в крупной геохимической системе была установлена Ф.У. Кларком в 1889 г. для земной коры. В ее состав были включены литосфера, гидросфера и атмосфера. Однако масса последних составляет всего несколько процентов, и практически Ф.У. Кларк характеризовал твердую часть земной коры.

Кларк. Отдавая должное этому ученому, А.Е. Ферсман в 1923 г. предложил термин «кларк», чтобы обозначать среднее содержание химических элементов в таких системах, как земная кора, ее крупные части, Земля в целом, крупные космические объекты.

Местный (региональный) кларк. Среднее содержание химических элементов в крупных (региональных) геохимических системах (например, Центральный Казахстан, Урал, Русская платформа и т.д.) называют не просто «кларк», а «региональный», или “местный кларк” («местное кларковое содержание»). О необходимости установления этих величин и их значений в развитии геохимии писали очень много на протяжении почти 100 лет. Однако региональные кларки практически не

установлены. (Одним из исключений можно считать Центральный Казахстан, где уже десятилетия ведутся работы в этом направлении). Отметим, что установление региональных кларков – работа чрезвычайно важная, но весьма кропотливая и затратная.

Местное фоновое содержание. Средние содержания химических элементов, установленные для горных пород в других, кроме вышерассмотренных, системах, следует именовать не кларками, а **местными фоновыми содержаниями**. Их величины следует приводить с установлением закона распределения каждого элемента и с определенным уровнем значимости. Это задача не столько геохимическая, сколько статистической обработки данных.

Кларки горных пород. Несколько позже стали определять среднее содержание элементов в различных типах горных пород. Эти величины также получили название «**кларки горных пород**» (например, «кларк гранитов или известняков» и т.д.). Наиболее часто в различных работах делаются ссылки на величины кларков горных пород, установленные Турекианом и Ведеполем (табл. 1.8).

Таблица 1.8

Содержание химических элементов и их разброс в породах океанического дна (по Н. Turekian и К. Wedepohl)

Элемент	Порядковый № элемента	Распространенность, % по массе				Величина абсолютного разброса значений кларков
		Породы		Глубоководные осадки		
		ультра-основные	основные	карбонаты	глины	
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

Продолжение табл. 1.8

Элемент	Порядковый № элемента	Распространенность, % по массе				Величина абсолютно-го разброса значений кларков
		Породы		Глубоководные осадки		
		ультра-основные	основные	карбонаты	глины	
Cl	17	$8,5 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$	2,1	2,1	350
Co	27	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$4,8 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-5}$	$7 \cdot 10^{-3}$	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
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
Pb	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

Окончание табл. 1.8

Элемент	Порядковый № элемента	Распространенность, % по массе				Величина абсолютно-го разброса значений кларков
		Породы		Глубоководные осадки		
		ультра-основные	основные	карбонаты	глины	
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
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

Изучение средних содержаний химических элементов в различных горных породах из различных регионов и их (содержаний) сравнение с соответствующими кларками показало, что именно кларковые содержания всех химических элементов определяют сами типы горных пород.

Кларк концентрации. Отношение местного кларкового содержания в горных породах региона к кларку земной коры В.И. Вернадский в 1937 г. предложил именовать «кларком концентрации» (К.К.). Если эта величина меньше 1, то ее часто называют «кларком рассеяния» (К.Р.).

Атомный кларк. Выполняя определенные расчеты, следует помнить, что при различных реакциях идет взаимодействие атомов, а их число может не совпадать с массовыми кларками. В этих случаях удобнее пользоваться не массовыми, а атомными кларками. Они показывают, какой процент составляют атомы данного элемента от их общего числа в земной коре. Учитывая

все это, можно использовать данные о кларках земной коры практически при всех эколого-геохимических исследованиях и при поисках месторождений полезных ископаемых, непременно указывая, по чьим расчетам приведены используемые кларки.

Все рассмотренные выше (кларковые) содержания химических элементов в абиогенных системах определяются в конечном итоге их (элементов) содержаниями в минералах и в слагаемых ими горных породах. Следовательно, даже всё расширяющееся техногенное воздействие на окружающую среду практически не сказывается на значениях величин кларков горных пород. Эти величины при использовании все более точных методик анализов практически не претерпели за столетие сколько-нибудь существенных изменений. Иное положение сложилось с определением средних содержаний химических элементов в биокосных и в биологических геохимических системах, также входящих в состав биосферы.

Кларки почв. Данные о средних содержаниях химических элементов в почвах Земли, также получившие название соответствующих кларков, в нашей стране начали широко применяться после публикации в 1957 г. книги А.П. Виноградова “Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах”. Позже эти данные уточнялись. Однако к имеющимся в настоящее время значениям кларков химических элементов в почвах Земли, для их практического использования в современных условиях, имеется целый ряд замечаний. Так, в результате техногенеза за последние полстолетия произошло так называемое “загрязнение биосферы”. При этом депонирующей средой стала почва. Это было бы еще не так страшно, если бы почвы повсеместно загрязнялись одинаково. Однако уже сейчас ясно видно (Алексеенко, 2010), что нужно отдельно от почв биогенных ландшафтов рассматривать почвы селитебных и сельскохозяйственных ландшафтов. Имеющиеся данные убедительно указывают на необходимость такого рассмотрения. Установленные средние содержания **могут называться соответствующими “кларками почв”, но характеризующими не все почвы Земли, а их отдельные части:** природные (леса, степи и т.д.) и техногенные (с соответствующей нагрузкой). Они могут рассмат-

риваться как своеобразные аналоги кларков различных типов горных пород. Однако у этих “кларков почв” есть еще одна особенность: **средние содержания элементов в почвах меняются со временем** под воздействием техногенеза. И, вероятно, правильными будут такие названия, как “**кларк почв селитебных ландшафтов начала XXI века**” или “**кларк почв сельскохозяйственных ландшафтов второй половины XX века**” и т.п. (Алексеевко, 2010).

Наибольшее техногенное воздействие на живые организмы (в первую очередь на человека) происходит в той части биосферы, где эти организмы находятся большую часть времени. Такими частями для большинства людей являются селитебные ландшафты. Об экологической обстановке в их пределах удобнее и достовернее всего судить по геохимическим (биогеохимическим и геоботаническим) особенностям почв и растительности населенных пунктов. Анализ современных почв более 300 населенных пунктов Европы, Азии, Африки и Австралии показал, что содержание в них большинства элементов существенно отличается от установленных кларков (Алексеевко 2006, 2008; Алексеевко, Лаверов, Алексеевко, 2011, 2012). В связи с этим *одной из первоочередных геохимических задач можно считать установление кларковых содержаний химических элементов для почв селитебных геохимических ландшафтов начала XXI в.*

Задачей примерно такой же важности является *установление кларковых содержаний химических элементов для современных почв сельскохозяйственных ландшафтов*. Выращенная на этих почвах продукция относится к основным продуктам питания.

В отдельных случаях возможно, по аналогии с установлением региональных кларков в горных породах, установление кларка почв для крупных геохимических систем (отдельных регионов или биосферных структур). Но и в этих случаях, вероятнее всего, следует указывать техногенную нагрузку. Тогда выделяемые региональные кларки почв могут (должны) называться так: “**кларк почв сельскохозяйственных ландшафтов Юга Русской платформы второй половины XX века**” или “**кларк почв природных (биогенных) ландшафтов Северо-Западного**

Кавказа начала XXI века” и т.д. Выделение региональных кларков почв следует объяснять несомненным влиянием на содержание элементов в почвах не только процессов техногенеза, но и состава коренных горных пород. А для горных пород крупных геологических систем уже достаточно обоснованно установление региональных кларков.

Средние содержания химических элементов в почвах, образующих более мелкие геохимические системы, чем рассмотренные выше, целесообразно называть **местными фоновыми содержаниями** и представлять с определенной вероятностью. (При различных геохимических построениях обычно оперируют средними содержаниями, определенными с вероятностью до 95%). В зависимости от особенностей техногенной нагрузки в почвах сельскохозяйственных ландшафтов отдельных районов химические элементы могут находиться в существенно отличающихся концентрациях (Алексеев, 2006). В зависимости от специфики использования земель и от масштаба исследований, местные фоновые содержания следует отдельно определять и для таких участков (ландшафтов), как богарные и поливные пашни, сады, виноградники, дачи и т.д. В подавляющем большинстве случаев для решения практических задач местные фоновые содержания целесообразно сравнить с региональными кларками почв (хотя есть и отступления от этого пожелания, когда появляется необходимость сравнения местных фоновых содержаний с кларками почв, характеризующими почвы Земли с определенной техногенной нагрузкой).

Кларки биологических систем. Геохимические (биогеохимические) особенности рассматриваемых систем начали систематически изучаться сравнительно недавно. Огромное влияние на начало этого изучения оказали работы В.И. Вернадского, в которых он обособил живое вещество Земли. Его основу (по массе) составляют растения, а более конкретно – деревья. (Следовательно, то, что мы сейчас называем кларком живого вещества, по своей сути является “кларком деревьев”). Среднее содержание химических элементов в живом веществе (**кларк живого вещества**) определено (хотя и должно уточняться), однако его использование пока ограничено только установлением

биосферных (планетарных) закономерностей (Перельман, 1998; Алексеенко, 2006 и др.).

Во многих работах при анализе биогенных систем сравнение средних содержаний химических элементов в этих системах с кларком живого вещества ведется довольно формально, а часто сами сравнения несут определенные ошибки. Большая часть таких ошибок связана с тем, что кларк определяет содержание в **живом веществе**, а сравнивают его с содержанием или в сухом веществе, или в золе.

Для большинства практических геохимических построений наиболее удобным является использование *содержаний химических элементов в золе, т.е. в минеральной части живого вещества*. В этом случае можно с минимальными ошибками рассматривать избирательную способность организмов поглощать химические элементы из среды их существования (минеральная форма организмов сравнивается с минеральной формой в среде их существования).

Еще одной *причиной многих ошибок является использование* установленного (и вышерассмотренного) *кларка живого вещества при анализе содержаний элементов в животных организмах*. Зоомасса ничтожна по сравнению с фитомассой, а кларк у них общий и по своей сути отвечает содержанию элементов в древесной растительности. Следовательно, **нужно отдельно устанавливать кларки зоомассы и фитомассы** для всей планеты. Пока такое исследование не проводилось. Одним из первых шагов в этом направлении можно считать сделанное С.М. Ткаlichem в 1969 г. определение средних содержаний химических элементов в золе растений. Однако, учитывая, что к настоящему времени накопилось чрезвычайно много новых данных, **необходимо уточнение средних содержаний в золе растений с разделением последних на дикорастущие и сельскохозяйственные культуры**.

Не ясно также, меняется ли химический состав живого вещества (как это установлено для почв) с развитием техногенеза. Возможно, что кларки живого вещества (и зоомассы, и биомассы) следует приводить в определенном временном срезе, как было рассмотрено выше для почв.

Целесообразным видится и **установление региональных кларков для различных зоо- и фитоорганизмов**. В этом случае границами для расчета кларков зоо- и фитоорганизмов должны стать границы регионов, выделяемых при установлении региональных кларков для горных пород и почв. Вероятно, региональные кларки живого вещества должны **отдельно рассчитываться для водных организмов и организмов суши**. Опыт работы показал, что величины кларков для этих групп организмов весьма различны.

При более детальных исследованиях следует устанавливать (с определенной вероятностью) **местные фоновые содержания элементов** в меньших по размеру системах. В этих случаях может быть целесообразным определение средних содержаний элементов в определенных видах организмов. Опять же опыт исследований показывает, что различные виды поглощают элементы в различных количествах.

Еще один вопрос следует рассмотреть, относительно кларковых и средних фоновых содержаний. Для удобства анализа работ содержания элементов нужно рассматривать в единых системах измерений. В геохимии со времени ее формирования (а зародилась она в России) содержания химических элементов и в горных породах, и в почвах выражались в массовых процентах. Видится целесообразным продолжить такое же выражение содержаний при анализе элементов, находящихся в этих формах и в золе организмов.

Форма нахождения химических элементов. Как уже указывалось, в природе атомы химических элементов находятся в разнообразных сочетаниях между собой. Часть этих сочетаний является относительно устойчивой. В геохимии *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. 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 несколько меньше. Первоначально формы нахождения химических элементов в земной коре были объединены В.И. 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 Б.А. Гаврусевичем, В.А. Алексеенко предложил выделять **коллоидную форму и форму нахождения в виде 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 особые форм нахождения элементов, техногенные соединения, коллоиды и сорбированные ими вещества.

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 В.А. Алексеенко.

Показатель относительного использования химических элементов (введен В.А. Алексеенко) 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.

Коэффициент водной миграции (K_x), предложенный А.И. Перельманом, представляет собой отношение содержания химического элемента “х” в минеральном остатке воды к его содержанию в горных породах, или в почвах, дренируемых этими водами. Учитывая, что содержание элементов в водах обычно приводится в г\л, а содержание в горных породах и почвах в процентах (%), формула для расчета величины K_x имеет следующий вид:

$$K_x = \frac{m_x \cdot 100}{a \cdot n_x},$$

где K_x - коэффициент водной миграции элемента “х”;

m_x - содержание элемента “х” в водах, г\л;

a - сумма минеральных веществ, растворенных в воде, г\л;

n_x - содержание элемента “х” в горных породах (почвах), %.

Коэффициент водной миграции позволяет в каждом конкретном случае устанавливать интенсивность миграции элементов. Этот показатель предложен в результате развития идей Смита (американский ученый) и акад. Б.Б. Полюнова.

Талассофильность химических элементов представляет собой отношение кларковых содержаний элементов в океане к кларковым содержаниям в земной коре (рис 1.7).

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 элементов, связанную с жизнедеятельностью организмов (растительных и животных).

Техногенная миграция химических элементов вызвана деятельностью людей. Ее роль непрерывно возрастает, и во многом она контролирует поведение химических элементов в биосфере.

Типы миграции химических элементов. Связывая перемещение химических элементов с формами их нахождения, В.А. Алексеенко выделяет (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 растворы

Для характеристики этого типа миграции можно использовать коэффициенты перехода элементов из одной формы в другую. Впервые такой коэффициент был приведен Б.Б. Польшовым для биогенной формы:

$$КБП = P/P,$$

где **КБП** – коэффициент биологического поглощения; P – 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 опада 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 на 1 км².

После Чернобыльской катастрофы значительная часть радионуклидов перешла в биогенную форму (в растения) непосредственно в районе аварии, тем самым уменьшилась дальность их миграции. На первом этапе это чрезвычайно благоприятно сказалось на локализации последствий катастрофы. Однако не была учтена возможность еще одного скорого изменения форм нахождения радионуклидов, которые 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 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 и 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 произойдут их значительный атмосферный перенос и очередной переход в биогенную форму из коллоидной. При этом возможны 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.

Внутренние факторы миграции химических элементов в земной коре обычно включают такие электростатические свойства ионов, как *ионный потенциал Картледжа*, *энергетические коэффициенты Ферсмана* (ЭК, VЭК), *радиусы ионов* (R_i). Перечисленные факторы во многом определяют миграцию химических элементов только в том случае, если они мигрируют в ионной форме. К важнейшим внутренним факторам миграции также относятся *свойства связи соединений*, *химические свойства соединений*, *гравитационные свойства атомов* и *радиоактивный распад ядер атомов*. (Более подробно см.: Алексеенко В.А. Экологическая геохимия, 2000).

Внешние факторы миграции химических элементов. Эти факторы обуславливаются условиями среды, окружающей мигрирующие элементы. К ним в первую очередь следует отнести следующие: *радиационные изменения среды*, *температуру*, *давление*, *степень электролитической диссоциации растворов*,

концентрацию водородных ионов, окислительно-восстановительный потенциал среды, поверхностные силы природных коллоидных систем, окислительно-восстановительную обстановку, жизнедеятельность организмов, комплекс типоморфных элементов (ионов) в почвах и водных растворах, геоморфологические особенности. (Влияние этих факторов рассмотрено в указанной выше «Экологической геохимии»).

Биогеохимические особенности геохимических систем (линия питательных веществ) во многом определяются строением (массой) ядер, составляющих их химических элементов. Этот показатель имеет большое значение при оценке биологических и биокосных систем и происходящих в них эколого-геохимических изменений (см. разд. 1.2). Однако и в биологические, и в биокосные системы значительное количество элементов поступает из горных пород. В связи с этим отметим, что в наибольших количествах для живых организмов необходимы химические элементы, расположенные вблизи **линии питательных веществ** (рис. 1.8).

периоды	группы элементов									
	α I B	α II B	α III B	α IV B	α V B	α VI B	α VII B	α VIII B		б
1	H водород						H водород	He гелий	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> атомный номер U 92 название </div>	
2	Li литий	Be бериллий	B бор	C углерод	N азот	O кислород	F фтор	Ne неон		
3	Na натрий	Mg магний	Al алюминий	Si кремний	P фосфор	S сера	Cl хлор	Ar аргон		
4	K калий	Ca кальций	Sc скандий	Ti титан	V ванадий	Cr хром	Mn марганец	Fe железо	Co кобальт	Ni никель
	Cu медь	Zn цинк	Ga галлий	Ge германий	As мышьяк	Se селен	Br бром	Kr криптон		
5	Rb рубидий	Sr стронций	Y итрий	Zr цирконий	Nb ниобий	Mo молибден	Tc технеций	Ru рутений	Rh родий	Pd палладий
	Ag серебро	Cd кадмий	In индий	Sn олово	Sb сурьма	Te теллур	I йод	Xe ксенон		
6	Cs цезий	Ba барий	La* лантан	Hf гафний	Ta тантал	W вольфрам	Re рений	Os осмий	Ir иридий	Pt платина
	Au золото	Hg ртуть	Tl таллий	Pb свинец	Bi висмут	Po полоний	At астат	Rn радон		
7	Fr франций	Ra радий	Ac* актиний	Ku куричатовый	Ns ниобий					

Рис. 1.8. Линия питательных веществ

Разброс химических элементов как самостоятельный показатель был введен в 1997 г. В.А. Алексеенко. Как указывалось выше, в отдельных случаях исследователи условно принимают, что геохимические системы состоят из геохимически одинаковых частей. Однако даже *в тех случаях, когда цели исследований и их масштаб позволяли сделать такие допущения*, в распределении химических элементов явно ощущалась неравномерность их распределения в системах. В таких случаях для характеристики условно однородных геохимических систем определяются такие показатели, как **выборочная дисперсия (S^2)** и **среднеквадратическое отклонение (S)**, представляющее собой корень квадратный из величины дисперсии. Оба этих показателя являются мерой рассеивания содержания элемента в выборке вокруг средней величины содержания. Величину дисперсии определяют при нормальном законе распределения по формуле

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \sum (X_i - X)^2,$$

а при логнормальном законе распределения по формуле

$$S_{\lg}^2 = \frac{1}{N-1} \sum (\lg X_i - \lg X)^2,$$

где S^2 – дисперсия; N – число проб; X_i – содержание элемента в конкретной пробе; X – среднее содержание элемента в системе.

Для характеристики относительного рассеивания содержаний в системах, условно принимаемых как однородные, широко используется коэффициент вариации (V), который показывает, насколько велико рассеивание по сравнению со средним значением. Выражается он в процентах, а вычисляется при нормальном законе по формуле

$$V = \frac{S}{X} * 100\% .$$

При логарифмическом нормальном законе коэффициент вариации рекомендуется определять по таблицам исходя из величины среднеквадратического отклонения логарифмов содержания (S_{\lg}) (Беус, 1976).

Однако в очень большом числе случаев часто независимо от масштаба исследований геохимические системы даже услов-

но нельзя принимать за однородные. При таких исследованиях для корректной характеристики геохимических систем вышеперечисленных показателей бывает недостаточно. В связи с этим В.А. Алексеенко был предложен в 1997 г. новый геохимический показатель – **абсолютный разброс химических элементов**.

Абсолютный разброс, как показатель в общем смысле, представляет собой отношение максимального фоновое содержания определенного компонента (в геохимии – химического элемента) в одной составной части геохимической системы к минимальному фоновому содержанию этого же компонента (элемента) в другой составной части этой же системы. При рассмотрении такой глобальной и неоднородной геохимической системы, как верхняя часть литосферы, вместо фонового содержания следует брать кларковое содержание химических элементов в различных типах горных пород, составляющих эту систему.

На протяжении значительной части истории развития Земли (после ее вертикального расслоения) распространенность химических элементов (их среднее содержание) в верхних частях литосферы можно считать практически не изменяющейся. Об этом можно судить, сравнивая кларки, характеризующие земную кору в целом (Ф. Кларк и Г. Вашингтон, А.Е. Ферсман, А.П. Виноградов, С.Р. Тейлор и др.), с кларками литосферы без осадочных пород по А.А. Беусу.

Объясняется такое длительное постоянство значений кларков двумя основными причинами. *Во-первых*, первичное образование осадочных пород происходило только за счет пород, относимых к магматическим. Следовательно, общая масса вещества в верхних частях литосферы и соотношения между составляющими ее химическими элементами оставались после вертикальной дифференциации Земли до настоящего времени без существенных изменений. *Во-вторых*, при расчете кларков земной коры определялось процентное содержание массы каждого из элементов по отношению к массе всей земной коры, а не ее отдельных частей, образовавшихся в процессе формирования осадочных пород, и связанной с этим процессом горизонтальной дифференциацией вещества на поверхности Земли.

Особо следует отметить, что даже формирование атмосферы и гидросферы не оказало большого влияния на изменение кларкового значения химических элементов. Отклонения в значениях кларков литосферы без осадочного чехла от кларков земной коры также практически не превышают погрешностей, которые образуются при расчете кларков земной коры разными исследователями.

Однако распределение элементов (их разброс) в литосфере изменилось за это время весьма существенно.

Показатель относительного разброса

Если нас интересует изменение разброса конкретных элементов в результате какого-либо процесса, то определяется **величина относительного разброса (ОР)**. Она *представляет собой отношение величины абсолютного разброса интересующего нас элемента в системе после рассматриваемого процесса к величине абсолютного разброса этого же элемента в той же системе до начала процесса.*

В табл. 1.9 приведены значения абсолютных и относительных разбросов химических элементов в магматических породах, в породах и почвах континентов и в образованиях дна океана. Величины относительных разбросов определялись в данном случае для установления изменений абсолютных разбросов элементов, происшедших в результате сложного процесса горизонтальной дифференциации вещества первично магматических образований. Результатом этого процесса, приведшего к изменениям разброса элементов, было образование, кроме ранее существовавших магматических пород (и за их счет), осадочных пород, почв и различных илов. Как видно из данных табл. 1.9, для ряда химических элементов ОР практически не изменился по сравнению с разбросом в магматических породах. Для других элементов (В, Со, Ge, Hg, N и др.) произошло существенное изменение этой величины. Естественно, такие изменения не могли не сказаться на развитии биокосных систем и входящих в их состав живых организмов, что более подробно будет рассмотрено далее.

Таблица 1.9

Величины абсолютных и относительных разбросов (АР и ОР) кларкового содержания химических элементов в магматических породах, породах континентов и образованиях океанического дна

Элемент	Порядковый номер элемента	Кларк земной коры	АР в породах		ОР в породах континентов	АР в образованиях дна океана	ОР в образованиях дна океана
			магматических	континентов			
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	$1,7 \cdot 10^{-4}$	<u>2*</u>	13	6,5	13	6,5
Au	79	$4,3 \cdot 10^{-7}$	<u>1,5*</u>	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(2)*	5,2	0,9
Bi	83	$9 \cdot 10^{-7}$	<u>1,4*</u>	1,4	1		
Br	35	$2,1 \cdot 10^{-4}$	4,5	6,2	1,4	70	<u>15,6</u>
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	$7 \cdot 10^{-3}$	<u>322*</u>	322	1	690	2,14
Cl	17	$1,7 \cdot 10^{-2}$	8,7	52	6	350	40,4
Co	27	$1,8 \cdot 10^{-3}$	<u>150*</u>	1500	<u>10</u>	214,3	1,4
Cr	24	$8,3 \cdot 10^{-3}$	<u>800*</u>	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. 1.9

Элемент	Порядковый номер элемента	Кларк земной коры	АР в породах		ОР в породах континентов	АР в образованиях дна океана	ОР в образованиях дна океана
			магматических	континентов			
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	$8 \cdot 10^{-3}$	36	36	1	76	2,1
Ge	32	$1,4 \cdot 10^{-4}$	<u>1,5*</u>	25(10)	<u>16.7(6.6)</u>	10	6,7
Hf	72	$1 \cdot 10^{-4}$	18,3	36,7	2	10	0,6
Hg	80	$8,3 \cdot 10^{-6}$	<u>1,8*</u>	40(13)	<u>22.2(7.2)</u>	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
I	53	$4 \cdot 10^{-5}$	1*	10(4)	<u>10(4)</u>	10	10
K	19	2,5	<u>1200*</u>	1200	1	625	0,5
La	57	$2,9 \cdot 10^{-3}$	<u>140*</u>	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	<u>127,5*</u>	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

Продолжение табл. 1.9

Элемент	Порядковый номер элемента	Кларк земной коры	АР в породах		ОР в породах континентов	АР в образованиях дна океана	ОР в образованиях дна океана
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	37	$9 \cdot 10^{-4}$	30	30	1	66	2,2
Rb	75	$1,5 \cdot 10^{-2}$	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*	9	9	7,81	4,6
Sm	62	$8 \cdot 10^{-4}$	36	1	1	76	2,1
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
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

Окончание табл. 1.9

Элемент	Порядковый номер элемента	Кларк земной коры	АР в породах		ОР в породах континентов	АР в образованиях дна океана	ОР в образованиях дна океана
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

Примечание. 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 содержания в почве.

Как уже указывалось, по мнению А.Е. Ферсмана, сам кларк земной коры является **«константой мира»**. Это объясняется тем, что в такой глобальной системе, как земная кора, пространственность элементов определяется строением их ядер. Если предлагаемый показатель (абсолютный разброс химических элементов в верхних частях литосферы или только в магматических породах) по своему научному и практическому значению близок к кларку, то он также должен быть связан со строением атомов.

Связь абсолютных разбросов химических элементов в верхних частях коры (АР) со строением атомов рассматривается в части 2.

Показатель абсолютного накопления (ПАН) (Алексеевко, 1997) показывает, какая масса определенного химического элемента (или его соединения) накопилась в конкретной части геохимической системы в результате произошедших процессов на единице площади. Изучаемой частью системы могут быть ландшафты, вся растительность определенного участка и ее определенные виды, поверхностные или подземные воды, почвы и т.д.

Как предельный случай воздействия природных или техногенных процессов на геохимический ландшафт может рассматриваться полная замена одного геохимического ландшафта другим. Такая замена названа нами коренным изменением ландшафтно-геохимической обстановки, при котором (для расчета величины ПАН) сравниваются концентрации элемента в аналогичных частях вновь образовавшегося ландшафта и ландшафта, подобного тому, который ранее был на месте заменившегося.

Для установления величины ПАН в почвах на площади 1 км² определяется разница между фоновыми содержаниями в почвах до начала рассматриваемых процессов и после их окончания: $S_{\text{ф}}$ - $S_{\text{ф2}}$. Если после окончания процессов содержание уменьшалось (т.е. происходил вынос элемента), величина ПАН имеет отрицательное значение.

Изучение по вертикальному профилю техногенных изменений концентрации рассматриваемых металлов показало, что они обычно происходят в почвах до глубины 30 см.

Определение средней плотности почв на юго-европейской части России позволило после расчетов считать, что увеличение (уменьшение) концентрации химических элементов в почвах на величину, равную $1 \cdot 10^{-3}\%$, в пределах верхнего 30-сантиметрового слоя соответствует увеличению (уменьшению) его массы на 6 т на площади, равной 1 км^2 . Аналогично определяется ПАН в других системах. В ряде случаев вместо величины фонового содержания в определенной части геохимической системы может использоваться величина кларкового содержания. Поэтому в таких случаях следует оговорить, что значение ПАН определено относительно кларка.

Однако такой количественный показатель, как ПАН, необходимый для принятия многих практических решений, связанных с экологическими проблемами, не дает достаточной информации о наибольшем отрицательном влиянии определенных химических элементов в каждом конкретном случае. Рассмотрим это на примере. Увеличение на сотни тонн на 1 км^2 содержания в почвах железа менее опасно для организмов, чем увеличение на 10 т содержания ртути и мышьяка. Это связано с различными значениями кларков этих элементов. К высоким содержаниям железа (кларк 4,64 %) организмы за долгий период развития и эволюции привыкли, а к высоким содержаниям ртути (кларк $8,3 \cdot 10^{-6} \%$) или мышьяка ($1,7 \cdot 10^{-4} \%$) – нет. Чтобы учесть эту геохимическую особенность, В.А. Алексеенко был предложен показатель относительного накопления элементов (ПОН).

Показатель относительного накопления (ПОН) представляет собой отношение массы элемента, накопившегося (вынесенного) в результате произошедших процессов в определенной части геохимической системы (т.е. ПАН), к местному фоновому (или кларковому) содержанию. Таким образом, можно считать, что

$$\text{ПОН} = \text{ПАН} / C_{\text{кл. (фон)}}$$

Интенсивность миграции химических элементов

А.И. Перельман предложил определять по следующей формуле:

$$J = \frac{m}{t * C_K} ,$$

где m – масса мигрирующего элемента; t – промежуток времени существования миграции; C_K – кларковое, или местное фоновое, содержание химического элемента в рассматриваемой части биосферы.

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, связанных с антропогенной деятельностью (как происходящей в настоящее время, так и планируемой).

Эта величина относится к числу определяющих при установлении влияния конкретных техногенных факторов на здоровье населения. Однако часто при залповых выбросах кратковременная концентрация загрязняющих веществ, ставших подвиж-

ными в окружающей среде, представляет опасность для жизни многих организмов, включая человеческий, сразу же в период выброса. Именно для характеристики подвижности загрязняющих веществ в таких ситуациях В.А. Алексеев предложил определять, кроме итоговой, краткосрочную интенсивность миграции.

Изменение интенсивности миграции химических элементов можно измерить в абсолютных и относительных величинах. **В первом случае** она определяется как разность между величинами интенсивности миграции (например, во время становления ноосферы и в предшествующий период), **а во втором** – как отношение указанных величин. Назовем ее относительной величиной изменения интенсивности миграции. И абсолютное, и относительное значение изменения интенсивности миграции может быть итоговым и краткосрочным.

Изменение интенсивности миграции химических элементов целесообразно изучать в зависимости от формы их нахождения в миграционном потоке и от форм нахождения химических элементов, составляющих среду миграции.

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.

Изменение соотношения масс химических элементов, находящихся и мигрирующих в различных формах нахождения, обычно используется для оценки состояния довольно крупных геохимических систем (чаще биокосных) и происходящих в них изменениях. Несколько условно массы элементов можно разделить на 2 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. **Возникновение в пределах изучаемой геохимической системы новых геохимических барьеров** может использоваться как один из показателей изменений, происходящих в геохимической системе на определенной площади. При изучении антропогенных изменений особое внимание следует уделять социальным барьерам.

ЧАСТЬ II

ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

2.1. Общие понятия

Существование человечества невозможно без взаимодействия его с окружающим живым, косным и биокосным веществами. Это взаимодействие, как и сама жизнь всех организмов, представляет собой сложный биогео-химический процесс перераспределения, миграции и концентрации химических элементов. Его изучение требует знания ряда специальных терминов и понятий. Часть основных из них рассматривается ниже.

Организмы не только сами приспосабливаются к физической среде, но и своей совместной деятельностью приспособляют окружающую геохимическую среду к своим экологическим нуждам. Сообщества организмов и окружающая их среда развиваются как единое целое. Геохимический состав среды Земли резко отличается от условий на других планетах Солнечной системы, указывая на то, что биота вместе со средой образует сложную систему регуляции, поддерживающую условия, обеспечивающие жизнь.

Окружающая среда состоит из взаимосвязанных подсистем: собственно природной среды, порожденной агротехникой среды — «второй природы», искусственной среды — «третьей природы» и социальной среды.

Природная среда, окружающая человека, рассматривается как комплекс факторов естественного или природно-антропогенного происхождения (т. е. имеющих свойства самоподдержания без постоянных воздействий со стороны человека), прямо или косвенно влияющих на отдельного человека или все человечество. Можно выделить абиотические, биотические и антропогенные; или физические, химические и биологические; или энергетическое состояние среды, химический и динамический характер атмосферы и гидросферы; физический, химический и механический характер поверхности земли (включая

геоморфологические структуры — равнинность, холмистость, гористость и т. п.); состав биологической части экологических систем (растительности, животного и микробного населения, грибов); ландшафтов и их сочетаний.

Освоенная часть суши земли заметно преобразована человеком для своих нужд. Оставшаяся доля составляет природную среду жизни. Надо отметить, что площадь косвенного воздействия сейчас практически равна всей поверхности планеты. Площадь планеты — 510,2 млн км², в том числе океанов 361,1 млн км² (70,8%) и суши — 149,1 млн км² (29,2%). Из площади суши 48051 840 км² (около 1/3) не несут видимых следов пребывания человека, в том числе в Антарктиде — почти 100%, Северной Америке — 37,5, Австралии и Океании — 27,9, Африке — 27,5, Южной Америке — 20,8, Азии — 13,6, в Европе — 2,8% суши. В основном это суровые, мало пригодные для жизни земли с экстремальными для человека условиями существования.

Квазиприродная среда — это трансформации природной среды, искусственно преобразованные людьми, и для которых характерно отсутствие самоподдержания (т. е. постепенно разрушающиеся без постоянного регулирования со стороны человека): пахотные и иные преобразованные человеком угодья; культурные ландшафты; грунтовые дороги; внешнее пространство населенных мест; зеленые насаждения. Все эти образования имеют природное происхождение, представляют собой измененную природную среду и не являются исключительно искусственными, не существующими в природе. Расширение территорий «второй природы» требует все больших усилий по ее поддержанию. Поддержание экологического баланса требует оптимального пространственного, временного и функционального соотношения природной и квазиприродной сред.

Человек интенсивнее и экстенсивнее, чем другие организмы, пытается изменять физические, химические и биологические условия среды для удовлетворения своих разнообразных потребностей. Разрушается среда обитания растений, животных, грибов, физиологически необходимая для нашего существования, нарушаются геохимические круговороты веществ. Соответственно, стремясь всеми средствами снизить уровень загряз-

нения, человек должен также сохранять целостность биосферы и природной среды как системы жизнеобеспечения.

К артеприродной среде относится весь искусственный мир, созданный человеком, не имеющий аналогов в естественной природе и без непрерывного обновления начинающий разрушаться. Это преобразованное человеком вещество, не входящее в естественные геохимические циклы. К так называемой «третьей природе» можно отнести асфальт и бетон современных городов, внутреннее пространство мест жизни и работы, транспорта и предприятий сферы обслуживания; технологическое оборудование; транспортные объекты; мебель и другие вещи. Сейчас человека окружает артеприродная среда. Она может снижать отрицательное воздействие природной среды (улучшает микроклимат), а может и существенно ухудшать из-за загрязнения, деградации. Сравнение «природного оптимума» с квази-природными и артеприродными параметрами позволяет определять направления регулирования окружающего человека среды.

Существует объективное противоречие: чем больше расширяется и благоустроеннее становится артеприродная среда, тем больше ресурсов требуется от природной среды и тем больше угроз того, что природная среда будет разрушена как система жизнеобеспечения.

Социальная среда — факторы влияния людей как социально-биологических существ друг на друга в коллективах и с помощью средств материального, энергетического и информационного воздействия. Воздействие включает экономическую обеспеченность в соответствии с выработанным обществом или данной этнической, социальной группой эталоном, гражданские свободы, степень уверенности в будущем; моральные нормы общения, свободу самовыражения; возможность свободного общения с лицами сходного этнического и культурного уровня; возможность пользоваться культурными и материальными ценностями; доступности общепризнанных мест отдыха или сезонной перемены типа жилища. Социальная среда интегрируется с природной, квазиприродной и артеприродной средами в общую совокупность окружающей человека среды. Все факторы каждой из рассматриваемых сред тесно взаимосвязаны между собой

и составляют «качество среды жизни». Природная и измененные среды способны усиливать или ослаблять действие друг друга. Природный климатический дискомфорт может быть ослаблен лучшей организацией искусственной среды и социальным оптимумом.

Природопользование обычно понимается как использование природных ресурсов в процессе общественного производства в целях удовлетворения материальных и культурных потребностей общества. Оно *включает*: извлечение и переработку природных ресурсов, их возобновление или воспроизводство; использование и охрану природных условий среды жизни и сохранение (поддержание), воспроизводство (восстановление) и рациональное изменение экологического баланса. В настоящее время *природопользование* часто рассматривается как *отрасль научных знаний о взаимодействии человека и природы*. Выделяют реальное, как правило, *нерациональное природопользование* – система деятельности, не обеспечивающая сохранения *природно-ресурсного потенциала*. Как теоретическое, но направленное на внедрение в хозяйственную деятельность, научно обоснованное, разрабатывается *рациональное природопользование* – система деятельности, призванная обеспечить экономную эксплуатацию природных ресурсов и условий и наиболее эффективный режим их воспроизводства с учетом перспективных интересов развивающегося хозяйства и сохранения здоровья людей.

Естественные ресурсы (син. ресурсы среды)

1. Вещественные переменные, от которых организмы получают вещество и энергию, необходимые для их существования.

2. Природные объекты и явления, используемые в настоящем, прошлом и будущем для прямого и непрямого потребления, способствующие созданию материальных богатств, воспроизводству трудовых ресурсов, поддержанию условий существования человечества и повышающие качество жизни (ресурсы удобств, эстетические ресурсы, в том числе феномены природы).

3. Тела и силы природы (природные блага), общественная полезность которых положительно или отрицательно изменяется в результате трудовой деятельности человека, используемые

(или потенциально пригодные для использования) в качестве средств труда (земля, водные пути, вода для орошения), источников энергий (гидроэнергия, атомное топливо, запасы горючих ископаемых и т.д.), сырья и материалов (минералы, леса, ресурсы технической ВОДЫ), непосредственно в качестве предметов потребления (питьевая вода, дикорастущие растения, грибы, цветы, продукты рыболовства), рекреации (места отдыха в природе, оздоровительное ее значение), банка генетического фонда (ресурсы надежности экосистем, выведения новых сортов и пород) или источников информации об окружающем мире (руководящие палеонтологические формы, заповедники – эталоны природы, биоиндикаторы и т.п.), при этом изменение состояния этих тел и сил (явлений) природы в процессе их использования прямо или косвенно затрагивает интересы хозяйства сейчас или в обозримой перспективе.

Природно-ресурсный потенциал – способность природных систем без ущерба для себя отдавать необходимую человечеству продукцию или производить полезную для него работу в рамках хозяйства данного исторического типа. Для минеральных ресурсов ограничением может быть загрязнение ими поверхности планеты, изменение сейсмической ситуации и т. п. *Природно-ресурсный потенциал* – это та часть природных ресурсов Земли и ближайшего космоса, которая может быть реально вовлечена в хозяйственную деятельность при данных технических и социально-экономических возможностях общества с условием сохранения среды жизни человечества.

Происходит **истощение природных ресурсов**, вызванное несоответствием между изъятиями природного ресурса и нормами, обеспечивающими устойчивость окружающей среды и жизни на Земле. Имеется в виду не только прямое изъятие, но и косвенное: например, снижение плодородия почвы за счет эрозии и загрязнения, вызванных хозяйственной деятельностью. Затраты на добычу, обогащение и переработку природного ресурса превышают получаемый экономический эффект, что делает использование ресурса нерентабельным.

Окружающую среду могут рассматривать как систему абиотической, биотической и биокосной сред.

Среда абиотическая – все силы и явления природы, происхождение которых прямо не связано с жизнедеятельностью ныне живущих организмов (включая человека).

Среда биотическая – силы и явления природы, обязанные своим происхождением жизнедеятельности ныне живущих организмов.

Среда биокосная – силы и явления природы, обязанные своим происхождением жизнедеятельности ранее живших организмов и косному веществу, измененному этими организмами. В биокосной среде для косного и живого вещества характерны взаимопроникновение и взаимообусловленность, вместе они составляют единое целое.

Существуют и другие особенные пространства, окружающие человека и другие организмы.

Среда антропогенная – среда природная, прямо или косвенно, намеренно или непреднамеренно измененная людьми.

Среда техногенная – среда природная, прямо или косвенно, намеренно или непреднамеренно измененная промышленной деятельностью людей.

Среда архитектурно-ландшафтная – сочетание природных условий и строительно-архитектурных форм, создающее предпосылки для хозяйственной и бытовой деятельности человека и в сумме с ней воздействующее на человека как на социально-биологическое существо.

Среда жизни человека – совокупность природной среды, квазиприродной, артеприродной среды (среды населенных мест и внутриквартирной среды), социально-экономической среды, т.е. комплекс природных, природно-антропогенных, антропогенных и социально-экономических факторов, воздействующих на человека.

Биокосные системы – системы, в которых живые организмы и неорганическая материя (косное вещество) неразрывно связаны между собой. Для них (косного и живого вещества) характерны взаимопроникновение и взаимообусловленность, вместе они составляют единое целое.

Открытие первых биокосных систем (почвы) связано с работами В.В. Докучаева. Дальнейшее развитие учения о биокосных системах продолжил В.И. Вернадский.

К биокосным системам относятся почвы, илы, природные воды, ландшафты в целом и т.д. В настоящее время все биокосные системы испытывают сильное и все возрастающее техногенное воздействие. Происходит также формирование техногенных биокосных систем, таким образом, их нельзя считать только природными образованиями.

Почва представляет собой особое естественно-историческое тело на поверхности суши, возникшее в процессе длительного эволюционного развития биосферы земли, состоящее из живых организмов, воды, воздуха и дисперсной органоминеральной массы, структурированной по своим законам с образованием многоуровневой иерархической системы от микроагрегата до горизонта и профиля (совокупности генетически связанных горизонтов). Почва, по определению В.В. Докучаева, является продуктом взаимодействия факторов почвообразования: горной породы, растительности и животных, рельефа поверхности суши, климата, возраста страны и хозяйственной деятельности человека. Почвы – главный компонент и основа обеспечения функционирования всех наземных экосистем и является одним из главных национальных богатств, невозобновимым и незаменимым стратегическим природным ресурсом. Почвы выполняют многие функции в развитии биосферных и хозяйственных процессов развития человечества. *Главные из них следующие:*

- экологическая биосферная функция, обеспечивающая развитие всего многообразия растительного и животного мира;
- основной компонент природных и культурных ландшафтов как сферы обитания человека со всей его социальной, духовной и хозяйственно-экономической деятельностью;
- геохимическая функция почвы как регулятора, движения, дифференциации и обмена веществ и химических элементов между атмосферой, литосферой, гидросферой, биосферой и антропосферой (сферой деятельности человека);

- почва – основной природный ресурс в сельском и лесном хозяйстве, предмет и средство труда человека, основа благосостояния, продовольственно-сырьевой независимости и безопасности государства.

Результаты изучения экосистемных и биосферных функций почв свидетельствуют об их исключительно важной роли в биосфере и жизни человека. В начале XX в. В.И. Вернадский отметил, что *«все яснее становится нам значение почвы в биосфере не только как субстрата, на котором живет растительный и животный мир, но и как области биосферы, где наиболее интенсивно идут разнообразные химические реакции, связанные с живым веществом»*.

Более полными стали представления о важной и незаменимой роли почвы в биосфере во второй половине XX в. благодаря работам многих выдающихся естествоиспытателей: В.В. Докучаева, И.П. Герасимова, В.А. Ковды, Г.В. и В.В. Добровольских, М.А. Глазовской, Б.Н. Розанова, Н.М. Сибирцева, К.К. Гедройца, Л.И. Полынова, Л.И. Прасолова, К.Д. Глинки, Э. Бланк, Ф. Дюшофура, К. Марбута, Г.В. Мотузовой, Ч. Келлога, И. Торна, Ж. Дорста, П. Дювиньо, Ж.У. Аханова, М.Е. Бельгибаева, В.М. Боровского, А.М. Дурасова, К.И. Имангазиева, С.П. Матусевич, А.Т. Пономаревой, М.И. Рубинштейна, А.А. Соколова, С.И. Соколова, Т.Т. Тазабекова, У.У. Успанова и др.

Формирование биосферы можно понять, лишь выявив основные этапы развития почвенного покрова планеты. Появление осадочных пород (около 3,8 млрд лет назад) привело к развитию протопочв (предшественников современных почв, рыхлого субстрата, содержащего органическое вещество). Протопочвы стали местообитанием первичных форм жизни и послужили толчком к дальнейшей эволюции биосферы. Оценке особой роли почв в формировании биосферы удивительно созвучны работы Г.А. Заварзина. Он выдвинул гипотезу, что 3,8 млрд лет назад в противовес сульфатно-хлоридному океану на континентах образовалась содовая геохимическая формация, роль которой в развитии жизни на Земле еще не изучена. Вполне возможно, что именно эта содовая формация и первичная почва, первичная

осадочная порода послужила тем субстратом, на котором развивались живые организмы.

Не менее важно знание почвенных процессов для понимания прошлой и будущей эволюции биосферы, процессов выветривания и образования минералов в верхних слоях литосферы. В результате парникового эффекта газообмен между почвой и атмосферой приобретает исключительное значение. Только правильная оценка баланса углерода между атмосферой и почвой позволит надежно предсказать эволюцию атмосферы и биосферы в ближайшем будущем.

Привлекает внимание воздействие почв, почвенного покрова на гидросферу, в том числе и на Мировой океан, куда в результате выносятся растворимые продукты почвообразования и где накапливаются осадочные породы, частично уже прошедшие цикл почвообразования. Возможно, именно поэтому осадочные породы всегда содержат органическое вещество, следы былого почвообразования.

Намечается более широкое взаимодействие почвоведения с другими науками. И сейчас почву можно рассматривать как резервуар биологически активных веществ, еще недостаточно изученный и почти неиспользуемый.

Почва как природное тело подобно минералу, горной породе или даже живому организму, нуждается в систематическом изучении и классификации.

Основные направления и задачи развития экологии почв вообще и учения о почвенных экотонциях представлены в табл. 2.1.

**Актуальные проблемы развития интегральной экологии почв
(по Никитину, 2005)**



Современное почвоведение рассматривает почву не только как результат почвообразовательного процесса, но и как *полифункциональную* природную структуру, играющую огромную роль в экосистеме. В настоящее время вполне определенно установлено, что устойчивость экологических функций почв является основным условием устойчивости биосферы в целом, следовательно, и устойчивости обеспечения жизни на Земле.

Многочисленные экологические функции почв в той или иной степени рассматривались в работах В.В. Докучаева, Ю. Либиха, В.Р. Волобуева, Э.Д. Рассела, Л.Г. Раменского, В.Р. Вильямса, В.А. Ковды, Б.Г. Розанова, Г.В. и В.В. Добровольских, Е.Д. Никитина, Л.О. Карпачевского, О.Г. Чертова и др. С известной долей условности экологические функции можно разделить на *три группы*: глобальные, общебиосферные и биогеоценотические (табл. 2.2).

Все экологические функции почвы Г.В. Добровольский (1999) резюмирует следующим образом:

1) почва – это уникальная среда обитания наземных организмов, обеспечивающая почвенную биоту водой, воздухом, минеральными и органическими элементами питания, защиту от экстремальных гидротермических и других колебаний внешней среды;

2) почву можно рассматривать как планетарный механизм, который, благодаря сложной системе взаимообусловленных равновесий, упорядочивает все потоки веществ в биосфере, выступая в качестве связующего звена и регулирующего механизма в процессах биологической и геологической циркуляции элементов. По существу, она *«закрывает»* все биогеохимические циклы.

Таблица 2.2

**Основные экологические функции почвы
(по Добровольскому, Никитину, 1990)**

Категории и виды функций почв			
биогеоценозические	литосферные	атмосферные	общебиосферные
Жилище, механическая опора живых организмов, депо семян	Биохимические преобразования верхних слоев литосферы	Трансформация поверхностных вод в грунтовые	Среда обитания, источник вещества для организмов суши, фактор биологической эволюции и этногенеза
Источник и депо элементов питания, влаги, энергии	Источник веществ для образования минералов и пород	Регулирование речного стока, фактор биопродуктивности водоемов	Условия нормального функционирования биосферы и этносферы, планетарный узел связей
Регуляция состава, структуры и динамики, «память» биогеоценоза (БГЦ)	Передача аккумулированной солнечной энергии в глубокие части	Поглощение и отражение солнечной радиации	Обеспечение воспроизводства сельскохозяйственного и лесохозяйственного сырья
Аккумуляция и трансформация веществ и энергии БГЦ, санитарная функция	Защита литосферы от чрезмерной эрозии	Регулирование влагооборота, газового режима и состава атмосферы	Фактор формирования полезных ископаемых и энергетических ресурсов
Обеспечение биопродуктивности и почвенного плодородия	Условие нормального развития литосферы	Источник твердого вещества и микроорганизмов атмосферы	Место для поселений, промышленных и дорожных объектов; рекреационная функция

Таблица 2.3

Массы некоторых химических элементов, ежегодно вовлекаемых в миграцию из педосферы, млн. т (по Добровольскому, 1998)

Элемент	Биологический круговорот	Континентальный сток	
		растворимых форм	в составе твердых взвесей
Ca	1600,0	2340,0	500,0
K	1200,0	60,0	285,0
S	590,0	150,0	60,0
P	340,0	2,0	11,4
Fe	35,0	0,25	950,0
Mn	41,0	0,37	200,0
Zn	8,6	0,74	5,9
Cu	1,7	0,26	1,2
Pb	0,43	0,04	2,8

3) почвенный покров Земли представляет собой связующее звено в биосфере между атмосферой, гидросферой и литосферой;

4) биологическая продуктивность, т.е. плодородие почв, является основным источником питания не только человечества, но и всего наземного мира живых существ.

Миграционные потоки химических элементов, ежегодно обеспечиваемых педосферой, представлены в табл. 2.3.

Кроме того, многие другие частные функции – физические, химические, информационные – также определяют значительную роль почвы в биосфере.

Органическое вещество почвы, образующееся в результате разложения растительных и животных остатков и продуктов жизнедеятельности организмов, называется **гумус** – (от лат. humus – земля, почва). Почвенный гумус непрерывно обновляется в результате разложения и синтеза входящих в его состав органических соединений. *В органической части почвы различаются следующие формы:*

- почти неразложившиеся или слабо разложившиеся остатки преимущественно растительного происхождения. Их скопления образуют лесные подстилки, торфянистые горизонты, степной войлок. Это так называемый *грубый гумус*, в ино-

странной литературе именуемый *мор* (от нем. moog – торфяник). Грубый гумус, включающий не только растительные, но и животные остатки, не утратившие тканевую структуру, а иногда и микроорганизмы, определяют как *перегной*;

- остатки в стадии глубокого преобразования. Под микроскопом эта масса состоит из физически и химически измененных растительных остатков - мелких обрывков растительной ткани, обильно пропитанных новообразованными органическими соединениями. Подобная форма органического вещества получила название *модер* (от нем. moder – труха);

- микроскопически не обнаруживающие следов растительных тканей специфические почвенные органические образования, составляющие собственно гумус; такая форма органического вещества называется *муль* (мулль) (от нем. mull – пыль).

Таким образом, гумус может быть представлен разными формами. Указание на разговорный эквивалент термина "гумус" – *перегной*, которое часто встречается в энциклопедических и словарных изданиях, научно некорректно. *Основными компонентами гумуса являются* фульвокислоты, гуминовые кислоты, гумины. Резкой границы между ними нет, они связаны между собой постепенными переходами, характеризуются различным отношением к растворителям. *Фульвокислоты* представляют собой высокомолекулярные соединения ароматического ряда, они растворяются в воде, в высушенном состоянии имеют желтый цвет (от лат. Fulvus – желтый), активно воздействуют на различные минералы, разрушая их и образуя устойчивые комплексные соединения с катионами. *Фульваты* легко вымываются почвенными водами.

Гуминовые кислоты, нерастворимые в воде, но растворяющиеся в щелочах, характеризуются повышенным по сравнению с фульвокислотами содержанием углерода и азота, имеют бурый или черный цвет, благодаря высокой клеюшей способности создают структуру почв, считаются активаторами роста растений. Гуминовая кислота – темноокрашенная фракция органических веществ, экстрагируется из почв щелочными растворами и осаждается минеральными кислотами при pH –1–2, имеет переменный состав (С от 48 до 64%, Н – 3,4–5,6%, N–2,7– 5,3%).

Фульвокислоты представляют собой специфические вещества, образующиеся в процессе гумификации из растительных и животных остатков и отличающиеся от других гуминовых веществ высокой растворимостью в водных средах при любой их кислотности или щелочности, сравнительно невысокой молекулярной массой и слабой окраской, содержания С – 40-45%. По современным представлениям (Орлов, 2000) фульвокислоты не являются самостоятельной группой соединений, а рассматриваются как фракции гуминовых кислот.

Часть гумусовых веществ, которая не растворяется ни в одном растворителе, называется **гумином**. В гумусе помимо углерода, водорода, кислорода и азота содержится значительное количество серы, фосфора, кальция, калия, а также многие редкие и рассеянные химические элементы. В зависимости от географических условий имеет место закономерное изменение количества гумуса в зональных типах почв. Впервые это положение было сформулировано В.В. Докучаевым в его работе "Русский чернозем" (1883 г.). Содержание гумуса увеличивается от таежных подзолистых почв (2– 3%) на юг к дерново-подзолистым, серым лесным (4–6%) и далее к черноземам (в среднем около 10%), а потом также закономерно уменьшается до 2–4% в каштановых почвах сухих степей и до 1– 2% – в почвах пустынь. Одновременно меняется соотношение компонентов почвенного гумуса – гуминовых кислот и фульвокислот. Содержание гуминовых кислот увеличивается с возрастом гумуса, а содержание фульвокислот, наоборот, уменьшается. Поэтому для характеристики органической части почвы важное значение имеет соотношение между содержанием гуминовых кислот и фульвокислот или соотношение углерода гуминовых и фульвокислот. Почвы, богатые гумусом, обладают высоким плодородием. Гумусовые вещества также способствуют оструктурированию почвенной массы, созданию благоприятного водно-воздушного режима. Почвы с оптимальным содержанием гумуса максимально устойчивы к действию разрушающих факторов (эрозия), (дефляция), влиянию химических загрязняющих веществ, засухам или переувлажнению.

В процессе обработки почв происходит *дегумификация* – уменьшение содержания гумуса в пахотном горизонте. При неправильном использовании почв (бессменная культура, внесение высоких доз кислых минеральных удобрений, небеспеченность органическими удобрениями, интенсивные обработки тяжелыми орудиями и машинами и др.) наблюдаются разрушение и потеря гумуса. Принято считать, что за последние десятилетия почвы пашни потеряли 20–30% гумуса. Для восполнения потерь гумуса в обрабатываемые почвы вносят органические и минеральные удобрения, сохранению гумуса способствует известкование почв.

Имеющиеся на сегодня сведения о природе гумусовых веществ, независимо от их принадлежности и происхождения, еще очень далеки от совершенства. *Остаются нерешенными многие теоретические и прикладные вопросы, среди которых мы можем обозначить следующие:*

- несовершенство номенклатуры гуминовых веществ почвы, в которой не учитывается многообразие форм существования гуминовых веществ как в почвах, так и в других природных образованиях (например, органоминеральные соединения);

- несовершенство методов количественной оценки и препаративного выделения важнейших групп и фракций гуминовых веществ (нарушение структуры и пространственной организации макромолекул и др.); неопределенность вопроса о препаративной чистоте гуминовых веществ;

- несовершенство наиболее часто используемых методов оценки молекулярной структуры препаратов гуминовых веществ (оптическая плотность, элементный состав);

- несовершенство методов оценки важнейших функциональных параметров гуминовых веществ (физиологическая и биопротекторная активность, транспортная функция и др.).

Следует признать, что гуминовые вещества – одна из наиболее сложных для изучения групп природных соединений, которые представлены в биосфере не только в относительно концентрированной (гумусовые горизонты почв, торф и т.п.), но и в рассеянной форме (нижние горизонты почв, наземные и грунтовые воды и т.п.). Гетерогенность и гетерополидисперс-

ность гуминовых веществ обуславливают достаточно широкую вариабельность их свойств, которая проявляется не только в различиях молекулярной структуры, но и в диалектической противоположности целого ряда свойств (стабильность - динамичность и др.). Можно с высокой долей вероятности утверждать, что в пределах одного препарата гуминовых кислот (ГК) мы можем не найти двух идентичных макромолекул. В связи с этим в изучении гуминовых веществ необходимо применение совершенно особой методологии и особых методических подходов, отличных от подходов классической структурно-аналитической химии, ориентированных на работу с чистыми и относительно регулярно организованными веществами. Поэтому поиск каких-либо строгих химических формул и разработка жестких моделей строения макромолекул гуминовых веществ является до сих пор нерешенной и малоперспективной задачей.

Физико-химические свойства почв – совокупность свойств, определяющих способность почвы поддерживать физико-химическое равновесие между фазами почв, составом почвенных растворов и поглощенных оснований в почвенном поглощающем комплексе, кислотно-щелочной и окислительно-восстановительный потенциал, состав и количество доступных растению питательных веществ; буферность почв – способность противостоять изменению свойств почвы при поступлении в нее веществ извне. **Реакция почв** – соотношение концентрации ионов H^+ и OH^- в водной вытяжке при отношении почва:вода - 1:2,5. Р.п., выражается через рН. Принята следующая градация: Р.п. сильнокислая – рН 3-4, кислая – рН 4-5, слабокислая – рН 5-6, нейтральная – рН 7, слабощелочная – рН 7-8, щелочная – рН 8-9, сильнощелочная – рН 9-11. Р.п. определяется в растворе, выделенном из почвы при естественной влажности.

Содержание и состав почвенного воздуха и его изменение во времени (воздухообмен) определяется **воздушным режимом почв**. Воздух составляет 25–50% объема почвы, но может и уменьшаться в переувлажненных почвах. Воздух находится в *трех формах*: в адсорбированном, растворенном и газообразном состоянии. Содержание CO_2 в почвенном воздухе составляет от 0,2–2% и достигает 4% и более. С повышением содержания уг-

лекислога газа резко уменьшается количество кислорода – и возможно появление сероводорода, а в заболоченных почвах метана и др. Между почвой, атмосферой и подстилающими слоями происходит газообмен, чему способствуют колебания температуры, давления, действие ветра, выпадение осадков, орошение, обработка почв. Почва выделяет углекислый газ и поглощает кислород в связи с дыханием корней растений, жизнедеятельностью микроорганизмов, химическими и биохимическими процессами. Воздушный режим почвы оказывает влияние на состав почвенного раствора и поступление питательных веществ в корни растений, а также на состав обменных оснований в почвенном поглощающем комплексе. Регулирование воздушного режима производится обработкой почвы (вспашка, шелевание и др.), мелиоративными мероприятиями (дренаж, орошение, известкование, улучшение водно-физических свойств, внесение удобрений).

Совокупность процессов поступления, передвижения и расхода влаги определяется **водным режимом почв**. Основным источником почвенной влаги обычно бывают атмосферные осадки, количество и распределение которых во времени зависят от погоды и климата природной зоны. В почву поступает меньше влаги, чем выпадает её в виде осадков, так как значительная часть задерживается растительностью, в особенности кронами деревьев. Вторым источником поступления влаги в почву является конденсация атмосферной влаги на поверхности почвы и в её верхнем горизонте.

Выщелачивание почв – процесс растворения и выноса из почвы или ее отдельного горизонта различных растворимых веществ, что вызывается обычно влиянием почвенных растворов, перемещающихся в различных направлениях – нисходящих или боковых.

Засоление почв – повышение концентрации солей в почве, в конечном итоге делающее невозможным рост растений. Засоление почв бывает естественным, обусловленным физико-географическими особенностями территории, обычно такие участки характерны для территорий пустынь и полупустынь. С развитием ирригации З.п. стало побочным эффектом. Оно свя-

зано с ошибками строительства и эксплуатации ирригационных систем, неверным определением норм полива. Такое антропогенное засоление известно с древности: в Месопотамии еще до нашей эры из-за антропогенного засоления были заброшены многие десятки тысяч га ранее орошавшихся земель. Засоленными считаются почвы при содержании более 0,1% по массе токсичных солей или 0,25% солей в плотном остатке.

Площадь засоленных земель в Казахстане составляет 34,4 млн га, или 15,6 % от площади сельхозугодий, в том числе пашни – 2,0 млн га. Больше всего таких земель выявлено в Кызылординской (7,0 млн га), Мангыстауской (6,9 млн га), Костанайской и Алматинской (2,9 млн га) и Южно-Казахстанской (2,2 млн га) областях.

Солонцы, так называются почвы, содержащие в солонцовом горизонте обменный натрий (часто в значительных количествах) и, как правило, имеющие на некоторой глубине легкорастворимые соли (20–50 см и глубже), с четко дифференцированным по элювиально-иллювиальному типу профилем, относятся к группе засоленных почв. На солонцах в природных условиях произрастает низкорослая растительность, представленная черной и белой полынью, камфоросмой, пыреем, кермеком и др. Большинство исследователей по вопросу происхождения солонцовых почв придерживаются точки зрения К.К. Гедройца об образовании этих почв при рассолении засоленных почв.

К.Д. Глинка, Д.Г. Виленский связывали генезис этих почв с современными процессами засоления почв под влиянием минерализованных грунтовых вод и ее периодическим рассолением. Ряд исследователей (В.Р. Вильяме, В.А. Францесон, А.Н. Розанов, Н.Н. Большаков) отводили большую роль жизнедеятельности некоторых видов растений и поступлению натрия в почвы с растительным опадом. Все исследователи отводили главную роль в формировании солонцов обменному натрию. Присутствие последнего в солонцовом горизонте приводит к развитию в почвах целого ряда неблагоприятных свойств: образованию соды, щелочной реакции, повышенной пептизируемости почвенных коллоидов, большой растворимости гумусовых веществ. Минеральные коллоиды и гумусовые вещества вымы-

ваются из верхнего (элювиального) горизонта и осаждаются на некоторой глубине, образуя очень плотный горизонт вмывания (иллювиальный, собственно солонцовый). В сухом состоянии солонцовый горизонт сильно уплотнен и растрескивается на крупные столбчатые отдельности, которые, в свою очередь, распадаются на призмы, глыбы, орехи. Поверхность структурных отдельностей покрыта кутанами иллювиирования разной мощности. Размер структурных отдельностей варьирует и имеет определенную региональную приуроченность. Во влажном состоянии солонцовый горизонт сильно набухает, становится вязким, липким, водонепроницаемым. Исследования последних лет показали, что большая роль в пептизации почвенной массы в солонцах принадлежит гидрофильной плазме, подвижным кремний – органическим и другим соединениям кремния. В обобщенном виде морфологический профиль солонцов состоит из следующих генетических горизонтов:

A (A₁ + A₂) - B₁-B₂ (к,г,с) – BC (к,г,с) - C,

где: A – гумусовый со слабой дерниной горизонт, комковато-пылеватый, слоеватый или пластинчатый, элювиальный по илу – ("надсолонцовый"); иногда подразделяется на подгоризонты A₁ (гумусовый) и A₂ (белесый, осолоделый). B₁ – иллювиально-гумусовый (собственно солонцовый), плотный, в сухом состоянии трещиноват, структура столбчатая, призматическая или ореховатая. B₂ – слабогумусированный "подсолонцовый", слабее уплотнен и менее структурен, с признаками вскипания и выделения легкорастворимых солей, гипса, карбонатов. BC – содержит выделения легкорастворимых солей, гипса, карбонатов, переходит в засоленную породу. По характеру водного режима и комплексу связанных с ним свойств солонцы *делятся на три типа: автоморфные, полугидроморфные, гидроморфные*. Подразделение на подтипы производится по зонально-географическому принципу. *Выделяют подтипы:* солонцы автоморфные – черноземные, каштановые, полупустынные; солонцы полугидроморфные – лугово-черноземные, лугово-каштановые, лугово-полупустынные; солонцы гидроморфные – черноземно-луговые, каштаново-луговые, лугово-болотные, луговые мерзлотные. Дальнейшее подразделение подтипов *на ро-*

довом уровне происходит: по глубине залегания легкорастворимых солей (солончаковые, солончаковатые, глубокосолончаковатые, глубокозасоленные); по химизму засоления; по степени засоления; по глубине залегания карбонатов и гипса. Разделение на виды осуществляют *по мощности надсолонцового горизонта* – корковые (<5 см), мелкие (5–10), средние (10–18), глубокие (>18 см); *по содержанию обменного натрия в горизонте Vi* – малонатриевые (до 10% от ёмкости обмена), средненатриевые (10–15%), многонатриевые (>25%); *по структуре горизонта Vi*. Наряду с солонцами выделяют солонцеватые почвы, это зональные степные, полупустынные и пустынные почвы, в которых имеется уплотненный горизонт с характерной структурой солонцового горизонта и содержащий в ППК обменный натрий, но степень выраженности солонцового горизонта и профиля в целом не позволяет их отнести собственно к солонцам

На уровне рода выделяют солонцеватые, глубокосолонцеватые, остаточносолонцеватые почвы. В зависимости от *содержания в них обменного натрия* различают слабо-, средне- и сильносолонцеватые почвы. Градации почв по содержанию в них обменного натрия различны для почв высоко- и малогумусных. *Для почв первой группы*: несолонцеватые – до 5% обменного натрия от ёмкости обмена, слабосолонцеватые – 5–10%, среднесолонцеватые – 10–15%, сильносолонцеватые – 15–20%. *Для почв второй группы*: несолонцеватые – до 3% обменного натрия от ёмкости обмена, слабосолонцеватые – 3–5%, среднесолонцеватые – 5–10%, сильносолонцеватые – 10–15%. Содержание поглощенного натрия в солонцах лесостепной зоны, как правило, выше, чем в солонцах сухостепной зоны. Солонцы лесостепной зоны свойственна более щелочная реакция и содовый химизм засоления. Ёмкость поглощения выше в полугидроморфных солонцах, чем в автоморфных, и увеличивается в солонцовом горизонте. Для солонцов лесостепной зоны характерны повышенная механическая прочность и большие размеры столбиков (8–12 см), а также более темная окраска верхней части профиля и более высокое содержание кремнезема, чем в солонцах сухостепной зоны. Анализ распределения содержания ряда оксидов (по результатам валового анализа) в почвах солон-

цового ряда черноземной и каштановой зон показал относительное накопление кремнезема в надсолонцовых горизонтах, значительное увеличение содержания алюминия, железа и магния в солонцовом (В₁) и подсолонцовом (В_г) горизонтах, резкое повышение количества кальция и в ряде почв магния в нижних частях профиля (карбонатные или гипсовые горизонты), тогда как для зональных несолонцовых почв характерно более равномерное распределение этих элементов по профилю. Надсолонцовые горизонты солонцов значительно обеднены иллювиальной фракцией по сравнению с иллювиальным и подсолонцовым горизонтами. *Имеет место дифференциация профиля и по содержанию легкорастворимых солей.* Наименьшее количество их обнаруживается в горизонте А_г и наибольшее – в горизонтах В₂ и В₃. *Содержание гумуса* в верхней части гумусового горизонта автоморфных С. колеблется от 1,5 до 7%, в полугидроморфных – от 1 до 12% и гидроморфных – от 1,5 до 9%, резко уменьшаясь к солонцовому горизонту. *По фракционному составу* органическое вещество в солонцах отличается от зональных почв, в первых преобладает фульватный состав гумуса. Солонцы и солонцеватые почвы широко распространены в лесостепной, степной и сухостепной зонах и встречаются на всех континентах земного шара, где занимают в общей сложности 558 млн га. Наибольшее количество солонцов и солонцеватых почв находится в Австралии, Казахстане и России. Много их в Аргентине, Канаде, США. Встречаются они и в других странах Европы (Болгария, Венгрия, Румыния и др.), Южной Америке (Чили, Боливия, Бразилия), Африки (Чад, Сомали, Намибия и др.), Азии (Иран, Бангладеш, Индия, Китай). Следует отметить, что, несмотря на наличие солонцовых почв в почвенном покрове некоторых стран, само понятие солонцов трактуется в этих странах иначе, чем в российской школе почвоведов. Поэтому описанные в зарубежной литературе почвы не всегда оказываются солонцами по классификации и диагностике почв, принятой в отечественной практике. Солонцы, как правило, не занимают больших площадей, а залегают в виде пятен среди других почв, образуя различные комплексы и сочетания с участием зональных, лугово-зональных, луговых и болотных почв, солодей и солончаков.

В состав комплекса одновременно могут входить от 2–3 до 25–30 таксономически различных почв. В России С. и солонцеватые почвы занимают около 30 млн га и располагаются в пределах лесостепной, степной, сухостепной и полупустынной природно-сельскохозяйственных зон (в ЦЧО, Северном Кавказе, Поволжье, Южном Урале, Западной Сибири и Алтае). Выделяются также изолированные солонцовые территории в Забайкалье, центральных районах Якутии и Минусинской котловине. *Лесостепная зона* характеризуется распространением мелких пятен и массивов солонцеватых лугово-черноземных почв, местами в комплексе с гидроморфными, полугидроморфными средне- и многонатриевыми солонцами содового засоления. *Степная зона* отличается более значительными массивами солонцеватых черноземов, полугидроморфных и автоморфных черноземных солонцов, образующих местами комплексы. Солонцы и солонцеватые почвы имеют смешанный и нейтральный тип засоления. *Сухостепная зона* характеризуется широким распространением солонцеватых каштановых почв, полугидроморфных и гидроморфных солонцовых комплексов с большим удельным весом солонцов в почвенном покрове. Солонцы преимущественно малонатриевые с нейтральным типом засоления.

В полупустынной зоне преобладают светлокаштановые солонцеватые и бурые полупустынные солонцеватые почвы. Наибольшее количество солонцов и солонцеватых почв России сосредоточено в Поволжском и Западно-Сибирском регионах. Большая часть этих территорий используется под пастбищные и сенокосные угодья, небольшая – в пашне. Солонцы и солонцеватые почвы относятся к легкокоранимым природным объектам. Использование этих почв в пашне при зональной технологии обработки приводит во многих случаях к потере ими плодородия за счет выноса на поверхность солонцового горизонта легкорастворимых солей и приобретения неблагоприятных физико-химических и водно-физических свойств и к выпадкам пятнами сельскохозяйственных культур. При выводе распаханых солонцовых территорий из сельхозоборота естественная растительность возобновляется на них неохотно. Очень вредно отражается на почвах солонцовых комплексов перевыпас скота.

Восстановление солонцовых пастбищ – процесс очень длительный и трудоемкий, а при сильной деградации пастбищ восстановить естественный растительный покров уже не представляется возможным. Экологически безопасное и эффективное использование С. в сельском хозяйстве возможно только после их мелиорации.

Выделяют также **солончаки** – группу типов засоленных почв, содержащих в верхнем слое соли в количестве более 1%. *Делятся на два типа:* автоморфные и гидроморфные. Солончаки автоморфные приурочены к выходам на поверхность древних засоленных пород, преимущественно засоленных глин (литогенные) на эродированных склонах возвышенностей или представляют собой солончаки, сохранившиеся от предшествовавшего гидроморфного почвообразования на древних речных террасах (древнегидроморфные). Грунтовые воды залегают глубже 10 м и не имеют связи с поверхностью почвы. Водный режим непромывной, периодически выпотной от капиллярно-подвешенной влаги атмосферных осадков. Формируются главным образом в пустынной, реже – в полупустынной зоне. В поверхностном горизонте содержат не менее 1% легкорастворимых солей (при хлоридно-сульфатном засолении) и 0,5% – при содовом засолении; в самой верхней части этого горизонта содержание солей может достигать нескольких процентов. Соли, пропитывая почвенную массу, образуют на поверхности выцветы, корочки и рыхлые горизонты из скоагулированных частиц почвы и кристаллов солей, сверху прикрытые вспученной, морщинистой, землистой, пропитанной солями коркой (0,5–1 см). В древнегидроморфных солончаках может присутствовать остаточный гумусовый горизонт. Солончаки гидроморфные внешне хорошо выделяются среди других почв по характеру поверхности, которая обычно покрыта выцветами солей и бывает пухлой, корково-пухлой или мокрой даже в сухое время года. Растительность на таких солончаках либо отсутствует, либо представлена специфическими видами (солянка, сведа, петросимония, солерос, аджерек, кермек, мелкий стелющийся тростник и др.), не образующими сомкнутого покрова. Гидроморфные солончаки развиваются в условиях близкого (0,5–3 м) залегания

большей частью минерализованных почвенно-грунтовых вод с преобладанием восходящих токов, за счет испарения которых в почвенном профиле аккумулируются соли, карбонаты и гипс. Водный режим почв выпотной, преимущественно периодически промывной. Профили их характеризуются выделениями солей начиная от поверхностных горизонтов, а также признаками оглеения во всех горизонтах. К солончакам относятся почвы с содержанием солей в верхнем горизонте не менее 2% при хлоридно-сульфатном засолении и 0,1% – при содовом. Максимальное содержание солей в солончаках приурочено к верхним горизонтам почвенного профиля и может достигать 6–8%, а в самом поверхностном горизонте – 20–30%. В почвенном профиле солончаков соли выделяются в виде мелкокристаллических скоплений – прожилок и гнездышек. На свежем разрезе можно заметить поблескивание их в отличие от скоплений карбонатов (также обильных в солончаках), которые выглядят матовыми. При большой влажности почвы выделения солей могут отсутствовать, особенно в нижних горизонтах, но они быстро появляются в виде белых выцветов при обсыхании стенки разреза.

Выделяют **вторичное засоление** как процесс накопления солей в почвах, происходящий под влиянием неправильного использования орошаемых почв или прилегающих к орошаемым, а также в результате изменения водно-солевого баланса, ранее регулируемого естественным путем, например, на пойменных землях после зарегулирования речного стока.

По данным Н.И. Базилевич с соавт. (1960), масса живого вещества на Земле в настоящее время распределяется следующим образом (в тоннах сухого вещества) (табл. 2.4).

Таблица 2.4

**Масса живого вещества на Земле
(по Базилевич, Родину, Розову, 1969)**

Живое вещество	Континент	Океан
Зеленые растения	$2,4 \times 10^{12}$	$0,0002 \times 10^{12}$
Животные и микроорганизмы	$0,02 \times 10^{12}$	$0,003 \times 10^{12}$
Итого	$2,42 \times 10^{12}$	$0,0032 \times 10^{12}$

Из этих данных видно, насколько плотно оказалась заселенной живыми организмами суша, на которой главной средой обитания живых существ является почвенный покров.

Почвенный покров Земли несравненно богаче океана как среды обитания не только по общей величине биомассы живущих в ней организмов, но и по их видовому разнообразию. По подсчетам М.М. Камшилова (1974), число видов сухопутных животных составляет 93% от общего числа видов, водных – только 7%. То же самое и для растений – 92 % сухопутных и только 8% – для водных.

Не случайно В.И. Вернадский называл почву с населяющей ее фауной и растительностью единой *живой пленкой суши*. Б.Б. Польшин писал о почвенном покрове Земли как *"оболочке наибольшей плотности жизни"*, а М.С. Гиляров и его последователь Д.А. Криволуцкий рассматривают почву в качестве *"неисчерпаемого источника живых культур, основного хранилища генетического разнообразия жизни на нашей планете, щита биосферы"*.

Существуют разнообразные классификации почв в зависимости от научных и практических целей и задач. В.В. Докучаев за основную классификационную единицу принимал генетические типы почв, образованные определенным сочетанием факторов почвообразования, обладающие характерными свойствами и закономерностями распространения (Добровольский, 1989). На территории России выделено порядка 100 типов различных почв.

Экологически чистая почва – почва, не содержащая вредных веществ в дозах, опасных для почвенной биоты, растений и человека и обеспечивающая получение экологически чистых продуктов питания. Такие почвы развиваются в условиях, исключающих поступление вредных веществ через атмосферу или почвенно-грунтовую воду при использовании малых или умеренных доз минеральных удобрений без применения стойких ядохимикатов для борьбы с вредителями и сорняками. Экологически чистая почва (за исключением почв геохимических аномалий) близка по составу, свойствам и режимам к естественному состоянию, обладает способностью к самоочищению и

восстановлению своих функций, характеризуется отсутствием загрязняющих веществ и вредных организмов в количествах, снижающих урожайность, питательную и санитарно-гигиеническую ценность выращиваемых культур, ухудшающих качество почвы и других природных объектов. С нарастанием хозяйственной деятельности усиливается многостороннее воздействие на почву, являющуюся средством производства и объектом приложения труда. В связи с этим возрастает роль почвы как важнейшего биологического адсорбента и нейтрализатора загрязнений.

Способность почв к самоочищению в результате естественных процессов служит показателем устойчивости почв к воздействию загрязняющих веществ. Обитающие в почве микроорганизмы играют огромную роль в поддержании самоочищающей способности почвы и биосферы в целом, минерализации органических веществ, обеспечении круговорота веществ и энергии в природе. Сохранение и рациональное использование почв – важное условие поддержания экологического равновесия в биосфере. Дать экологическую характеристику почвы значит выявить, насколько она удовлетворяет запросы населяющих ее организмов. При этом в основе такой характеристики должны лежать факторы, имеющие преимущественное значение для высших зеленых растений. В первую очередь это условия, ограничивающие продуктивность растений или пригодность почв для определенных культур, снижающие качество продукции растениеводства. Важным показателем экологически чистой почвы является получение на этой почве экологически чистой растительной продукции. Для оценки изменений естественного состояния почв и (или) степени ее загрязнения в результате антропогенного воздействия исследуемые почвы сопоставляют с состоянием фоновых почв (почв фоновых территорий) или с эталонами почв.

При оценке локального (вблизи источников загрязнения) и регионального загрязнения в качестве фона служат почвы, удовлетворяющие *следующим условиям*: принадлежат к тому типу биогеоценоза, что и исследуемые почвы; на них не ведется хозяйственная деятельность; удалены от источника загрязнения на

50–100 км. Для оценки глобального загрязнения служат почвы биосферных заповедников и станций комплексного фоновое мониторинга, которые размещены в пределах различных биогеоценозов и в наименьшей степени подвержены антропогенному воздействию. Контроль за изменениями в биосфере, связанными с деятельностью человека, включает регулярный пробоотбор в атмосфере, поверхностных и подземных водах, в почвах и других объектах. Особенно важная роль принадлежит почвенному мониторингу, поскольку почва относится к легкоразрушаемому, практически невозполнимому и абсолютно незаменимому виду природных ресурсов. Почвенный мониторинг включает обязательный контроль за содержанием Pb, Hg, Csi, As, ДДТ, 3,4-бензо(а)пирена, биогенных элементов. В зависимости от целей набор контролируемых показателей может быть расширен. Одной из основных задач почвенного мониторинга является установление предельно-допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ в почве.

Нарушения почвенного покрова – процесс природного и антропогенного происхождения, вызывающий снос почвенной массы или деформацию почвенных горизонтов в результате набухания при увлажнении, усадок при высыхании, сползания (оползни), образования суффозионных и карстовых воронок, просадок при подстилании просадочными породами (лессами), криогенных процессов (при замораживании и оттаивании), протаивания льда в подстилающих слоях, срезок почв на микроповышениях при планировках с обнажением нижних горизонтов почвы или подстилающих пород, насыпки на поверхность почв в микропонижениях, смыва почвы при эрозии и занесении почв материалами иловых потоков, дефляции и образования дефляционных воронок и др. **Рекультивация почв** – восстановление почвенного покрова на землях, нарушенных при разработке полезных ископаемых открытым способом, при строительных работах на землях временного отвода, на местах временного складирования промышленных отходов и других поверхностях, лишенных естественного покрова почв.

Популяционная парадигма занимает важное место в современной экологии. Этот термин с конца XVIII в. в биологии

использовался в значении «любая группа особей». Применяются для обозначения различных по размерам группировок (популяций) особей внутри вида несколько общепринятых терминов: «географическая», «ландшафтная», «экологическая», «биотопическая», «ценотическая», «микрораспространенность». Все эти особенности нужны для определения отличий между очень крупными и мелкими частями видового населения.

В генетике впервые на строгой научной основе стали использовать понятие «популяция». Для генетических расчетов, а затем и для математического моделирования необходима была формализация определения популяции как единой системы. Под *менделевской*, или *генетической*, популяцией стали иметь в виду неограниченно большую группу особей, все члены которой имеют равную возможность скрещивания с особями противоположного пола. Таких группировок особей в окружающей среде, очевидно, не существует и всегда есть отклонения от панмиксии.

Ближайшее к нам по времени направление развития представлений о популяции можно считать эволюционным. Основой стало учение о *микроэволюции (видообразовании)*. В микроэволюционной парадигме популяция занимает центральное место и обосновывается как элементарная эволюционная единица.

Популяция – (от лат. *populus* – народ, население)– форма существования вида, группировка особей, которая способна самостоятельно развиваться неопределенно долгое время.

Под популяцией, в этом смысле, понимается самовоспроизводящаяся группа особей одного вида, на протяжении эволюционно длительного времени населяющая определенное пространство, образующая самостоятельную генетическую систему и имеющая собственную экологическую нишу. Поэтому популяция – достаточно многочисленная группа особей, на протяжении большого числа поколений в высокой степени изолированная от других аналогичных групп особей.

Динамика популяций – процесс изменения численности и состава (полового, возрастного и др.) популяции во времени и

пространстве под воздействием ряда факторов, к числу которых относятся и техногенные геохимические.

Экологическая ниша – место вида в природе, включающее положение популяции (вида) в пространстве (биотоп) и трофическое значение в сообществе и экосистеме.

Разнообразие местообитаний популяции образует *пространственную нишу*. Энергетические отношения, биогеохимический круговорот веществ, место в цепи питания определяются как *трофическая ниша*.

Экологическую нишу рассматривают также как многомерное пространство (гиперобъем), в пределах которого условия среды позволяют существовать популяции неопределенно долго. Обычно выделяют так называемую *фундаментальную нишу* — наибольший потенциально возможный к заселению гиперобъем, когда вид не ограничен лимитирующими биотическими факторами, и *реализованную нишу* — меньший гиперобъем, занятый в условиях реального размещения в среде.

Аэробные организмы – (от греч. аег – воздух и bios – жизнь), организмы, способные жить лишь в среде, содержащей кислород.

Анаэробные организмы – (от греч. an – отрицат. частица, аег – воздух, bios – жизнь), организмы, способные жить и развиваться в бескислородной среде (микроорганизмы, моллюски и др.). Термин ввел Л. Пастер (1861 г.).

Олиготрофы – организмы (растения, микроорганизмы), развивающиеся в среде с низкой концентрацией питательных веществ. К олиготрофным растениям, обитающим на почвах, бедных элементами минерального питания, относят сфагновые мхи, некоторые травянистые растения и кустарнички, обитающие обычно на верховых болотах, тощих оподзоленных почвах, в сухих степях и полупустынях. Олиготрофные микроорганизмы обычно используют для питания простых органических соединений – органических кислот, спирта. Многие из них имеют приспособления для увеличения поверхности клетки: винтовую скульптуру поверхности (*Seliberia*), винтовое строение клетки (*Spirillum*), простеки (у простекобактерий).

Совокупность популяций животных, растений, грибов и микроорганизмов, совместно населяющих участок суши или водоема, **образует биоценоз** – (от греч. *bios* – жизнь и *koinos* – общий).

Биоценоз – составная часть биогеоценоза. Примером может служить совокупность всех живых организмов участка леса, ручья или пруда. Термин биоценоз предложил К. Мебиус (1877), изучавший комплексы донных животных, образующих устричные банки. Мебиус подчеркнул взаимосвязь всех компонентов биоценоза, их зависимость от одних и тех же абиотических факторов, свойственных данному местообитанию, и роль естественного отбора в формировании состава биоценоза. Термин "биоценоз" получил распространение в научной литературе главным образом на немецком и русском языках. В англоязычных странах используется близкий термин "**сообщество**" (*community*). Совокупность растений, входящих в биоценоз, называется **фитоценозом**, совокупность животных – **зооценозом**. Иногда в биоценозе выделяют и более мелкие группировки организмов. В значении биоценоза употребляют и термин "*ценоз*". Биоценоз характеризуется определенной биомассой, продукцией, а также упорядоченностью строения – *структурой*. Различают *пространственную структуру* биоценоза, проявляющуюся в закономерном размещении разных видов относительно друг друга в пространстве (например, ярусность леса); *видовую структуру* биоценоза, определяемую видовым составом его населения и соотношением численностей (или биомасс) всех входящих в него популяций, и *трофическую (пищевую) структуру*, основу которой образуют переплетающиеся трофические цепи. Различные аспекты структуры биоценоза *связаны между собой*: так, лесные, имеющие наиболее сложную пространственную структуру, отличаются и наибольшим видовым богатством. Структура биоценоза устойчиво поддерживается во времени (гомеостаз) за счет взаимодействия всех его компонентов. Помимо играющих очень большую роль трофических связей в биоценозе существуют связи, основанные на том, что одни организмы становятся субстратом для других (например, деревья и лишайники на них); создают для других необходимый

микроклимат; обеспечивают нормальное размножение организмов (например, опыление цветковых растений насекомыми) или их расселение и т.п. При изучении видовой структуры биоценоза или какой-нибудь отдельной входящей в него группировки используются показатели видового разнообразия, оценивающие одновременно число видов и соотношение их численностей. Видовое разнообразие биоценоза обычно снижается при сильных внешних воздействиях (например, разнообразие водных биоценозов резко падает при загрязнении вод промышленными стоками). Большое значение для поддержания структуры биоценоза имеет внутривидовая и особенно межвидовая конкуренция, в результате которой все виды в биоценозе занимают разные экологические ниши. В ходе развития биоценоза обычно возрастает его биомасса и видовое разнообразие, усложняется трофическая и пространственная структура. Различают *первичные биоценозы*, сложившиеся без воздействия человека (целинная степь, девственный лес), и *вторичные биоценозы*, измененные деятельностью человека. Особую категорию представляют сообщества, созданные и регулируемые человеком (*агробиоценозы*). Изучение биоценоза важно для рационального освоения земель и водных пространств, так как только правильное понимание сложных и тонких регуляторных процессов, сложившихся в ходе длительной эволюции, позволяет человеку изымать часть продукции биоценоза без его необратимого нарушения или уничтожения. Биоценоз изучает биоценология.

Биоценоз может рассматриваться как элементарная биохорологическая единица и элементарная ячейка биогеохимической работы в экосистемах и биосфере Земли, включающие высокоскоррелированное сообщество организмов, замыкающее циклы биогенов с высокой степенью точности.

Биоразнообразие – разнообразие живых организмов во всех областях их существования: наземных, морских и других водных экосистем и сообществ организмов; это разнообразие видов, разнообразие внутри видов, разнообразие сообществ организмов и экосистем. Постоянно идет вымирание видов, сообществ - исчезновение группы живых организмов (растений, животных) в результате эволюционных процессов или антропоген-

ных факторов. Темпы вымирания увеличиваются в связи с исчезновением мест обитания (вырубка лесов, распашка степей, зарегулирование рек). Современные темпы вымирания примерно в 10 тыс. раз выше, чем в эпоху динозавров.

Участок водоема или суши с однотипными условиями рельефа, климата и других абиотических факторов, занятый определенным биоценозом, **называется биотоп** (от греч. bios – жизнь и topos – место).

Характерный для данного биотопа комплекс условий определяет видовой состав обитающих здесь организмов. Таким образом, в наиболее общем виде биотоп – это неорганический компонент биогеоценоза (экосистемы). Играет важную роль в охране биоты и окружающей среды; во многих районах хозяйственной деятельности человека находится в критическом или разрушенном состоянии.

В более узком смысле, по отношению к животному населению, в понятие биотопа включают и характерный для него тип растительности. В этом случае биотоп рассматривается как среда существования комплекса животных, входящих в биоценоз.

Иногда используется в качестве синонима термина местообитание вида – ограниченная территория или акватория, на которой обеспечивается весь цикл развития популяции или вида в целом.

В современной экологии парадигма **экосистемы** господствует, занимает центральное место. Именно экосистемная теория рассматривается как фундамент для решения экологических проблем различного уровня.

Экосистема. До настоящего времени отмечается большое разнообразие определений понятия экосистемы. Приведем наиболее распространенные из них.

1. Экосистема (Реймерс Н.Ф. Природопользование. М.: Мысль, 1990) – 1) любое сообщество живых существ и его среда обитания, объединенные в единое функциональное целое, возникающее на основе взаимозависимости и причинно-следственных связей, существующих между отдельными экологическими компонентами. Выделяют *микроэкосистемы* (напри-

мер, ствол гниющего дерева и т.п.), *мезоэкосистемы* (лес, пруд и т.п.) и *макроэкосистемы* (океан, континент и т.п.). Глобальная экосистема одна – биосфера;

2) биогеоценоз рассматривается как элементарная экосистема, состоит из биотопа и биоценоза, биогеоценоз – своеобразная "клеточка" (по аналогии с клеточным строением организма) биосферы;

3) информационно саморазвивающаяся, термодинамически открытая совокупность биотических экологических компонентов и абиотических источников вещества и энергии, единство и функциональная связь которых в пределах определенного участка биосферы, времени и пространства обеспечивает превышение внутренних закономерных перемещений вещества, энергии и информации над внешним обменом (в том числе между соседними аналогичными совокупностями) и на основе этого неопределенно долгую саморегуляцию и развитие целого под управляющим воздействием биотических и биогенных составляющих.

2. Экосистема (Дедю И.И. Экологический энциклопедический словарь. Кишинев: Молдавская советская энциклопедия, 1989) – термин, введенный в науку А.Тенсли (1935) для обозначения любого единства (самого разного объема и ранга), включающего все организмы (т.е. биоценоз) на данном участке (биотопе) и взаимодействующего с физической средой таким образом, что поток энергии создает четко определенную трофическую структуру, видовое разнообразие и круговорот веществ (т.е. обмен между биотической и абиотической средой) внутри системы. Не любая комбинация "жизнь–среда" является экосистемой. По Ю.Одуму (1975), экосистемами могут быть названы только те объединения жизни и окружающей среды, которые характеризуются определенной стабильностью и обладают четко функционирующим внутренним круговоротом веществ. С количественной точки зрения экосистемой может считаться только то объединение сообщество – среда, объем внутреннего обмена веществ которого больше внешнего. В понимании некоторых зарубежных и отечественных авторов экосистема охватывает пространство любой протяженности и размерно-

сти – от капли прудовой воды, аквариума до океана и всей поверхности планеты. Экосистема – это элементарная функциональная единица биосферы.

Обычно структура экосистемы *рассматривается в двух планах*:

1) компонентный (популяционный или видовой) состав и количественное соотношение различных видовых популяций жизненных форм и других структурных элементов;

2) пространственное распределение отдельных элементов; совокупность всех связей, в первую очередь цепей и циклов питания, топических (связи между популяциями), форических (межпопуляционные связи по транспортировке одних организмов другими) и других взаимоотношений. Некоторые исследователи (Одум, 1975) ставят знак равенства между экосистемой и биогеоценозом. Другие (например, Сукачев, 1940) считают, что между ними есть сходство, но они не идентичны. Связующими факторами в биогеоценозе являются природа субстрата, тип рельефа и почвы, т.е. понятие биогеоценоз, по Сукачеву, носит явно хронологические географические черты. Экосистема рассматривается в основном не с пространственных, а с трофических позиций. Таким образом, экосистема и биогеоценоз не являются абсолютными синонимами. Соотношение биогеоценоза и экосистемы может быть представлено так: биогеоценоз – это экосистема в границах фитоценоза, или точнее: категории экосистемы и биогеоценоза совпадают на уровне растительного сообщества и принципиально расходятся как выше, так и ниже этого уровня. В целом же биогеоценоз выступает по отношению к экосистеме как частное к общему. Существуют и другие синонимы экосистемы: микрокосм (Forbs, 1887), голоцен (Friederichs, 1931), биохора (Palman, 1931), биосистема (Thienemann, 1941), экотон (Troll, 1950), сайт (Hits, 1968) и т.д., однако не все столь распространены, многие забыты.

3. Экосистема (Охрана ландшафтов. Толковый словарь. М.: Прогресс, 1982) – экологическая система, т.е. система, в которой в качестве элементов выступают, с одной стороны, организмы, их группы или совокупности (особи, виды, популяции, ценозы), с другой – среда, совокупность факторов их обитания.

Заметно сходство между природным ландшафтом, биогеоценозом, природной геосистемой. Однако *существуют два принципиальных отличия между этими понятиями*:

1) в экосистеме анализ связей имеет биоцентрический аспект: выясняется влияние всех факторов на живые компоненты, на хозяина экосистемы; особое внимание уделяется трофическим связям, пищевым цепям; при рассмотрении природных ландшафтов и природных геосистем такого акцента не делается: элементы и связи между ними рассматриваются как равнозначные, одинаковое внимание уделяется прямым и обратным связям;

2) понятие экосистемы не ограничено пространственными рамками: оно в равной степени распространяется на каплю воды с содержащимися в ней микроорганизмами и на биосферу в целом: географические же понятия всегда подразумевают наличие пространственных границ.

4. Экосистема (Хрусталеv Ю.П., Матишов Г.Г. Эколого-географический словарь. Апатиты: Кольский научный центр, 1996) – единый природный или антропогенно-природный комплекс, состоящий из совокупности живых организмов и окружающей их среды обитания, взаимосвязанных обменом вещества и энергией и объединенных в единое функциональное целое. Выделяют микроэкосистемы и макроэкосистемы.

5. Экосистема (Реймерс Н.Ф. Экология. Теории, законы, правила, принципы и гипотезы. М.: Россия молодая, 1994. С.116) – по Ф.Эвансу, это абсолютно "безразмерная" надорганизменная живая система, взаимодействующая с окружением.

Все приведенные, в отдельных случаях повторяющиеся, но чаще расходящиеся как в целом, так и в деталях определения термина экосистемы, очевидно, формулируются вне какой-либо единой теории или единого подхода. Вместе с тем специалисты понимают, что существуют некие первичные ячейки биоты и окружающей среды, из которых формируется все разнообразие локальных, региональных и глобальных живых систем и окружающей их среды, т.е. биосфера в целом. В связи с разработкой теории биотической регуляции окружающей среды стало возможным не только подтвердить этот вывод, но и сформулировать

вать понятие экосистемы, дать ему более четкое определение, исходя из главной, определяющей функции. Еще В.Н. Сукачев и Н.В. Тимофеев-Ресовский подчеркивали, что "биогеоценозы служат элементарными структурными подразделениями биосферы и в то же время элементарными единицами биологического круговорота, т.е. протекающей в биосфере биохимической работы" (Тимофеев-Ресовский, 1968). В.Г. Горшков (1982) показал, что высокоскоррелированные сообщества организмов, которые можно назвать гиперособиями, обеспечивают биотическую регуляцию окружающей среды, замыкая при отсутствии внешнего возмущения кругооборот биогенов с высокой степенью точности и размыкая его в случае возмущения окружающей среды для возвращения ее к прежнему состоянию. Очевидно, что высокая скоррелированность организмов сообщества, в котором каждый организм выполняет строго определенную работу по стабилизации окружающей среды, обеспечивается потоками вещества и энергии, которые затухают с ростом расстояния между организмами. Следовательно, размер такого сообщества (гиперособии) не может быть большим. По косвенным оценкам, размеры (максимальные радиусы скоррелированности) сообществ, по-видимому, изменяются от 100 мкм до 10 м (проекция кроны дерева). Косвенной характеристикой размера сообщества является также расстояние, на котором происходит насыщение числа видов, потребляющих основную часть потоков энергии сообщества. В.Г. Горшков назвал такое сообщество *локальной экосистемой*. *Локальные экосистемы*. (высокоскоррелированные сообщества, гиперособии) образуют популяции, в которых осуществляется конкурентное взаимодействие. В результате из популяции вытесняются те локальные экосистемы, которые начинают плохо регулировать и стабилизировать окружающую среду. Такая популяция локальных экосистем занимает большой регион и обычно называется экосистемой, а вся их совокупность образует *глобальную экосистему*, т.е. биосферу. Таким образом, понятие локальная экосистема очень близко понятию биогеоценоза в понимании В.Н. Сукачева и Н.В. Тимофеева-Ресовского. Последний, отмечая длительное состояние динамического равновесия в биогеоценозах, указывал на необходимость "изучения

причин, механизмов и условий поддержания такого динамического равновесия в биогеоценозах". В различных условиях окружающей среды (шельф, пелагиаль в океане, горы и плоскогорья на суше, разные широтные пояса) существуют разнообразные наборы сообществ, образующих экосистему: леса, степи, пустыни, рифы и т.п., в совокупности образующие биосферу, которая оказывается, таким образом, централизованно не управляемой системой, так как состоит из множества конкурирующих между собой локальных экосистем, не превосходящих по размерам десятков метров. Подобный подход к пониманию экосистемы позволяет подойти и к определению элементарной ячейки ландшафта.

Живое вещество или масса живых организмов (биомасса) (от греч. *bios* – жизнь и лат. *massa* – ком, кусок) – суммарная масса всех организмов на Земле, в отдельных экосистемах, группе видов, отдельных видов и т.д. Может относиться к сырому (живому) состоянию организмов или сухому состоянию их тел. Иногда выражается через массу органического углерода, что близко к сухому состоянию. В среднем в организмах углерод по массе составляет 10%. Биомассу можно выражать также в единицах мощности. *Продукцией биомассы* (син. *биологическая продукция*) называют биомассу, производимую за единицу времени, обычно за год. *Продуктивностью биомассы* (син. *биологическая продуктивность*) называют продукцию биомассу, производимую на единицу площади (обычно на км², га или м²) или единицу объема в год. Отношение биомассы к продукции называется *временем оборота биомассы*. Органическое вещество на Земле создается в процессе фотосинтеза (реакции синтеза органического вещества с помощью солнечной энергии). Его производство в единицу времени называют *валовой (полной) первичной продукцией*, а в единицу времени на единицу площади – *валовой первичной продуктивностью*. *Чистая первичная продукция* – это валовая первичная продукция за вычетом того органического вещества, которое затрачивается на дыхание и рост. Тем же отличается и термин *чистая первичная продуктивность*. Органическое вещество создают **автотрофы** – фотосинтезирующие растения на суше и в океане, называемые также

продуцентами. Есть **продуценты**, создающие органическое вещество за счет энергии окисления неорганических веществ, – **хемотрофы**. Все остальные организмы потребляют органическое вещество и называются **консументами**. Производство ими органического вещества в единицу времени из ранее созданного называют **вторичной продукцией**. Млекопитающие за свою жизнь в среднем съедают 100 своих масс пищи и производят животную продукцию, равную 10 своим массам (прирост массы, обмен клеток, молоко, шерсть, масса рожденных детенышей). Человек за свою жизнь съедает 400 своих масс пищи и производит 10 масс вторичной продукции. Оценки биомассы, продукции и чистой первичной продукции еще недостаточно точны как для всей Земли, так и для отдельных экосистем и у разных авторов различаются в 1,5–2 раза. В табл. 2.5 приведены данные по некоторым экосистемам, материкам, океану и Земле в целом в единицах массы органического углерода, что близко к массе сухого органического вещества.

Таблица 2.5

Биомасса, продукция и продуктивность экосистем Земли

Экосистема	Площадь, 10 ⁶ км ²	Биомасса ГтС*	Биомасса МтС**	Первичная продукция, ГтС/год	Первичная продуктивность, тС/га*год	Время оборота, год
Леса, болота	51	750	600	40	8	19
Травостой, кустарник	33	50	300	13	4	4
Пашня	14	5	6	5	3	1
Озера, реки	2	0,1	10	0,5	2	0,2
Пустыня, тундра	50	2	8	1	0,2	2
Суша	150	800	924	60	4	1,3
Открытый океан	330	0,5	800	32	1	0,01
Континентальный шельф	30	1,5	160	8	3	0,2
Мировой океан	360	2	960	40	1	0,05
Вся Земля	510	802	1884	100	2	8

Примечание: *ГтС - гигатонны углерода (10⁹),

**МтС - мегатонны углерода (10⁶).

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 в целом или в ее отдельных частях), выраженная в единицах массы, является одной из составных частей общей массы живого вещества.

В мире идет процесс постепенного замещения биомассы естественных организмов биомассой культурных растений и домашних животных, что ведет к нарушению биогеохимических циклов и связанным с этим изменениям концентрации биогенов в различных средах. В настоящее время биомасса культурных растений и домашних животных составляет 20% от всей массы биомассы суши.

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 В.И. Вернадского, для заселения всей поверхности Земли только одним определенным организмом потребуется от 32 ч 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. Однако занятию большего пространства отдельными определенными организмами препятствуют 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. Вместе с тем уверенно можно предположить, 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.

Автотрофные организмы (син. автотрофы) – организмы, синтезирующие из неорганических органические вещества с использованием энергии Солнца (**фотоавтотрофы**) или энергии химических реакций (**хемоавтотрофы**).

Фотосинтез – окислительно-восстановительный процесс образования живого вещества из неорганических соединений окружающей среды за счет световой энергии; процесс, идущий в зеленых растениях под действием световой энергии (солнечной радиации) с образованием из диоксида углерода (углекислого газа) и минеральных солей азота, фосфора и других элементов, а также воды, органических веществ с выделением кислорода как побочного продукта. В ходе Ф. ежегодно усваивается растениями порядка 100 Гт углерода. Благодаря процессу Ф. на Земле возникла кислородная атмосфера. Мощность процесса Ф. составляет порядка 100 ТВт ($1 \text{ ТВт} = 10^{12} \text{ Вт}$).

Гетеротрофные организмы (син. гетеротрофы) (от греч. heteros – иной и trope – пища, питание) – организмы, использующие в качестве источника питания органические вещества, создаваемые другими организмами. К гетеротрофным организмам относятся все животные, грибы, большинство бактерий, а также немногие растения – сапротиты (паразитические цветковые растения, некоторые водоросли). *По способу поглощения пищи* гетеротрофные организмы делят на фаготрофных (животные), заглатывающих твердые частицы, и сапротрофных (грибы,

бактерии), питающихся растворенными веществами. Гетеротрофные организмы образуют *вторичную продукцию*. В *экосистемах* играют роль консументов и редуцентов. В результате совместной деятельности разных гетеротрофов разрушаются органические вещества, синтезированные *автотрофами*, и *биогенные* элементы возвращаются в *круговорот*.

В другой системе организмы подразделяются на продуцентов, консументов и редуцентов. Трофическую цепь замыкают **редуцент(ы)** – организмы, главным образом бактерии и грибы, потребляющие остатки органического вещества и превращающие их в неорганические. Редуценты обеспечивают замкнутость биохимического круговорота вещества на Земле.

Продуцент(ы) (от лат. – productio продукция) – организмы, способные синтезировать органические вещества из неорганических, все автотрофы.

Консумент(ы) (от лат. consumo – потребляю) – организм(ы), питающиеся органическими веществами, созданными другими организмами. Место консумента в трофической цепи называется *порядком консумента*. *Консументы первого порядка* (син. *первичный консумент*) – растительные животные, *Консументы второго порядка* (син. *вторичный консумент*) – хищники. Могут быть в сообществе также консументы третьего и четвертого порядка, объектами питания которых являются консументы предыдущего порядка. Консумент то же, что **гетеротроф** – организм, использующий для питания только или преимущественно органические вещества в системе классификации автотрофы-гетеротрофы.

Редуценты — организмы, разрушающие отмершие останки живых существ, превращающие их в неорганические и простейшие органические соединения. Редуценты возвращают минеральные соли в почву и воду, делая их доступными для продуцентов, замыкают биологический круговорот веществ (биогенных элементов). Экосистемы не могут обходиться без редуцентов.

Последовательный перенос энергии и вещества пищи от автотрофов к гетеротрофам, происходящий путем поедания одних организмов другими, называется *трофической* (пище-

вой) *цепью*. При каждом очередном переносе большая часть (80—90%) потенциальной энергии теряется, переходя в тепло.

Пищевые цепи делят на два основных типа: *пастбищная цепь*, которая начинается с зеленого растения и идет далее к пасущимся растительноядным животным (т.е. к организмам, поедающим живые растительные клетки или ткани) и к хищникам (организмам, поедающим животных), и *детритная цепь*, которая от мертвого органического вещества идет к микроорганизмам, а затем к детритофагам и к их хищникам. Пищевые цепи часто тесно связаны друг с другом, образуя так называемые *пищевые сети*.

В трофической цепи при переносе потенциальной энергии от звена к звену большая ее часть (80—90%) теряется, переходя в тепло. Если представить это соотношение количественно, то получится пищевая пирамида. Поэтому число звеньев в трофической цепи обычно не превышает 4—5 и, очевидно, чем длиннее трофические цепи, тем меньше продукция ее последнего звена по отношению к продукции начального. Трофические цепи подразделяются на два основных типа: пастбищная и детритная. В *пастбищной (цепь выедания)* основу составляют автотрофные организмы, затем идут потребляющие их растительноядные животные (например, зоопланктон, питающийся фитопланктоном), потом хищники (консументы) 1-го порядка (например, рыбы, потребляющие зоопланктон), хищники 2-го порядка (например, судак, питающийся рыбами) (рис. 2.1, 2.2).

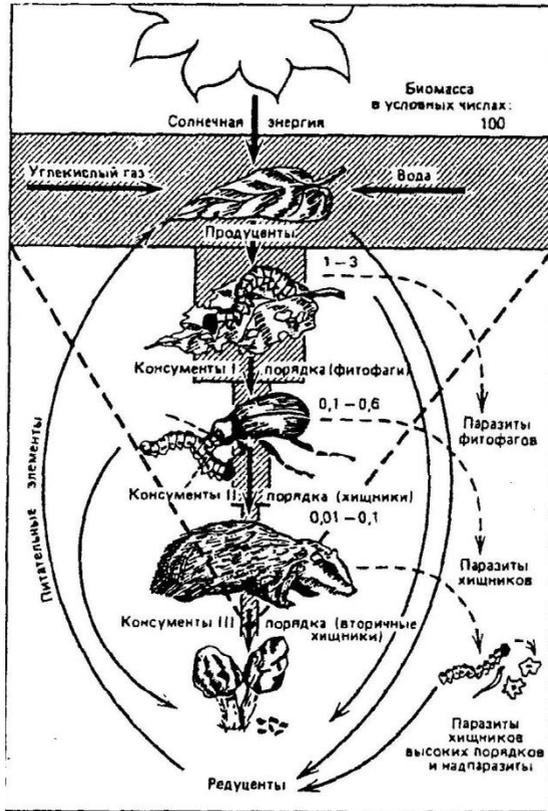


Рис. 2.1. Трофические уровни в экосистеме и пирамида биомасс. Пирамида биомасс на рисунке перевернута по отношению к классическому ее изображению – повернута к потоку энергии Солнца звеном продуцентов, что более естественно (по Реймерсу, 1990)

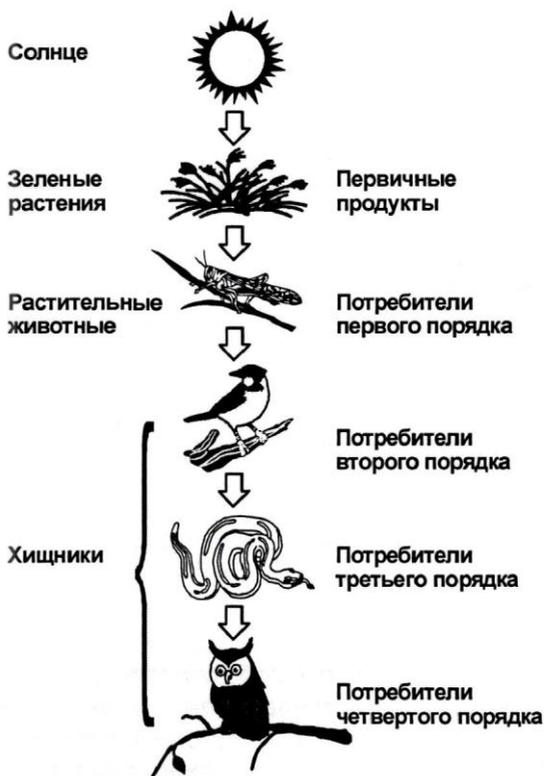


Рис. 2.2. Упрощенная наземная трофическая (пищевая) цепь, показывающая последовательность трофических уровней: продуцентов и консументов разного порядка (по Риклефсу, 1979)

Особенно длинны трофические цепи в океане, где многие виды (например, тунцы) занимают место консументов 4-го порядка. В *детритных трофических цепях (цепи разложения)*, наиболее распространенных в лесах, большая часть продукции растений не потребляется непосредственно растительноядными животными, а отмирает, подвергаясь затем разложению сапрофитными организмами и минерализации. Детритные трофические цепи начинаются от детрита, идут к микроорганизмам, которые им питаются, а затем к детритофагам и к их потребителям – хищникам. В водных экосистемах (особенно в эвтрофных во-

доемах и на больших глубинах океана) значительная часть продукции растений и животных также поступает в детритные трофические цепи. Во всех экосистемах пастбищная и детритная цепь взаимосвязаны таким образом, что различные представители сообщества объединены многочисленными пересекающимися пищевыми связями, а все вместе они образуют трофическую сеть биоценоза.

Экологическая эффективность (сообщества) (син. эффективность трофической цепи) – относительное количество энергии, передающейся от одного трофического уровня к другому. Экологическая эффективность сообщества обычно выражается в процентах. Некоторые основные типы экологической эффективности приведены в табл. 2.6, где даны определения, основанные на представлениях об энергетических потоках.

Обычно сравниваются безразмерные величины эффективности, т.е. такие, в которых и числитель, и знаменатель дроби выражены в одних и тех же единицах. Чаще всего экологическую эффективность выражают в кал/кал. На первом трофическом уровне поглощается около 50% падающего света, а превращается в энергию пищи всего 1–5% поглощенной энергии. Вторичная продуктивность на каждом последующем трофическом уровне консументов составляет около 10% от предыдущей, хотя на уровне хищников эффективность может достигать 20%.

Новые исследования океанических пищевых цепей показали, что в тех случаях, когда в системе существуют так называемые "концентраторы", например пелагические оболочники (сальпы), отфильтровывающие из воды мелкие организмы и взвешенные частицы и производящие фекальные комочки, которые затем многократно проходят через кишечники более крупных организмов, могут достигаться трофические эффективности выше 20%. У теплокровных животных, постоянно поддерживающих высокую температуру тела, доля ассимилированной энергии, которая должна идти на дыхание, как минимум в 10 раз больше, чем у холоднокровных. Поэтому у первых эффективная продукция P/A должна быть ниже.

Различные типы экологической эффективности (по Одуму, 1986)

Отношение	Название и объяснение
I. Отношения между трофическими уровнями:	
$\frac{I_t}{I_{t-1}}$	Эффективность поглощения энергии трофическим уровнем. Для первичного уровня это $\frac{P_G}{L}$ или $\frac{P_G}{L_A}$
$\frac{A_t}{A_{t-1}}$	Эффективность ассимиляции трофического уровня
$\frac{P_t}{P_{t-1}}$	Эффективность продукции трофического уровня
$\frac{I_t}{P_{t-1}}$	Эффективность использования
II. Отношения внутри трофических уровней:	
$\frac{P_t}{A_t}$	Эффективность роста тканей и продукции
$\frac{P_t}{I_t}$	Экологическая эффективность роста
$\frac{A_t}{I_t}$	Эффективность ассимиляции

Примечание: L - свет (общий); L_A - поглощенный свет (на уровне продуцентов); P_G - общий фотосинтез (валовая продукция); P - продукция биомассы на каждом трофическом уровне; I - поступление энергии на трофический уровень; R - дыхание; A - ассимиляция; t - трофический уровень; $t-1$ - предыдущий трофический уровень.

Биотическая регуляция окружающей среды – способность естественной биоты регулировать и стабилизировать характеристики окружающей среды на оптимальном уровне для своего существования. Естественные биологические виды *биосферы* образуют внутренне жестко скоррелированные сообщества. Взаимодействие видов между собой и окружающей их средой осуществляется так, что сообщество и окружающая его

среда остаются пригодными для существования всех видов, входящих в это сообщество.

В среднем в отсутствие внешних возмущений окружающая среда остается неизменной (стационарной), и взаимодействие видов сообщества с окружающей средой осуществляется на базе полностью замкнутых круговоротов веществ (рис.2.3). Все, что используется одними видами из сообщества, отдается в том же количестве и в том же химическом составе другим видам. Поэтому любые компоненты окружающей среды не представляют собой ресурс для потребления каким-либо одним видом сообщества: потребление каждого вида должно быть жестко сбалансировано с потреблением остальных видов сообщества. При возникновении внешних возмущений окружающей среды баланс потребления видов сообщества сдвигается в направлении, компенсирующем внешнее возмущение, и возвращающую окружающую среду в невозмущенное состояние.

Таким образом, все жизненные процессы особи каждого естественного вида сообщества представляют собой строго определенную работу по стабилизации окружающей сообщество среды. Выполнение этой работы зафиксировано в генетической информации (геноме) вида. Только строго определенная генетическая информация и определенный набор естественных видов сообщества может устойчиво поддерживать свойства локальной окружающей сообщество среды. Совокупность всех сообществ биосферы поддерживает пригодную для жизни окружающую среду в глобальных масштабах. Совокупность всех естественных видов биосферы образует биоту Земли.

Поддержание устойчивости окружающей среды естественными видами сообществ биосферы и может быть названо биологической регуляцией окружающей среды. Естественные сообщества реагируют на внешние возмущения окружающей их среды в соответствии с отрицательными обратными связями. При любых отклонениях характеристик окружающей среды от равновесного для сообщества состояния в функционировании сообщества возникают изменения, компенсирующие эти отклонения. Функционирование сообщества сводится к синтезу и разложению органических веществ. Органические вещества пред-

Изменяя запас органических веществ как в живом, так и в мертвом состоянии, биота способна регулировать концентрации неорганических веществ в окружающей среде, в частности, – концентрации важнейших парниковых газов и тем самым – влиять на климат. Механизм биотических компенсаций возмущений окружающей среды состоит в направленном отклонении от замкнутости круговоротов веществ. Это приводит к возникновению биотических источников (при разложении органики), восполняющих недостатки концентрации неорганических веществ в окружающей среде или стоков (при дополнительном синтезе органики), уменьшающих в среде избыточные концентрации неорганических веществ. Скорость восстановления окружающей среды при возникающих отклонениях от равновесного состояния пропорциональна величинам этих отклонений. Коэффициенты пропорциональности (коэффициенты релаксации) максимальны для невозмущенной биоты, характеризуя соответствующие отрицательные обратные связи, т.е. *устойчивость окружающей среды*. С ростом возмущения биоты и отклонения сообществ от их естественного состояния коэффициенты релаксации сначала уменьшаются и затем изменяют свой знак, когда величина возмущения сообществ становится больше порогового значения. После этого отрицательные обратные связи изменяются на положительные, окружающая среда теряет устойчивость и вместо биотической регуляции возникает биотическое разрушение. При искажении генетической информации у небольшой части особей популяции или интродукции видов в сообщество эти уродливые особи и инородные виды воспринимаются сообществом как внешнее возмущение. Нормальные особи естественных видов сохраняют способность компенсировать это возмущение, если оно остается меньше определенной пороговой величины, другими словами, если сообщество продолжает сохранять в целом свою естественную природу. При величине возмущения выше этого порога сообщество теряет способность поддерживать устойчивость окружающей среды.

Для обеспечения биотической регуляции окружающей среды необходимо поддерживать биоту Земли в допороговом

состоянии, т.е. сохранять слабо возмущенные естественные сообщества на большей части территории Земли. Освоенные человеком культурные сорта растений и породы животных, а также интенсивно эксплуатируемые леса уже утратили способность к биотической регуляции окружающей среды. При полном освоении биосферы человеком биотическая регуляция была бы необратимо разрушена и человеку пришлось бы осуществлять техногенное управление окружающей средой в глобальных масштабах. Однако заменить биотическую регуляцию техногенной невозможно – человечество никогда не сможет достигнуть таких величин потоков информации, которые перерабатывает естественная биота Земли, когда каждый микрон земной поверхности контролируется сотнями независимых организмов, каждая клетка которых перерабатывает потоки информации, сравнимые с потоком информации в современном персональном компьютере. Согласно оценкам, допустимый порог использования чистой первичной продукции биосферы составляет около 1%, тогда как к настоящему времени он достиг примерно 10%. Важный факт состоит в том, что в условиях невозмущенной природной среды глобальные биогеохимические циклы различных биогенов (углерод, сера, азот, фосфор и др.) являются замкнутыми с высокой степенью точности, порядка 0,01%. За последнее столетие эта замкнутость уменьшилась примерно на один порядок величины, причем на всей суше в направлении, соответствующем положительным, а не отрицательным обратным связям. Это (при сохранении подобной тенденции) грозит глобальной экологической катастрофой, которая выразится в разрушении существующей биосферы через несколько столетий.

Антропогенную трансформацию природной среды наиболее целесообразно рассматривать как изменение экосистем под влиянием человеческой деятельности. В существующем в современных автотрофных экосистемах типе биогеохимического обмена участвуют автотрофы-продуценты, гетеротрофы-консументы, гетеротрофы-редуценты (сапротрофы) и биотоп. Несмотря на применение несколько отличающихся друг от друга поллютантов, различных видов субстрата, наблюдаются однообразные эволюционно обусловленные ответные реак-

ции биоты и изменения биотопов. Сложение экосистемы – динамический процесс. Его формируют виды, дополняющие друг друга и соответствующие условиям среды. На жизнепригодном субстрате биотические сообщества последовательно формируют закономерный ряд состояний.

Восстановление одного компонента экосистемы – предпосылка успешного развития и саморегуляции других элементов. Биота в ходе саморегуляции и взаимодействия с абиотическими факторами поддерживает среду жизни, пригодную для ее развития. Трансформацию по направлению изменений прежде всего необходимо разделить на деградационную и восстановительную. По изменению компонентов биоты могут выделяться основные состояния – автотрофная, гетеротрофная, сапротрофная и абиогенная фазы трансформации, которые определяются в зависимости от мощности, специфики источника техногенного воздействия и устойчивости автотрофных, гетеротрофных и сапротрофных элементов.

При незначительном воздействии, не нарушающем устойчивость растений, сохраняется автотрофная экосистема, но несколько активизируется деятельность микроорганизмов (возможно, и гетеротрофов-консументов).

Если антропогенное воздействие превышает устойчивость фотосинтезирующих организмов, возникает сапротрофная экосистема. Сапротрофы существуют за счет техногенного потока вещества. Абиогенная стадия характеризуется тем, что жизнедеятельность растений, сапротрофов-редуцентов в результате поступления техногенного или изъятия природного вещества невозможна. Биотическое сообщество экосистемы полностью разрушено. Идут процессы восстановления среды обитания за счет влияния внешних соседних и занимающих более высокие иерархические уровни экосистем.

По временным характеристикам в трансформации экосистем выделим относительно обратимые зонального ряда изменения и изменения необратимые азонального ряда. Исходный загрязнитель при восстановлении разрушается, мигрирует и депонируется, но аккумуляция продуктов его бигеохимического изменения, в том числе токсичных, весьма вероятна.

Экосистема при снятии антропогенной нагрузки стремится к достижению экологического равновесия или автотрофной фазы. Качество среды территории можно определить по степени завершенности трансформаций восстановительного направления. Чем более развиты гетеротрофные, сапротрофные и абиогенные изменения, тем существенней будет нарушенность экосистем пространства.

Совокупность экосистем или групп организмов и среды их обитания в определенной ландшафтно-географической зоне (например, в тундре, хвойных лесах, аридной зоне и т.д.) определяется как **биом** (англ. biome от греч. bios – жизнь). Классификация по биомам крупных региональных или субконтинентальных экосистем основана на типе растительности или основных стабильных физических чертах ландшафта. *Наземные биомы*: тундры (арктические и альпийские); северные хвойные леса; листопадные леса умеренной зоны; степи умеренной зоны; тропические степи и саванны; чапарраль и жестколистные леса; пустыни; полувечнозеленые сезонные тропические леса; тропические дождевые леса; тропическое колючее редколесье (скрэб). *Пресноводные биомы*: лентические (озера и пруды); лотические (ручьи и реки); заболоченные угодья (марши и болота). *Морские биомы*: открытый океан (пелагическая); воды континентального шельфа (прибрежные воды); области апвеллинга; эстуарии (прибрежные бухты, проливы, устья рек, соленые марши и т.д.).

Эвтрофирование (син. **эвтрофикация**, существует название "эвтрофирование", "эвтрофикация") – (от греч. eutrophia – хорошее питание), повышение биологической продуктивности водных объектов в результате накопления в воде биогенных элементов (ГОСТ 17.1.1.01-77). Международная организация по стандартизации предлагает иное определение – обогащение воды биогенными веществами, особенно азота и фосфора, что ускоряет рост водорослей и высших форм растительной жизни. Обогащение вод биогенами может проходить естественным путем и при воздействии человека. В последнем случае этот естественный процесс резко ускоряется – от низкого содержания биогенов в воде (*олиготрофия*) к высокому (*эвтрофия*).

Дополнительно вносимыми человеком веществами могут быть нитраты из смытых с полей удобрений и фосфаты, попадающие в водные объекты с канализационными сточными водами. Следствием является массовый рост водорослей и высших растений, это проявляется в цветении воды, а затем снижении и исчерпании кислорода, растворенного в воде, за счет разложения возросшей массы мертвых водорослей редуцентами, численность которых также возрастает. При эвтрофировании ухудшаются физико-химические свойства воды, она делается мутной с неприятным запахом и привкусом, повышается рН, вследствие чего выпадает в осадок карбонат кальция, а также гидроокись магния. При эвтрофировании в водных объектах возникают заморы. При использовании воды из таких водоемов возможны вспышки желудочно-кишечных заболеваний, отравление скота и птиц. Прямые методы борьбы с эвтрофикацией (аэрация, сбор водорослей путем их засасывания и фильтрации воды, воздействие с помощью различных веществ) неэффективны. Следует снижать уровень загрязнения природных вод нитратами и фосфатами путем очистки сточных вод, сокращения применения удобрений, прекращения строительства крупных животноводческих комплексов с удалением навозной жижи. В мире практически во всех водных объектах в настоящее время идет процесс эвтрофикации вод (*антропогенное эвтрофирование*), включая такие внутренние моря, как Азовское, Балтийское и Каспийское.

Экологическая катастрофа. 1. Резкое или кумулятивное обострение противоречий между природой и обществом, которое влечет за собой возникновение чрезвычайных ситуаций, грозящих дестабилизацией или разрушением природной и социальной систем и потому требующих незамедлительного реагирования со стороны общества. Эти ситуации могут возникать взрывообразно, вследствие природных (землетрясения и т.п.) и техногенных (энергетических и др.) катастроф, либо в форме затяжного экологического кризиса (серьезное загрязнение окружающей среды и разрушение природного потенциала). Если эти явления охватывают отдельные участки и регионы, то возникает локальная или региональная экологическая катастро-

фа. Когда она охватывает всю Землю, то возникает глобальная катастрофа.

2. Природная аномалия, нередко возникающая в результате прямого или косвенного воздействия человека на природные процессы и ведущая к массовой гибели растений и животных, экономическим потерям и гибели людей. Примерами могут служить явление Эль-Ниньо у берегов Южной Америки в Тихом океане, мощные вулканические извержения, засухи на больших территориях, в частности Сахельская экологическая катастрофа в начале 70-х гг. XX в.

3. Авария производственного объекта или технического устройства (химический завод, атомная электростанция, танкер и т.д.), приводящие к опасности для окружающей среды и людей и, как правило, экономическому ущербу, гибели живых организмов и иногда людей. В некоторых государствах это понятие регистрируется и признается на основе определенных нормировочных актов, например, в ФРГ на основе "Предписания об экологических авариях".

Ассимиляционная емкость экосистемы – показатель максимальной динамической вместимости количества токсикантов, которое может быть за единицу времени накоплено, разрушено, трансформировано и выведено за пределы объема экосистемы без нарушения ее нормальной деятельности. Зависит от многих природных и антропогенных факторов и физико-химических свойств токсикантов. Например, при практической оценке ассимиляционной емкости океана по отношению к органическим загрязняющим веществам выделяют три основных процесса: распределение под действием гидродинамических факторов, микробиологическое окисление и биоседиментацию (по Ю. А. Израэлю).

Экологическая надежность – способность экосистемы относительно полно самовосстанавливаться и саморегулироваться (в пределах естественных для системы суточных, сезонных, межгодовых и вековых флуктуации) в течение сукцессионного или эволюционного отрезка ее существования. Простейший механизм поддержания – Экологическая надежность – замена выжившего по каким-то причинам вида или сообщества

другим, экологически близким. Если такого вида нет, то его сменяет более систематически отдаленный, например, во многих местах волков – бродячие собаки, а в естественных степях копытных – грызуны, даже растительноядные насекомые. При этом выпадают не просто отдельные виды, но всегда группы взаимосвязанных видов. При более глубоком нарушении замена происходит на уровне сообществ разного уровня вплоть до биогеоценозов, даже ландшафтных образований (леса сменяются степью, тундрой и т.п.). Нередко при этом снижается их продуктивность и производительность. Наиболее нежелательна смена продуктивных природных систем пустынями.

Охрана экосистем – комплекс мероприятий, направленных на сохранение целостности экосистем, поддержание их естественного состояния и баланса в них биогенов, предотвращения в них изменения экологических компонентов и биоразнообразия на всех иерархических уровнях от скоррелированных сообществ до глобальной экосистемы.

Биогеохимический цикл представляет собой круговорот химических элементов из неорганических элементов через растительные и животные организмы (органические вещества) вновь в исходное состояние. **Биогеохимия** – наука, изучающая круговорот химических элементов в биосфере Земли при участии живых организмов. Биогеохимия зародилась и развивалась под влиянием основополагающих трудов В.И. Вернадского, который ввел в науку представление о живом веществе и показал его роль в планетарных биогеохимических процессах. Основные проблемы современной биогеохимии – построение количественных моделей геохимических циклов биогенных элементов, выяснение природы и установление закономерностей фракционирования изотопов живыми организмами, биогеохимическое районирование поверхности Земли, выяснение роли живых организмов в образовании, эволюции и разрушении месторождений полезных ископаемых (углеводородов, самородной серы, фосфоритов, железных и марганцевых руд и т.п.), их биоиндикация и др. Важный аспект биогеохимии – изучение влияния деятельности человека на биогеохимические циклы, прогноз развития биосферы.

Биологический круговорот – возникший одновременно с появлением жизни на Земле круговорот химических элементов и веществ, осуществляемый жизнедеятельностью организмов: поступление элементов из почвы и атмосферы в живые организмы; превращение в них поступающих элементов в новые сложные соединения и возвращение их в почву и атмосферу (а также в воду) в процессе жизнедеятельности с ежегодным опадом части органического вещества или полностью отмершими организмами, входящими в состав биогеоценозов (рис. 2.4). Основную роль в биологическом круговороте играют первичные продуценты (зеленые растения и хемосинтезирующие микроорганизмы), консументы (животные) и редуценты (сапрофитные организмы, преимущественно бактерии). Биологический круговорот осуществляется по трофическим цепям (сетям) экосистемы. Биологический круговорот тесно взаимодействует с биогеохимическим круговоротом. Полного круговорота веществ в пределах биогеоценоза не происходит, так как часть веществ всегда уходит за его пределы. Обмен веществ сопровождается передачей и превращением энергии, однако о круговороте энергии говорить нельзя, поскольку она практически не возвращается от редуцентов к продуцентам (коэффициент круговорота энергии – 0,24%) и заново ее поток не может быть использован организмами.

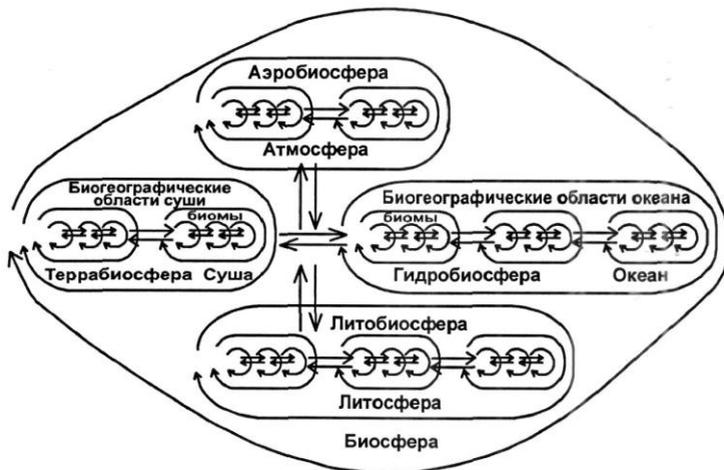


Рис. 2.4. Схема биологического (биотического круговорота (по Реймерсу, 1990)

Нитрификация – процесс биохимического окисления аммиачных солей до нитратов. Благоприятные условия для деятельности нитрифицирующих бактерий складываются при хорошем доступе воздуха, влажности почвы 60–70% от полной влагоемкости, температуре 25–32°C и pH 6,2–8,2. При активной нитрификации накопление нитратов в почве за год может достигать 300 кг/га. Нитрификационная способность почвы характеризует степень ее эффективного плодородия и далеко не одинакова для почв разных типов, формирующихся в различных условиях. Так, в черноземных почвах в результате нитрификации образуется больше нитратов, чем в дерново-подзолистых почвах, так как черноземы богаче органическим веществом, имеют мощный гумусовый горизонт и благоприятные условия для нитрификации (больше нитрифицирующих микроорганизмов, высокая температура и нейтральная или близкая к ней реакция почвы). Низкое содержание перегноя, кислая реакция, плохая аэрация, избыточная влажность и низкая температура в дерново-подзолистых почвах подавляют процесс нитрификации. Особенно медленно развивается он ранней весной, так как в это

время микробиологическая деятельность ослаблена вследствие низкой температуры почвы и анаэробных условий, вызываемых насыщенностью водой почвы после ее оттаивания. По мере прогревания почвы количество нитратов возрастает и достигает максимума летом, а к осени снова убывает. На скорость нитрификации оказывают влияние некоторые агротехнические приемы. Положительное влияние рыхления почвы путем раннего боронования зерновых, проведение междурядных обработок пропашных культур обеспечивают потребности в кислороде нитрифицирующих бактерий. Органические и минеральные удобрения обогащают почву азотом и зольными элементами и значительно усиливают процессы нитрификации в ней. С органическими удобрениями вносятся вещества, стимулирующие жизнедеятельность микроорганизмов, и разнообразная микрофлора, ускоряющая разложение органического вещества почвы. Минеральные удобрения повышают интенсивность биохимических процессов в почве, так как являются источником питания микробов азотом, фосфором, калием, кальцием и другими элементами. Усиливает нитрификацию и известкование кислых почв. При внесении извести снижается кислотность почвы, повышается жизнедеятельность нитрификаторов, почва обогащается кальцием, необходимым для связывания нитратов в форму $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. Роль извести еще больше возрастает, если нитрификации подвергается не только аммиак, полученный в результате минерализации веществ почвы, но и внесенный с удобрениями. Кроме нейтрализации азотной кислоты, кальций в последнем случае нужен еще и для связывания кислотных остатков из удобрений. Значительное усиление процесса нитрификации в почве может сопровождаться избыточным накоплением нитратов, что отрицательно сказывается на качестве продукции растениеводства и здоровье человека. В то же время нитраты вследствие высокой растворимости и подвижности в почве могут вымываться в грунтовые воды, а затем попадать в реки и водоемы, загрязняя их. Часть нитратов переносится в водные объекты с поверхностным стоком. В соответствии с санитарными нормами в водах хозяйственно-питьевого назначения допускается содержание нитрат-ионов 45 мг/л. Накопление в водоемах одного из

главных биогенных элементов – азота – вызывает цветение воды, что существенно ухудшает условия жизни обитателей таких водоемов. Число нитрифицирующих бактерий в окультуренной почве достигает 100 тыс. в 1 г почвы. О плодородии почв часто судят по их нитрифицирующей способности.

Денитрификация – анаэробное дыхание, естественный процесс восстановления денитрифицирующими бактериями нитратов и нитритов до аммиака и газообразного азота, что приводит к обеднению почвы, снижению ее плодородия и необходимости внесения удобрений.

Аккумуляция веществ в почве – 1. Накопление химических элементов, биофилов (С, К, Р, N, Mg) в результате избирательного поглощения их растениями из материнской породы и концентрации в гумусовом горизонте после разрушения органических остатков. 2. Накопление гумуса в верхнем, гумусоаккумулятивном горизонте почв после биологического разрушения органических остатков и биохимических реакций. 3. Накопление химических элементов и веществ, вымытых из верхних (элювиальных) горизонтов в средней или нижней части почвенного профиля (иллювиальных горизонтах) с образованием марганцево-железистых, карбонатно-кальциевых, гипсовых и других горизонтов. 4. Накопление солей из оросительных или грунтовых вод при испарении их через почву. 5. Накопление загрязняющих почву веществ, транспортируемых от источников загрязнения воздушным, водным транспортом или другими техногенными средствами.

Геосфера – многослойная оболочка Земли, которую обычно подразделяют на биосферу, литосферу, гидросферу и атмосферу. Под геосферами подразумевают «...более или менее правильные концентрические слои, охватывающие всю планету, меняющиеся с глубиной, в вертикальном разрезе планеты, и отличающиеся друг от друга характерными для каждой, только ей свойственными, особыми физическими, химическими и биологическими свойствами» (В.И. Вернадский).

Биосфера (син. глобальная экосистема) – (от греч. bios – жизнь и sphaîra – шар). 1. Биосфера, литосфера, гидросфера и атмосфера – четыре основные геосферные оболочки Земли. Каждая из них имеет свою историю, специфические характери-

стики, свой режим функционирования, свою структуру и подразделения, классифицируемые в региональные и глобальные порядки. В целом же они тесно между собой связаны и находятся в постоянном взаимодействии. Наиболее четкая физическая обособленность характерна для *литосферы* (горнопородная оболочка), *гидросферы* (водная оболочка) и *атмосферы* (газовоздушная оболочка). Биосфера по отношению к ним выступает одновременно как продукт и как "надстройка", входящая, в тех или иных пределах, в их структуры и образующая в их среде свою область жизни. **В.И. Вернадский определяет биосферу как "организованную, определенную оболочку земной коры, сопряженную с жизнью" (1934), говорит, что "пределы биосферы обусловлены прежде всего полем существования жизни" (1926), и делает фундаментальное заключение, что "биосфера геологически вечна" (1965).** Эти положения, принадлежащие создателю современного учения о биосфере, не являются ее энциклопедически завершенным всеобъемлющим определением, но содержат ее самые *существенные характеристики*: уникальность поля жизни на Земле, сведенной В.И. Вернадским к обобщенному геохимическому понятию "живого вещества", ее неотделимость от жизни земной коры, функциональную организованность и непрерывность существования в рамках геологического пространства–времени. Дана, таким образом, целостная биосферная концепция (система взглядов), что неизмеримо шире определения термина. В истоках этой концепции В.И. Вернадский близок к взглядам европейских естествоиспытателей XVIII в. и прежде всего Ж.-П. Ламарка (Гидрогеология, 1802), впервые введшего в круг своих геологических представлений роль биологических процессов – совокупного влияния живых организмов, их "силу". По сути дела это было первым крупным приближением к синтетическому понятию о биосфере, но Ламарк не предложил для него никакого термина. Сделал это более чем семьдесят лет спустя Э. Зюсс (Происхождение Альп, 1875), но он скорее сузил представление Ламарка, ограничив введенным им термином "биосфера" лишь живой покров Земли, что Вернадский называл позднее "пленками жизни". Более близкими к представлениям Ламарка оказались взгляды

И. Вальтера (1911), проникнутые духом геологической биологии.

Однако только В.И. Вернадский, впервые осознавший подлинную роль количественного параметра живого вещества в геосферных оболочках (начало XX в.), используя термин Зюсса, дал самый мощный импульс развитию наших знаний о биосфере. С полным основанием теперь ее рассматривают как *экологическую систему первого порядка*, одновозрастную другим планетарным геосферам и эволюционно связанную с ними сотни миллионов и миллиарды лет. Вместе с тем история формирования взглядов на биосферу в среде отдельных групп исследователей (геологов, биологов, географов, социологов) и в самом обществе наложила отпечаток определенного дуализма на понимание этой важнейшей природной системы в зависимости от их воззрения: ограниченно-актуалистического или геоисторического. *Для первых биосфера* – некая естественная данность: современный живой покров суши и вод с прочно устоявшимся свойством саморегуляции и экологической устойчивости. *Для вторых* – это бесконечно длительное время развивавшаяся открытая система взаимодействующих биотических и абиотических факторов геосфер и космоса, в ходе коэволюции которой сформировались и многократно перестраивались все механизмы экологической саморегуляции и устойчивости. От этих столь различных представлений об истории и содержательных аспектов Б. прямо зависят осторожность и уровень культуры обращения с экологическими системами всей их иерархической лестницы – от локальных биогеоценозов до систем, имеющих глобальное влияние на природу и климат. Игнорирование параметра исторической длительности (тем более – геологической) и "опыта природы" в преодолении перестроек прошлого в экосистемной эволюции может иметь в технологической деятельности людей самые катастрофические последствия.

К созданию современного учения о биосфере вели многие пути, позволившие увидеть за покровом живых существ суммарное живое вещество планеты, непрерывность его потока, понять его роль в геохимической и биогеохимической структуре биосферы. Биогеохимия стала одной из важнейших наук в изу-

чении биосферы, а планетный геологический аспект биосферы связал воедино историю и судьбу живого вещества с косными и биокосными телами Земли, с геологической историей планеты, ее основными оболочками и "космическими просторами". Живое вещество проявлялось всегда как "геологическая функция биосферы". Контуры функционирующей биосферы не следуют контурам земных геосфер, дискомфортно входят в них, захватывая тропосферу (а с выходом человека в космическое пространство и области, лежащие за пределами озонного экрана), всю гидросферу, ландшафтные зоны континентов (*геохоры*) и в тех или иных пределах стратисферу (слоистую оболочку литосферы), где жизнь может устойчиво сохранять активность, т. е. нести свою геологическую (геохимическую) функцию. Такая функционирующая трехмерная биосфера занимает очень сложное пространство, входя в пределы различных физических оболочек или их частей, но она имеет и четвертое измерение – длительность, время своего существования.

Геоисторический, а следовательно, и эволюционный аспект в учении о биосфере является важнейшим, но это обстоятельство не всегда в должной степени учитывается; нередко в нем видят нечто дополнительное, а то и просто выходящее за рамки самого предмета. Недооценивается при этом не только совершенно очевидный факт, что современная биосфера является продуктом развития биосферы прошлых геологических периодов, но и непосредственная геологическая сила биосферы, особенно специфической по своей грозности в современной фазе ее развития. Многие ученые, изучающие биосферу, до сих пор были недостаточно внимательными к данным палеонтологии; они редко используют ее важнейшую по документальной точности информацию геохронологического и экологического характера или, наоборот, слепо принимают палеонтологию за историю биосферы. И то, и другое одинаково недопустимо. По ступеням своего геоисторического формирования, составу и состоянию биологической компоненты, условиям вхождения в другие физические оболочки Земли, уровню активности в биогеохимических циклах "биогенной миграции атомов" (вещества) и энергии и по известной зональной организованности структура биосфе-

ры очень неоднородна. Поэтому существует тенденция к определенному обособлению намечаемых подразделений биосферы и введению соответствующей терминологии для их обозначения. Таким путем возникли понятия *метабиосфера*, *фотобиосфера*, *парабиосфера*, *аобиосфера* и *мегабиосфера*, как понятия, объединяющие все структурированные биосферы (Вассович, 1976).

Но, следуя духу представлений В.И. Вернадского, надо говорить только *о двух состояниях биосферы*: современной экологически целостно функционирующей биосферы и соответственно – функционировавших ее состояниях в любой момент геологического прошлого и о так называемых "былых биосферах" Вернадского, которые давно вышли из фазы живого функционирования экосистем и предстают прежде всего в виде гигантского геологического образования – стратисферы, или слоистой каменной оболочки Земли. В.И. Вернадский относил к былым биосферам даже гранито-гнейсовый комплекс земной коры, судя по всем современным данным, специфичный лишь для планеты Земля. Геобиологические, геохимические, геофизические и прочие характеристики стратисферы дают необозримую информацию для различных реконструкций геологического прошлого Земли, и в том числе для реконструкции эволюционных и критических событий в истории биосферы на протяжении почти четырех миллиардов лет. Но мы имеем дело со статической структурой земной коры, реконструируем по ее данным только биосферный процесс и, естественно, не можем видеть живую функционирующую экологическую систему. Прогностическая ценность открываемых в этом реконструируемом процессе явлений огромна, так как другого источника информации о прошлом биосферы – хоть бесконечно далеком, или совсем недавнем – просто не существует. Между функционирующей биосферой, а это и есть биосфера в обычном понимании (Одум, 1975 называет ее *экоферой*), и былыми биосферами, вписанными в структуру стратисферы, граница всегда резкая, так как является границей между активной живой системой и субстратом, т.е. средой жизнедеятельности – будь то стратисфера – литосфера или ее ландшафтно- почвенный покров. Это относится

и к среде других геосфер, охваченных жизнью. В узком смысле здесь речь идет о границе между живым и неживым (биокосном, косном), а не о параметрах сред – биотических и абиотических, взаимодействие которых только и поддерживает в конечном счете функции жизнедеятельности. Резкость границы, таким образом, достаточно иллюзорна, но она окажется еще более относительной при включении параметра времени, что соединяет воедино существующую биосферу и биосферу былого, поскольку жизнь, не прерываясь как поток живых систем, существовала во все геологические периоды, изменяясь с их изменяющейся средой. Если бы такую вечную биосферу, вероятно, одновозрастную с самой Землей, потребовалось назвать особым образом, то лучшим термином был бы **"панбиосфера"**. Он представляется более точным и логичным, чем мегабиосфера, предложенный для искусственно структурированной "составной биосферы". В конечном счете, речь идет о единой, не прерывавшейся на протяжении миллиардов лет, геологически вечной, изменявшейся, но функционально целостной планетарной экологической системе. В целом это был единый биосферный процесс, палео-биосферная часть которого составляет основной геологически прошлый этап современного процесса. Биосфера прошлого – источник самой фундаментальной информации об общей эволюции биосферы Земли. Ее в первую очередь представляют палеонтология, палеоэкология, палеобиогеография, палеоклиматология, палеобиохимия и ряд других наук, связанных с изучением Земли и ее органической жизни. Исследователями, изучающими современную биосферу и современный биосферный процесс, данные этих наук еще недостаточно освоены, и практически совсем нет специально поставленных работ, направленных на получение информации, важной в прогностическом отношении.

Сейчас возникает необходимость как можно глубже и всесторонне заглянуть в прошлое биосферы и использовать для биосферного прогноза хорошо документированные и действительно достоверные данные об этом прошлом. История жизни на Земле отмечена великими созидательными процессами и великими переменами. В условиях нормального естественно-исто-

рического развития жизни на Земле уже хорошо прослежены главные вехи биосферной эволюции, хотя еще очень смутно представляются обстоятельства появления самой жизни: возникла ли она раньше, чем Земля? Но однажды начавшийся биотический процесс, еще в условиях анаэробной среды, и далее – с древнейших эукариотных организмов, уже никогда не прерывался, сохраняя свои ведущие тенденции самоорганизации усложняющихся сообществ, поддержания биологического разнообразия, как основы эволюции, совершенствования центральной нервной системы и цефализации, приведших эволюцию к человеку. Никакие грандиозные геолого-экологические и геофизические изменения на Земле не смогли сломить эти главные тенденции и не могли уничтожить жизнь вообще.

Однако биосфера в целом подвергалась крупным перестройкам и сопровождалась геологически быстрыми вымираниями. Удары по биосфере Земли рождались внутри ее системы, но могли идти и из космоса. Современным экологам необходимо знать ритм происходивших событий и полнее описать сами биосферные события, как важнейшие биотические этапы в истории планеты. В общем естественно-историческом ходе биосферного процесса, с развитием усиливающейся технологической деятельности человека, теперь стала создаваться совершенно новая региональная и планетарная экологическая ситуация. Проблемой первостепенной важности становится реакция человеческого общества на давление антропогенного фактора на современную биосферу в целом. Переход последней в ноосферную фазу своего состояния становится главной надеждой людей.

2. Область обитания живых организмов, состав, структура и энергетика которой определяется деятельностью всей совокупности живых организмов – биотой. Она охватывает нижнюю часть атмосферы, гидросферу и верхнюю часть литосферы; активная оболочка Земли (рис.2.5). В биосфере живые организмы и среда их обитания органически связаны и взаимодействуют друг с другом, образуя целостную динамическую систему.

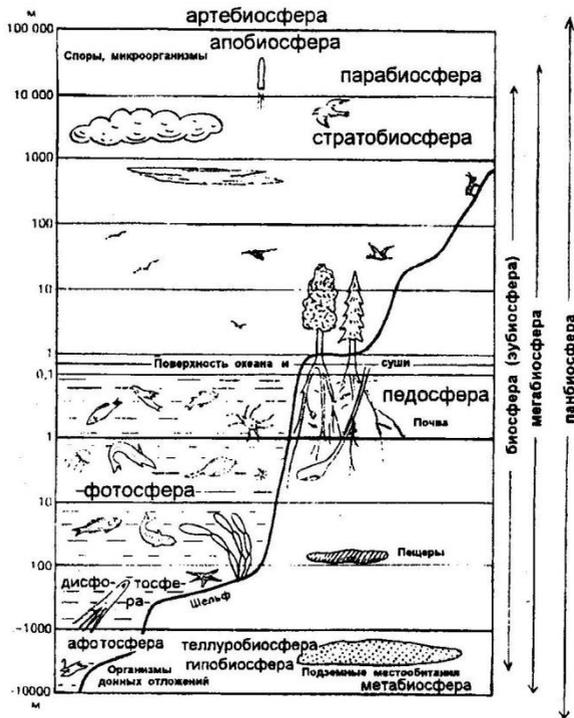


Рис. 2.5. Распределение живых организмов в биосфере и ее подразделение

Ряд исследователей к биосфере относят не только среду обитания живого вещества, но и биоту. При этом в биосферу включается также *внешняя окружающая среда* (например, верхние слои атмосферы), в которой нет живых организмов, но которая интенсивно перемешивается с окружающей биоту средой. Из определения биосферы следует, что в нее нужно включать только характеристики, управляемые биотой, и не нужно включать компоненты природы, несущие следы деятельности жизни в геологическом прошлом (следы *былых биосфер*, по В.И. Вернадскому) и не подверженные воздействию современной биоты. Все экологические ниши, пригодные для жизни, заняты биотой. Возникла она одновременно с появлением жизни на Земле, первоначально (около 4 млрд лет тому назад) в виде примитивных

биоценозов (протобиоценозов) в первичном Мировом океане. Около 450 млн лет назад биота начала занимать сушу, создав на суше модель океана в виде пористой водоудерживающей почвы, которая в среднем содержит слой воды в 10–30 см, и испарительной листовой поверхности растений, площадь которой с учетом разносезонности в южном и северном полушариях равняется площади поверхности Мирового океана. На суше, несмотря на гораздо более жесткие, чем в океане, экологические условия, биосфера эволюционировала в направлении максимального видового разнообразия. Соотношение числа видов животных и растений в Мировом океане и на суше составило в среднем 1:5.

Первые представления о биосфере, как "*области жизни*" и наружной оболочке Земли сформулировал Ж.-Б. Ламарк (1802 г.). Термин биосферы ввел Э. Зюсс (1875 г.), а создание учения о биосфере принадлежит В.И. Вернадскому, который изложил его в 1926 г. в книге "*Биосфера*". С точки зрения иерархических уровней организации живой материи и системного подхода, биосфера – это совокупность всех экосистем (биогеоценозов), распространенных в пределах геосфер, с которыми взаимодействует живая оболочка Земли. В современном понимании биосфера – сложнейшая система, в которой регулятором окружающей среды служит биота, а целью регуляции является создание оптимальных условий для существования жизни. Длительность и непрерывность существования жизни на Земле, сравнимая с продолжительностью существования нашей планеты (4 и 4,5 млрд лет соответственно), свидетельствует о мощнейших механизмах подавления возмущений, возникавших в окружающей среде временно (например, падение метеорита), или действующих постоянно (например, непрерывное поступление углекислого газа из недр Земли), которыми обладает биота.

Организмы в биосфере встречаются на высотах атмосферы вблизи озонного слоя, а споры и на высотах до 70 км встречаются во всей толще океана и в его осадочном слое до глубин 1–2 км. На суше в литосфере жизнь наиболее активна на ее поверхности и в почве и встречается до глубин 2–3 км, иногда

глубже. Биосфера характеризуется биомассой – массой всего живого вещества (всех организмов), но прежде всего биомассой продуцентов и их продуктивностью, которые создают органическое вещество путем фотосинтеза. Метаболически активный слой биомассы в биосфере исключительно тонок, составляя в среднем для всей планеты всего 0,2 мм. Эта пленка производит органику, которой питаются остальные организмы (консументы), чья биомасса примерно того же порядка, что и биомасса фотосинтезирующих растений. Мощность биоты составляет порядка 100 ТВт. Биосфера охватывает нижнюю часть атмосферы, гидросферу, педосферу (почвенный покров) и верхнюю часть литосферы.

Загрязнение биосферы – комплекс разнообразных воздействий человеческого общества на биосферу, приводящих к увеличению уровня содержания вредных веществ в биосфере или повышению концентрации имеющихся, появлению новых химических соединений, частиц и чужеродных предметов, чрезмерному повышению температуры (тепловое загрязнение биосферы), шума (шумовое загрязнение биосферы), радиоактивности (радиоактивное загрязнение биосферы) и т.д.

Гидросфера – совокупность всех вод Земли: материковых (в т.ч. глубинных, почвенных, поверхностных), океанических и атмосферных. Как особая земная оболочка, рассматриваются лишь воды, находящиеся на поверхности планеты (материковые, океанические). Из табл. 2.7 видно, что подавляющая часть гидросферы (94%) приходится на Мировой океан, затем идут подземные воды и ледники.

На долю поверхностных вод в гидросфере приходится весьма малый объем (всего 0,0001%), но исключительная их активность служит началом формирования почти всех источников пресных вод на суше. Общая масса воды оценивается величиной $2 \cdot 10^{18}$ т.

Гидросфера находится в состоянии непрерывного движения, развития, обновления. Ежегодно с поверхности Земли испаряется 0,5 млн км³ воды, что составляет половину объема всех водоемов суши. Водяные пары атмосферы (13 тыс. км³), обновляются в течение десяти суток. Вода рек в результате стока сме-

няется каждые 12 суток. Вода озер обновляется каждые 10 лет. Воды Мирового океана полностью сменяются каждые 3 тыс. лет, а в самой малоподвижной форме воды (в ледниках) полный водообмен происходит за 8,5 тыс. лет.

Таблица 2.7

Распределение водных масс в гидросфере Земли (по Львовичу, 1986)

Часть гидросферы	Объем воды, 10 ³ км ³	% от общего объема
Мировой океан	1370000	94,0
Подземные воды, в т.ч. зоны активного водообмена	60000	4,0
Ледники	4000	0,3
Озера	24000	1,7
Почвенная влага	280	0,02
Пары атмосферы	80	0,01
Реки	14	0,001
Вся гидросфера	1,2	0,0001
	1454000	100,0

Химический состав природных вод – совокупность растворенных в природных водах минеральных и органических веществ в ионном, молекулярном, комплексном и коллоидном состояниях (ГОСТ 17403-72). В природных водах растворены почти все известные на Земле химические элементы, из 87 стабильных химических элементов, установленных в земной коре, в настоящее время в природных водах обнаружены около 80. При повышении чувствительности аналитических методов, очевидно, будут установлены и остальные. Распределение химических элементов в водных объектах определяется типом природной системы и свойствами самих элементов (их распространенностью в земной коре и растворимостью в воде). Химический состав природных вод представляет собой сложный комплекс растворенных газов, различных минеральных солей и органических соединений. *Его условно делят на шесть групп*: главные ионы (макрокомпоненты природных вод); растворенные газы (газовый состав природных вод); биогенные вещества; органические вещества; микроэлементы и загрязняющие вещества. Сложность химического состава вод определяется не только присутствием в них большого числа химических элементов и

многообразием их форм и соединений, но и разным содержанием каждого из них, которое к тому же меняется в различных типах вод, что связано с особенностями условий их формирования (табл. 2.8).

Таблица 2.8

**Средние концентрации химических элементов в природных водах
(по Савенко, 1997)**

Элемент	Концентрация растворенных форм, мкг/л		
	Речные воды	Подземные воды зоны гипергенеза	Морская вода
Li	2,5	14	180
B	18	42	4500
C	15900	47200	29500
N	375	1250	500
F	100	450	1300
Na	5150	45500	$1,08 \cdot 10^7$
Mg	3350	45500	$1,29 \cdot 10^6$
Al	50	280	0,5
Si	4860	8100	2800
P	25	58	70
S	2750	25000	$9,04 \cdot 10^5$
Cl	5750	47000	$1,94 \cdot 10^7$
K	1300	4590	$3,99 \cdot 10^5$
Ca	13400	43900	$4,14 \cdot 10^5$
Sc	0,004	(0,004)*	0,0007
Ti	3,0	11	1,0
V	1,0	1,6	1,5
Cr	1,0	2,9	0,25
Mn	8,2	49	0,03
Fe	40	547	0,05
Co	0,2	0,75	0,002
Ni	0,5	3,3	0,4
Cu	1,5	5,6	0,1
Zn	30	34	0,4
Ga	0,1	0,49	0,02
As	1,7	2,1	1,5
Br	20	183	67000
Rb	1,5	2,2	120

Элемент	Концентрация растворенных форм, мкг/л		
	Речные воды	Подземные воды зоны гипергенеза	Морская вода
Sr	60	185	7700
Zr	2,6	1,3	0,03
Mo	0,5	2,1	10
Ag	0,2	0,29	0,003
Cd	0,02	(0,02)	0,08
Sn	0,04	0,04	0,001
Sb	1,0	1,5	0,15
I	70	16	50
Cs	0,03	(0,03)	0,3
Ba	60	20	10
La	0,04	(0,04)	0,005
Ce	0,06	(0,06)	0,002
W	0,03	(0,03)	0,01
Au	0,002	(0,002)	0,005
H ₅	0,07	(0,07)	0,002
Pb	0,1	2,2	0,002
Th	0,1	0,42	0,0005
U	0,24	3,4	3,2

Примечание: в скобках приведены данные для подземных вод зоны гипергенеза, приравненные к содержанию в речных водах из-за отсутствия информации. Природная концентрация растворенного фосфора без антропогенного влияния; средняя современная его концентрация примерно 100 мкг/л с учетом антропогенного воздействия.

Под формированием химического состава природных вод понимается совокупность процессов, приводящих к образованию того или иного химического состава природной воды (ГОСТ 17403-72). Количество растворенных веществ в воде будет зависеть, с одной стороны, от состава тех веществ, с которыми она соприкасается в процессе своего круговорота, с другой – от условий, в которых происходили эти взаимодействия. Факторы, определяющие формирование химического состава вод, могут быть разделены на прямые и косвенные. *Прямые – факторы*, непосредственно влияющие на состав воды (т.е. действие веществ, которые могут обогащать воду растворимыми

соединениями, или, наоборот, выделять их из воды). К ним относятся: горные породы, живые организмы, обмен с другими типами природных вод, а также деятельность человека. К косвенным относятся факторы, определяющие условия, в которых протекает взаимодействие веществ с водой: климат, рельеф, водный режим, растительность, гидрогеологические и гидродинамические условия и пр.

Каждому типу природных вод (атмосферные осадки, поверхностные и подземные воды) соответствует определенный набор прямых и косвенных факторов формирования химического состава их вод (табл. 2.9).

Таблица 2.9

Факторы формирования химического состава поверхностных вод суши

Прямые факторы		Косвенные факторы	
Наименование	Результат действия	Наименование	Результат действия
Атмосферные осадки, почвы, породы, сточные воды	Поступление химических веществ в различных формах: взвешенные, коллоидные, истинно растворенные (ионы, комплексные соединения, недиссоциированные соединения)	Климат, рельеф, растительность, водный режим	Дифференциация поступления химических веществ в поверхностные воды в пространстве (географическая зональность) и во времени (гидрохимический режим)

Для систематизации представлений о химическом составе и минерализации различных типов природных вод (а также водных объектов) используются классификации, в основу которых положены разнообразные принципы в зависимости их химического состава.

Хотя в общем балансе гидросферы Мировой океан занимает ведущее место, существенное значение для биосферы в целом играет пресная вода. Пресной называют воду, в 1 кг которой содержится не более 1 г солей. Из общего количества воды на Земле на долю пресной приходится не более 3%. Все остальные – это соленые воды Мирового океана, минерализованные подземные воды и воды соляных озер. Распределение пресной воды по водным объектам приведено в табл. 2.10.

Распределение пресной воды по объектам (по Богдановскому, 1994)

Водный объект	Содержание, тыс. км ³
Ледники, подземные льды (в пересчете на воду)	24364
Подземные воды	10530
Влага в почве	17
Пресные озера	91
Болота	12
Вода в руслах рек	2
Вода в атмосфере	13
Биологические воды (в живых организмах)	1

Из таблицы следует, что подавляющая часть пресной воды на Земле находится в состоянии, труднодоступном для человека, а в пределах всех рек содержится одновременно лишь 0,006% всех пресных вод, или немногим больше 1/1000000 части общих запасов воды. В СНГ общий запас пресных поверхностных вод составляет почти 40,5 тыс. км³. Больше всего их в озерах (более 26 тыс. км³) и в ледниках (11 тыс. км³); в болотах находится около 3 тыс. км³, а в руслах рек – всего 235 км³.

Биогенные вещества (син. биогены) – (от греч. bios – жизнь, genos – рождение), вещества, наиболее активно участвующие в жизнедеятельности водных организмов (ГОСТ 17 403-72). К ним относятся минеральные соединения азота (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-), фосфора (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-}), кремния (HSiO_3^- , SiO_3^{2-}), железа (Fe^{2+} , Fe^{3+}) и соединения некоторых микроэлементов. В природные воды биогенные вещества поступают главным образом в результате процессов жизнедеятельности и посмертного распада водных животных и растительных организмов (процесс регенерации биогенных элементов), с речным стоком, атмосферными осадками и с разнообразными видами сточных вод. Концентрация биогенных веществ в природных водах обычно невелика и меняется в течение года соответственно интенсивности питания ими фотосинтезирующих организмов (фотосинтез водных растений). Большое количество биогенных веществ (особенно соединений N и P) вносится с коммунально-хозяйственными, сельскохозяйственными и промышленными

сточными водами, вследствие чего их концентрация значительно увеличивается в загрязненных реках и водоемах (табл. 2.11). Повышенные концентрации Б.в. в воде способствуют повышению биологической продуктивности водных объектов, что является причиной эвтрофирования.

Таблица 2.11

Содержание биогенных веществ в реках (по О.А. Алекину)

Биогенные вещества	Незагрязненные реки	Загрязненные реки
Нитраты (мгN/л)	До 0,1	Более 1,0
Нитриты (мгN/л)	До 0,01	Более 0,1
Аммоний (мгN/л)	0,01–0,1	Более 1,0
Неорганические соединения фосфора (мгP/л)	0,001–0,01 до 0,1–0,5	Более 1,0
Железо (мгFe/л)	0,1–10 (при высоком содержании гумусовых веществ)	-
Кремний (мгSi/л)	1–5	-

Средний элементный состав поверхностных вод суши отличается от среднего элементного состава Мирового океана. *Если в океане резко преобладают хлор и натрий, то в речных и озерных водах – гидрокарбонаты кальция и магния.* Отмечаются различия и по степени концентрации ионного состава. В Мировом океане концентрация растворенных веществ в среднем в 175 раз превышает таковую в водах рек и озер. Из этого, конечно, не следует, что не может быть сильноопресненных морских вод и сильноосолоненных озерных и даже речных вод. Состав речной и озерной вод зависит главным образом от типа почвы и горных пород, через которые она проходит, а также от типа источника питания в виде поверхностного стока или грунтовых вод: обычно в грунтовой воде содержание растворенных веществ больше, чем в водах поверхностного стока. Кроме того, определение состава воды рек и озер зависит от точки отбора проб и изменяется со временем. Проведена огромная работа по оценке среднего химического состава речных вод мира. Наиболее обоснованные данные представлены А.П. Виноградовым (1967), А.П. Лисициным (1978), Э.Д. Голдбергом (1965), Х.Дж. Боуэном (1966), К. Турекианом (1969), Б.А. Беремжановым (1968), В.В. Гордеевым

(1978), А.И. Муном (1971), В.В. Добровольским (1998). Основные результаты сведены в табл. 2.12.

Таблица 2.12

Содержание растворимых форм химических элементов в речных водах и интенсивность их вовлечения в водную миграцию (по Добровольскому, 1998)

Элемент и ион	Средняя концентрация		Глобальный вынос с речным стоком, тыс. т/год	Коэффициент водной миграции
	в воде, мкг/л	в сумме солей, %		
<i>Cl</i>	6400	5,33	262400	313,0
SO_4^{2-}	12000	10,00	492000	-
<i>S</i>	3960	3,30	162360	82,5
<i>C_{орг}</i>	6900	5,75	283000	-
HCO_3^-	58500	48,75	2398500	-
<i>C_{карб}</i>	11508	9,58	471828	-
<i>Ca</i>	13000	10,80	533000	4,6
<i>Mg</i>	3300	2,75	135300	2,3
<i>Na</i>	4500	3,75	184500	1,7
<i>K</i>	1500	1,25	61500	0,5
NO_3^-	1000	0,83	41000	-
<i>N</i>	225	0,19	9225	-
SiO_2	13100	10,9	537100	-
<i>Si</i>	5700	4,75	233700	0,15
<i>Fe</i>	670	0,558	27470	0,15
<i>Al</i>	75	$625 \cdot 10^{-4}$	3075	0,01
<i>Sr</i>	80	$667 \cdot 10^{-4}$	3280	2,90
<i>P</i>	20	$11,7 \cdot 10^{-4}$	820	0,21
<i>F</i>	40	$333 \cdot 10^{-4}$	1640	0,46
<i>Ba</i>	25	$208,0 \cdot 10^{-4}$	1025	0,31
<i>Br</i>	20	$167,0 \cdot 10^{-4}$	820	76,0
<i>Zn</i>	20	$167 \cdot 10^{-4}$	820	3,27
<i>B</i>	18	$150,0 \cdot 10^{-4}$	738	15,0
<i>Mn</i>	10	$83,0 \cdot 10^{-4}$	410	0,12
<i>Cu</i>	7	$58,0 \cdot 10^{-4}$	287	2,64
<i>Ti</i>	4	$33,0 \cdot 10^{-4}$	164	0,01
<i>I</i>	3	$25,0 \cdot 10^{-4}$	123	50,0
<i>Zr</i>	2,5	$21,0 \cdot 10^{-4}$	103	0,12
<i>As</i>	2	$17,0 \cdot 10^{-4}$	82	8,95
<i>Ni</i>	2,5	$21,0 \cdot 10^{-4}$	123	0,81
<i>Li</i>	2,2	$18,0 \cdot 10^{-4}$	90	0,08
<i>Rb</i>	1,8	$15,0 \cdot 10^{-4}$	74	0,08

Окончание табл. 2.12

Элемент и ион	Средняя концентрация		Глобальный вынос с речным стоком, тыс. т/год	Коэффициент водной миграции
	в воде, мкг/л	в сумме солей, %		
V	1,0	$8,3 \cdot 10^{-4}$	41	0,11
Cr	1,0	$8,3 \cdot 10^{-4}$	41	0,24
Mo	0,9	$7,5 \cdot 10^{-4}$	37	5,77
Pb	1,0	$8,3 \cdot 10^{-4}$	41	0,52
Sb	0,9	$7,5 \cdot 10^{-4}$	37	37,5
Sn	0,5	$4,2 \cdot 10^{-4}$	21	1,56
U	0,3	$2,5 \cdot 10^{-4}$	12	0,96
Co	0,25	$2,1 \cdot 10^{-4}$	10	0,29
Ag	0,2	$1,7 \cdot 10^{-4}$	8,2	35,42
Cd	0,2	$1,7 \cdot 10^{-4}$	8,2	10,63
Ga	0,09	$0,75 \cdot 10^{-4}$	3,7	0,04
Hg	0,07	$0,58 \cdot 10^{-4}$	2,9	17,58
Th	0,05	$0,42 \cdot 10^{-4}$	2,1	0,03
Sc	0,02	$0,17 \cdot 10^{-4}$	0,8	0,02

Сравнение глобального химического состава речных вод со средним составом континентальной коры (табл. 2.13) позволяет выделить три особенности:

1. В растворенном состоянии в химическом составе пресной воды преобладают четыре металла, присутствующие в виде простых катионов (Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+}).
2. Концентрация ионов в растворе низкая.
3. Ионный состав растворенных веществ в пресной воде принципиально отличается от континентальной коры, несмотря на то, что все катионы в речной воде, за исключением некоторого количества натрия и хлора, являются результатом процесса выветривания.

Различие между составом коры и растворенных веществ речной воды особенно заметно для алюминия и железа по сравнению с другими металлами (табл. 2.9). Такое различие является результатом того способа, каким ионы металлов взаимодействуют с водой.

Сравнение среднего состава основных катионов в породах континентальной коры и речных водах (Broecker, Peng, 1982; Taylor, McLennan, 1985; Berner, Berner, 1987)

Катион	Континентальная кора, мг/кг	Речные воды, мг/кг
Al ³⁺	80,0	0,05
Fe ³⁺	35,0	0,04
Ca ²⁺	30,0	13,0
Na ⁺	29,0	5,2
K ⁺	28,0	1,3
Mg ²⁺	13,0	3,4

В настоящее время усиливается влияние антропогенных факторов на гидросферу. Происходит **загрязнение вод(ы)** - привнесение в воду или образование (синтез, размножение и т.п.) в ней физических, химических или биологических агентов, неблагоприятно воздействующих на среду жизни или наносящих урон материальным ценностям.

Основными источниками загрязнения природных вод являются:

1. *Атмосферные воды* (осадки), несущие большое количество вымываемых из воздуха загрязняющих ингредиентов промышленного происхождения. При стекании по склонам атмосферные и талые воды дополнительно смывают с поверхности почвы поллютанты. В городских условиях потоки воды несут большое количество нефтепродуктов, фенолов, кислот, высокотоксичных элементов, мусора и т.п.

2. *Городские сточные воды*, которые содержат, в основном, бытовые стоки – растворенные фекальные массы, детергенты (поверхностно-активные моющие средства), разнообразные, в том числе и патогенные, микроорганизмы.

3. *Промышленные сточные воды* всех отраслей производства, которые содержат большое количество элементов и веществ, обладающих различной степенью ядовитости и канцерогенности.

4. *Сельское хозяйство*, в котором при нерациональном (в основном избыточном) внесении удобрений и пестицидов по-

следние смываются с полей и даже проникают в грунтовые воды.

Попадают в водные источники и *органические удобрения* (отходы животноводства) – навоз, подстилка, мочевина. Эти отходы не ядовиты, но массы их огромны.

Экологические последствия (загрязнения вод) – нарушение биогеохимических циклов веществ, снижение биологической продуктивности при деградации водных экосистем. При этом оценивается реакция популяций и сообществ на антропогенный стресс, которая проявляется в изменении структурных (видовой состав, его разнообразие, биомасса популяций, их пространственное и временное распределение) и функциональных характеристик (первичная продукция, микробиологическая активность, трофические связи в сообществе). Специфика водной среды такова, что наиболее опасным является длительное воздействие загрязнения в малых дозах, приводящее к постепенному накоплению в среде загрязняющих веществ и в конечном итоге к деградации экосистем. Загрязнение вод органическими веществами воздействует на абиотические и биотические факторы как в проточных водах (реки), так и в больших стоячих водоемах (озера, замкнутые моря). В проточных водах слив отходов, богатых органическими веществами, вызывает полное нарушение экосистемы. *При этом образуются четыре зоны, которые следуют одна за другой вниз по течению:*

1) зона деградации, где воды реки смешиваются с загрязнителем;

2) зона активного разложения, где грибы и бактерии, аэробные, а затем и анаэробные, размножаются и разрушают органическое вещество;

3) зона восстановления, где постепенно происходит очистка воды и восстановление ее начальных характеристик;

4) зона чистой воды. В результате активного развития сапрофитных микроорганизмов в зоне разложения резко падает концентрация растворенного кислорода и снижается численность водорослей. Вспышка автотрофов (сине-зеленые водоросли *Oscillatoria*, зеленые *Ulothrix* и др.) происходит в третьей зоне в результате появления нитратов и фосфатов, извлекаемых

микроорганизмами-деструкторами из загрязняющих органических веществ. Когда удаление растворенного и взвешенного загрязняющего вещества заканчивается и восстанавливаются начальные условия, вновь появляется фитоценоз чистой воды. Нарушения речных зооценозов – гораздо резче, так как никакие животные чистой воды не могут выжить в зараженной зоне. Экологические последствия загрязнения вод стоячих водоемов обусловлены их эвтрофикацией. Обогащение вод питательными элементами вызывает интенсивное развитие, т.е. увеличение численности и биомассы водорослей, что, в свою очередь, обуславливает возрастание численности и биомассы микроорганизмов, простейших, зоопланктона, мейофауны бентоса. Это приводит к увеличению мутности воды, что уменьшает слой фотосинтеза. В воде накапливается большое количество мертвой органики, разложение которой способствует истощению кислорода в нижних слоях воды. В результате изменения окружающих условий снижается видовое разнообразие сообществ, когда чувствительные виды исчезают, а численность индикаторных микроорганизмов увеличивается. Например, в Балтийском море (импактная экосистема) в 1980-х гг. отмечено массовое распространение 5 родов сапрофитных бактерий, тогда как в Беринговом море (фоновая экосистема) – свыше 10 родов. На последней стадии дистрофикации отмечается начало анаэробного брожения после полного исчезновения кислорода в глубинных слоях воды. Дистрофикация вод принимает автокаталитический характер. Грунты и грунтовые растворы приобретают восстановительные свойства, при этом из железоорганических соединений выделяются фосфаты. Растворение фосфатов вызывает новые "вспышки" фитопланктона и, следовательно, новый избыток органической материи. Это приведет к полному разрушению экосистемы. Загрязнение вод токсичными соединениями приводит к подавлению жизнедеятельности и гибели чувствительных к данному токсиканту организмов. Например, ДДТ и другие инсектициды тормозят фотосинтез у фитопланктона. Кроме того, пестициды оказывают сильное отрицательное воздействие на биоценозы вследствие способности концентрирования их в пищевых цепях. Благодаря гомеостазу антропогенные

нарушения на первом этапе сложно отличить от естественных вариаций природных процессов (сезонные и межгодовые колебания гидродинамических условий, климатические изменения, циклы развития биоты и др.). Поэтому для выявления негативных загрязнения вод требуются долгопериодные исследования состояния водных экосистем с применением междисциплинарного подхода в импактных и фоновых районах.

Динамичность океанической среды, совокупность постоянно действующих важнейших физических явлений определяют *характерные черты современной экологической ситуации в Мировом океане.*

1. Перенос техногенных примесей интенсивными течениями на большие расстояния, а также в открытые районы океана и поражение наиболее ранимых экосистем океанической среды, например, экосистем коралловых рифов, апвеллингов, северных и других на ранних стадиях их развития.

2. Возникновение полей хронического загрязнения в областях схождения разнородных водных масс, структурных течений, в эстуарийных зонах и зонах квазистационарных круговоротов. Эти районы, а также легкорастворимые экосистемы могут быть условно отнесены к экологически напряженным зонам Мирового океана.

3. Переносы технических примесей в более глубокие слои океана, их накопление в морских организмах и во взвешенном органическом веществе. Такие явления приводят к образованию критических концентраций нефтяных, хлорированных углеводородов и токсических металлов в прибрежных районах, а также в отрытых зонах океана вследствие большой зависимости элементов экосистемы от крупномасштабной циркуляции.

Загрязнение океана связано, главным образом, с поступлением на его акваторию огромного количества антропогенных вредных веществ (ТМ, хлорорганические соединения, нефтяные углеводороды, радионуклиды и др.). Степень воздействия на экосистему океана зафиксирована в табл. 2.14, где видна доля антропогенного вклада в загрязнение океана приоритетными токсикантами.

Таблица 2.14

**Антропогенная нагрузка на океан по приоритетным
загрязняющим веществам (по Израэлю и др., 1989)**

Загрязняющее вещество	Сток, т/год		Доля антропогенного стока (%)
	естественный	антропогенный	
Свинец	$1,8 \cdot 10^5$	$2,1 \cdot 10^6$	92
Ртуть	$3,0 \cdot 10^3$	$7,0 \cdot 10^3$	70
Кадмий	$1,7 \cdot 10^4$	$1,7 \cdot 10^4$	50
Нефть	$6,0 \cdot 10^5$	$4,4 \cdot 10^6$	88
ПХБ	-	$8,0 \cdot 10^3$	100
Пестициды	-	$1,1 \cdot 10^4$	100

В настоящее время в океан ежегодно поступает более 30000 различных химических соединений в количестве до 1,2 млрд т. Основные пути попадания загрязняющих веществ в моря показаны на рис. 2.6. Это прямой сброс, поступление токсикантов с речным стоком и из атмосферного воздуха, в результате уничтожения отходов в море, а также морским транспортом и во время аварий танкеров.

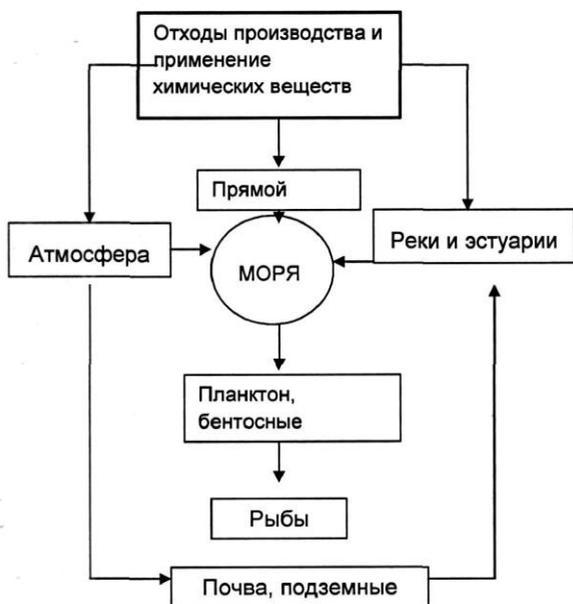


Рис. 2.6. Пути попадания загрязняющих веществ в моря (Окружающая среда, 1993)

Загрязнение атмосферы – привнесение в воздух или образование в нем физических агентов, химических веществ или организмов, неблагоприятно воздействующих на среду жизни и наносящих урон материальным ценностям.

Масштаб возмущений, вносимых человеком в окружающую среду, стал сопоставимым с действием сил самой природы, а в ряде случаев даже стал превышать их. В качестве примера в табл. 2.15 приведено сравнение выбросов в атмосферу тяжелых металлов в результате техногенных и природных (прежде всего в результате выветривания, извержения вулканов и лесных пожаров) процессов.

Таблица 2.15

Сравнение совокупного (полного) выделения редких металлов в атмосферу согласно двум последним сводкам, тыс. т. в год (по Коптюг, 2006)

Элемент	Естественный	Искусственный
---------	--------------	---------------

Сурьма	2,6	3,5
Мышьяк	12,0	19,0
Кадмий	1,4	7,6
Хром	43,0	31,0
Медь	28,0	35,0
Свинец	12,0	332,0
Марганец	317,0	38,0
Ртуть	25	3,6
Никель	29,0	52,0
Селен	10,0	6,3
Ванадий	28,0	86,0
Цинк	45,0	132,0
*Nriagu, 1990		

Загрязнение атмосферы может быть *естественным* (природным) и *антропогенным* (техногенным).

Антропогенные факторы определяют существенные изменения в нормальном функционировании атмосферы, причем как в самых нижних, так и в высотных ее частях. Имеется множество различных источников антропогенного характера, вызывающих загрязнение атмосферы, а вместе с тем и серьезные нарушения экологического равновесия в биосфере.

Антропосфера – это международное сообщество людей, на ранних стадиях развития человечества состоящее из различных цивилизаций, но неукоснительно преобразующихся в единую планетарную цивилизацию землян, естественно развивающуюся в ограниченном пространстве планеты, участвующую в круговороте веществ и энергии, совершенствующую эколого-социальные ниши за счет развития техносферы и оптимизации использования природных ресурсов, с учетом разработок мероприятий по охране биоразнообразия, регенерации и санации техногеннонарушенных открытых систем для обеспечения поступательного развития биологической жизни на Земле.

Техносфера – термин, употребляемый рядом исследователей для характеристики части биосферы, разрушенной и коренным образом преобразованной людьми с помощью прямого или косвенного воздействия технических и техногенных объектов (здания, дороги, механизмы, предприятия и т.п.) в целях наилучшего соответствия социально-экономическим (но не эко-

логическим) потребностям человечества. Таким образом, техносфера является частью специфически преобразованной биосферы в начальный период формирования ноосферы. На основе субстационального и функционального подходов в техносфере может быть выделено несколько субсфер. Субсфера "А" (артефакты – продукты человеческого труда). Все артефакты (строительные детали, машины, одежда, посуда, книги и т.п.) *сделаны из следующих материалов:*

- 1) искусственных горных пород;
- 2) обработанного естественного камня;
- 3) металлов;
- 4) переработанного органического вещества (пиломатериалы, натуральные ткани, бумага, натуральная кожа и т.п.);
- 5) синтезированных материалов (пластмассы, полимеры и др.). Кроме того, к субсфере "А" относятся минеральные удобрения и активные вещества (взрывчатые вещества, радионуклиды, фармацевтические средства и т.п.).

Субсфера "Т-1" (топливо). В каждый конкретный момент времени значительная масса "пищи промышленности" – угля, нефти, газа и др., соответствующим образом подготовленная для участия в производственных процессах (коксование угля, крекинг нефти и т.п.), пребывает в различных техногенных системах.

Субсфера "Т-2" (технолиты). В XX в. деятельность человека как прямого рельефообразующего агента достигла кульминации. Обсуждая этот вопрос, Л.Л. Розанов выделил два типа техногенного рельефа – *гипорельеф* и *гиперрельеф*. В первом случае имеются в виду скульптурные формы: карьеры, шахты, каналы и т.п. Во втором случае деятельность человека приводит к подъему уровня земной поверхности. Ее результат – терриконы и площадные отвалы пустой породы, земляные плотины, насыпи железных и автомобильных дорог, намывные и насыпные террасы, искусственные острова и т.п. *Особо отметим медленно формирующийся культурный слой в городах.* Для грунтов, слагающих формы гиперрельефа, Л.Л. Розанов предложил термин "*технолит*".

Субсфера "П" (пища). В состав техновещества Р.К. Баландин включает также биомассу культивируемых растений и животных. С этим нельзя не согласиться. В процессе длительной селекции культурные виды изменились самым радикальным образом. Те органы растений, которые использует человек, сильно гипертрофированны. Достаточно вспомнить, что дикие предки кукурузы имели початки размером всего 3–4 см, а плоды диких томатов были размером с черешню. Выведены растения с бессеменными плодами, что означает самоубийственно с точки зрения эволюции. Но в них заинтересован человек, и он сумел "навязать свою волю". Как курьез можно упомянуть выведенные в Калифорнии сорта томатов с плодами кубической формы. При их перевозке более полно используется объем тары. Домашние животные (в разной степени) низведены до положения составных частей производственных систем. Они живут "запрограммированной" жизнью (машинная дойка, механизированная раздача кормов на фермах, добавки в корма стимуляторов роста, кастрация, искусственное осеменение и т.п.). Обитатели зоопарков живут в условиях ненатуральной среды и гиподинамии. При рождении в неволе в процессе смены поколений ослабевают врожденные рефлексы. Генная инженерия открывает перспективы появления совершенно новых (в буквальном смысле слова техногенных) видов организмов, например, гибрида томата с картофелем. На Всемирной выставке 1985 г. в Цукубе (Япония) всеобщее внимание привлекло "томатное дерево" на гидропонике с кроной диаметром 15 м. За время работы выставки с него собрали не менее 10 тыс. плодов. Различия в степени техногенных изменений у разных видов и в пределах одного вида очень велики (достаточно сравнить голландских и индийских коров), и в будущем "отехнение" культурных видов, безусловно, будет возрастать. Начинает осуществляться идея создания электронных ферм конвейерного типа с автоматическим доением и кормлением, с компьютерной регистрацией количества и качества молока, полученного от каждого животного. Компьютер анализирует эти сведения и в случае необходимости выдает рекомендации по изменению режима и рациона, выбраковке и т.п. В растениеводстве придет время фитотронов с автоматической

регуляцией по командам с компьютеров: температуры, освещенности, газового состава воздуха, водного режима, добавок удобрений и т.п., может быть даже с включением звукозаписей (в печати были сообщения о том, что будто бы классическая музыка благотворно действует на рост растений). Но и некультивируемые виды тоже находятся под непреднамеренным и преднамеренным (пестициды) воздействием техногенеза и становятся иными.

Живое вещество Земли в целом "находится на пороге изменения своего химического строения, особенно по отношению к микроэлементному строению". Мировое производство пищевых и технических культур составляет около 7 млрд т/год, а с учетом непоедаемых частей растений и животных возрастает до 14 млрд т/год, что составляет около 0,16% от годовой продуктивности биосферы Земли.

Субсфера "О". При сжигании ископаемого топлива в атмосферу ежегодно поступает около 22 млрд т углекислоты; выбрасываются также оксиды серы, азота, летучая зола и пр. Годовой объем бытовых и промышленных сточных вод близок к 700 км. Твердые производственные отходы представлены в первую очередь пустой породой, ежегодная масса которой достигла 200 млрд т. Поскольку твердые отходы слагают формы гиперрельефа, их удобнее рассматривать в рамках субсферы "Т-2".

Визуально техносфера ассоциируется прежде всего с обликом большого современного города с его вертикальными гранями, асфальтированными поверхностями и транспортными потоками. Города соединены техногенными линейными элементами – дорогами. Эта сеть "наброшена" на материке. Двадцать лет назад к проблеме "сколько весят города?" обратился М.И. Хазанов. Его исходные допущения были такими. На одного горожанина приходится 8 м жилой площади, причем 1 м жилья весит 2,8 т. Кроме того, на него приходится еще 10 т общественных зданий (магазины, школы, поликлиники и пр.) и 7,5 м улиц и площадей с твердым покрытием. Подобные нормативы были приняты и для сельской местности. Оказалось, что на начало 1964 г. общий вес домов в городах и селах мира составил 54,8 млрд т. При экстраполяции к шестимиллиардному населению Земли в конце XX

в. полученная цифра возрастает до 100 млрд т (с округлением). Погрешности этих подсчетов велики. Не учтена масса промышленных, спортивных, культурных сооружений, офисов, вузов, мостов; не приняты во внимание второе жилище и культурный слой городов. В целом полученные цифры представляются преуменьшенными.

Оценку техномассы субсферы "А" можно определять по объему добычи нерудных ископаемых, служащих сырьем для производства стройматериалов. Это камень (в основном в виде щебня), песок, гравий, гипс, глина. Глобальная техномасса субсферы "А" может быть определена на основе данных о мировом производстве цемента, кирпичных глин, песка и гравия начиная с 1930 г. К сожалению, не весь этот период обеспечен статистическими данными, что вынуждает прибегать к экстраполяции. Для отдельных этапов американская статистика приводит величину процентного вклада США в мировую добычу тех или иных нерудных ископаемых. Например, в 1984–1993 гг. было добыто 23% индустриальных плесков и гравия. Косвенные оценки мировой добычи песка и производства щебня могут быть сделаны по отношению протяженности мировой дорожной сети к американской (табл. 2.16). Как для железных, так и для автомобильных дорог это отношение равно 4:1.

Таблица 2.16

Добыча некоторых видов нерудных ископаемых в США и во всем мире в 1930–1993 гг., млн т

Нерудные ископаемые	США	Мир
Песок и гравий	35585,1	35585-4=142340,4
Глина	2140,5	2140,5-4=29967,0
Щебень	35472,0	35472,0-5 = 177360,0
Гипс	445,3	2800,0
Штучный камень	96,5	965,0
Всего:	73739,4	353432,4

Эти и другие цифры, которые за недостатком места здесь не приводятся, позволили снабдить данные табл. 2.16 соответствующими множителями и определить мировую добычу ряда нерудных ископаемых в 1930–1993 гг. Ориентировочно опреде-

лена также масса материала, прошедшего через техногенный метаморфизм и диагенез (правая часть табл. 2.17).

Таблица 2.17

Техногенные горные породы, продуцированные в 1930–1993 гг., млн т

Техногенные горные породы	США	Мир
Бетон	20745,0	143463,7
Керамика	1070,0	14980,0
Стекло	720,0	3510,0
Известковые растворы	2500,0	12500,0
Асфальтовые смеси	Не менее 670,0	Не менее 2680,0
Асбестцемент		280,0
Всего:	25705,6	177413,7

Разность итоговых цифр табл. 2.16 и 2.17 говорит о том, что в глобальных масштабах половина рассматриваемых нерудных ископаемых была использована в непереработанном виде – при отсыпке полотна автострад, в качестве балласта на железных дорогах, при строительстве плотин, а также при агромелиорациях (известкование почв), в металлургии (формовочные пески, известковые и доломитовые флюсы) и в ряде других производств. В США этот показатель выше и равен 2/3, что отражает размах дорожного строительства. Итоговая цифра в правой части табл. 2.17 должна считаться преуменьшенной по причине отсутствия статистики строительства из необожженного кирпича (самана). Масштаб его производства и потребления охарактеризован в Большой советской энциклопедии (2-е изд.) как "громадный, не поддающийся учету". Действительно, в 1984 г. в глинобитных жилищах проживало 1,5 млрд чел. (30% населения Земли в то время). В развивающихся странах в них жила тогда половина населения: большая часть сельских и около 20% городских жителей. В настоящее время в смесь, предназначенную для изготовления самана, добавляют 2–3% цемента, что ускоряет процесс изготовления кирпича и делает его более прочным. Возможно, что масса жилых и общественных зданий, построенных из самана, составляет примерно 15 млрд т. Ориентировочно массу техногенных пород, продуцированных до 1930 г., можно

оценить в 70 млрд т. Эта цифра включает 93 египетские пирамиды, Великую Китайскую стену, античные и средневековые города и др. В 1935–1995 гг. использовано 10,2 млрд т древесины, включая деревянные дома, деревянные детали каменных домов, мебель и пр.

В 1930–1993 гг. во всем мире было добыто 31,5 млрд т железной руды. При среднем содержании металла в руде не менее 54% в мировой металлофонд поступило 17 млрд т железа. Если принять, что 93% металлофонда представлены железом возрастом не более 20 лет, то получим величину 9,1 млрд т. Но с металлом, восстановленным из руд, должна быть суммирована сталь, полученная за те же 20 лет при переплавке лома. Это дает ежегодно около 300 млн т вторичного металла. Таким образом, мировой металлофонд железа составит 15,1 млрд т. С учетом производства других металлов и запасов нереализованного лома мировой металлофонд возрастет до 17 млрд т. Таблица 2.18 содержит сведения о суммарной массе субсферы "А".

Масса технолитов и твердых отходов, аккумулированных в течение 150–200 лет до 1962 г. и в 1962–1994 гг, составляет около $7,5 \cdot 10^{12}$ т. Определить ее для более раннего этапа затруднительно из-за недостаточности данных. Таким образом, остались количественно не охарактеризованными римские оборонительные валы – лимесы, терпы (искусственные холмы) и плотины средневековой Голландии, отвалы пустой породы античных и средневековых рудокопов и др. Общая масса субсфер "А", "Т-2" и "О" равна $7,8 \cdot 10^{12}$ т. Она превышает планетарную биомассу, равную в живом весе $6,5 \cdot 10^{12}$. В ближайшие десятилетия этот перевес будет быстро возрастать.

Таблица 2.18

Техномасса субсферы "А", млрд т

Техногенные горные породы и обработанный естественный камень (продукция 1930–1993 гг.)	177
То же до 1930 г.	70
Саман	15
Минеральные удобрения	5
Строительная древесина	11
Мировой металлофонд	17
Обработанное органическое вещество	5

Синтезированные материалы	5
Активные вещества	около 0,02
Всего:	305

Для распределения техновещества характерна большая пространственная дифференциация. Даже на пороге XXI в. около трети площади суши (48 млн км) не имеет явных следов деятельности человека. Техновещество аккумулировано в основном в районах селитебного и горно-промышленного освоения, площадь которых к 2000 г. достигла более 6 млн км (4% площади суши). В городах величина техномассы, приходящейся на единицу площади, постоянно увеличивается по причине роста этажности зданий, накопления культурного слоя и освоения подземного пространства.

К основным источникам антропогенного загрязнения относятся: промышленные предприятия, транспорт, теплоэнергетика, сельское хозяйство и др. Среди отраслей промышленности особенно токсичные выбросы в атмосферу дают предприятия черной и цветной металлургии, химической, нефтехимической, деревообрабатывающей, целлюлозно-бумажной промышленности и т.д.

Относительный вклад различных отраслей промышленности (например, Российской Федерации) в загрязнение атмосферы представлен на рис. 2.7.

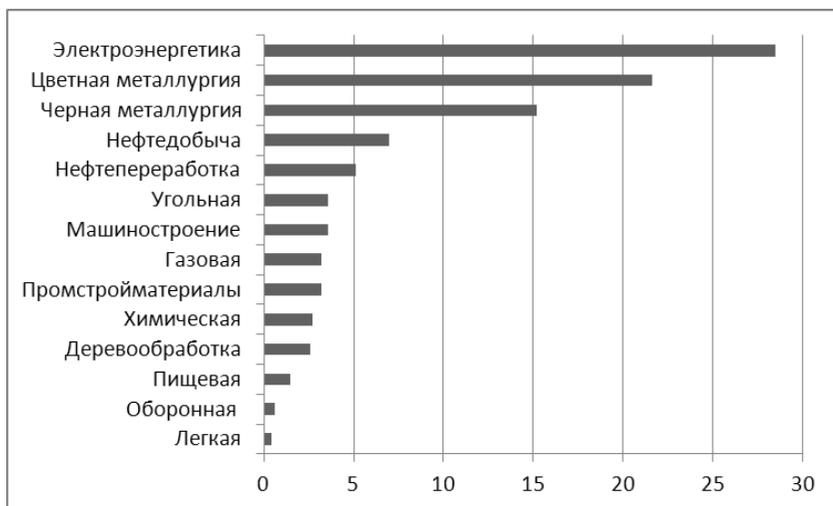


Рис. 2.7. Доля отраслей промышленности Российской Федерации в выбросах загрязняющих веществ в атмосферу, %
(Акимова и др., 2001)

Большинство исследователей признают лесные пожары одним из самых мощных факторов преобразования всех компонентов биосферы. Многочисленными исследованиями показано, что **лесные пожары** играют огромную роль в процессах мобилизации многих химических веществ (оксиды углерода, серы и азота, углеводороды, тяжелые металлы и другие вредные вещества). Сгорание только лесной подстилки на 1 га сопровождается образованием 890 кг золы.

Количество пыли и аэрозолей, ежегодно поставляемое в атмосферу лесными пожарами, вполне сопоставимо с выбросами вулканов (20-150 и 10-200 млн т соответственно). Изучение лесных пожаров в 1997-2001 гг. в различных регионах нашей планеты показало, что загрязнение атмосферы CO_2 , CO, CH_4 и другими газами было обусловлено крупномасштабными пожарами в значительно большей степени, чем горением ископаемого топлива и биотоплива, окислением метана и летучих органических веществ.

За пожарный период только в Сибири в год сгорает около 20 млн т биомассы, что сопровождается выбросом в атмосферу

2 млн тонн продуктов горения. В состав выбросов входит 50% газообразных веществ, 25% сажи, 20% золы и 5% смолы.

Если учесть, что в подстилках содержится (г/т): Cd – 0,384, Hg – 0,131, Pb – 23,5, Mn – 646, Zn – 67,8, Sb – 0,35, ^{90}Sr – 30 Бк/кг, ^{137}Cs – 116 Бк/кг. $^{239+240}\text{Pu}$ – 1,93 Бк/кг, то суммирование данных по всем пожарищам Сибири показывает, что в среднем вынос ^{137}Cs составляет 43,8%, ^{90}Sr – 30%, Pu – 19%, Hg – 41,5%, Cd – 34,1%, Pb – 14,5%, Mn – 25,7%, Sb – 30,8%, Zn – 19%.

В 1997 г. в Алтайском крае пожарами было вынесено в атмосферу количество радиоцезия с активностью около $7,6 \cdot 10^{10}$ Бк/кг (или 2,1 Ки), ртути – 82 кг, кадмия – 197 кг, свинца – 250 тонн, цинка – 19,5 т, сурьмы – 163 кг, радистронция – с активностью $1,5 \cdot 10^{10}$ Бк/кг (или 0,4 Ки), плутония – $5,5 \cdot 10^8$. Если учесть, что ежегодно в бореальных лесах России пожарами охватывается от 5 до 12 млн га, то полученные выше цифры для ленточных боров следует увеличить примерно в 40-80 раз. В таком случае оценка выноса радиоцезия из лесных пожарищ может достигать значения от 80 до 160 Ки, ртути – от 3,3 до 6,5 т, кадмия – от 8 до 16 т, свинца – от 200 до 400 т и т.д. Есть все основания считать эту оценку минимальной, поскольку в основе ее лежат данные только по лесным подстилкам (Валендик, 1996; Пазухин, Боровой и др., 2004; Щербов и др., 2008; 2011; 2012).

Загрязнение окружающей среды (антропогенное) – поступление веществ и энергии в окружающую среду в результате хозяйственной деятельности, приводящее к ухудшению эколого-санитарного состояния ОС. Катастрофическое загрязнение ОС ставит под угрозу здоровье людей и экономические интересы общества.

Загрязнением в узком смысле считается привнесение в какую-либо среду новых, не характерных для нее физических, химических и биологических агентов или превышение естественного среднесуточного уровня содержания этих агентов в среде. В «Толковом словаре по охране природы» (1995) дается такое определение: *загрязнение* – все то, что находится не в том месте, не в то время и не в том количестве, какое естественно для природы, что выводит ее системы из состояния равновесия и отличается от обычно наблюдаемой нормы. Загрязнение мо-

жет быть вызвано любым агентом (загрязняющим веществом), в том числе самым чистым. Загрязнение может возникать как в результате естественных причин (природное), так и под влиянием деятельности человека (антропогенное).

С экологических позиций загрязнение означает не просто привнесение чуждых компонентов. В любом случае объектом загрязнения является элементарная структурная единица биосферы – биогеоценоз. Наличие чужеродных веществ обуславливает изменение эволюционно сложившихся режимов экологических факторов, что приводит к нарушению обменных и продукционных процессов, а следовательно, и к падению продуктивности биогеоценозов в целом. Загрязнение представляет собой комплекс «помех» в экологических системах, приводящий к их деградации.

С экологической точки зрения сущность загрязняющих воздействий более точно отражает определение, сформулированное Г. В. Стадницким и А. И. Родионовым (1988): *загрязнение окружающей среды* есть любое внесение в ту или иную экологическую систему (биогеоценоз) не свойственных ей живых или неживых компонентов или структурных изменений, прерывающих круговорот веществ, их ассимиляцию, поток энергии, вследствие чего снижается продуктивность данной экосистемы или она разрушается.

Заслуживает внимания и более широкое толкование термина «загрязнение», содержащееся в докладе комиссии Белого дома (США, 1965) «Чтобы восстановить качество окружающей среды»: *«Загрязнение есть неблагоприятное изменение окружающей среды, которое целиком или частично является результатом человеческой деятельности, прямо или косвенно меняет распределение приходящей энергии, уровни радиации, физико-химические свойства окружающей среды и условия существования живых существ. Эти изменения могут влиять на человека прямо или через сельскохозяйственные ресурсы, через воду или другие биологические продукты (вещества). Они также могут воздействовать на человека, ухудшая физические свойства предметов, находящихся в его собственности, условия отдыха на природе и обезобразивая ее саму».*

В соответствии с материалами Международной конвенции об оценке воздействия на окружающую среду в трансграничном контексте (1991) **к экологически опасным отнесены следующие виды производств и объектов:**

- атомная промышленность (установки, предназначенные для производства обогащенного ядерного топлива, регенерации отработанного ядерного топлива или сбора, удаления и переработки радиоактивных отходов);
- энергетика (атомные, гидравлические и тепловые электростанции, крупные установки для сжигания топлива);
- черная и цветная металлургия (установки для доменного и мартеновского производств, предприятия черной и цветной металлургии, машиностроительные и металлообрабатывающие предприятия);
- нефтехимия, нефте- и газопереработка;
- химическая промышленность (химические комбинаты, производство асбеста, стекла, минеральных удобрений, пестицидов и др.);
- добыча полезных ископаемых (включая нефть и газ);
- транспортировка нефти и газа, продуктов их переработки;
- производство целлюлозы, бумаги, картона;
- транспортировка, хранение, утилизация и захоронение токсичных и ядовитых отходов;
- производство, хранение, транспортировка и уничтожение боеприпасов, взрывчатых веществ и ракетного топлива;
- крупные склады для хранения нефтяных, нефтехимических, химических продуктов, пестицидов;
- строительство дорог, автострад, трасс для железных дорог дальнего сообщения, аэропортов с длиной посадочной полосы более 2 км;
- сельскохозяйственные объекты (животноводческие комплексы и птицефабрики, мелиоративные системы);
- крупные водозаборы поверхностных и подземных вод;
- крупные плотины и водохранилища, вырубка лесов на больших площадях;

- легкая промышленность (фабрики по очистке, отбеливанию шерсти, кожевенные заводы, красильные фабрики).

Кроме указанных стационарных источников возможных негативных воздействий на окружающую природную среду, несомненную экологическую опасность особенно в больших городах представляет *автотранспорт*, газодымные выбросы которого, возрастая с каждым годом, составляют значительную долю поступающих загрязнений.

Центральное положение почвы в экосистеме и возможные пути поступления в нее химических загрязняющих веществ иллюстрирует рис. 2.8.

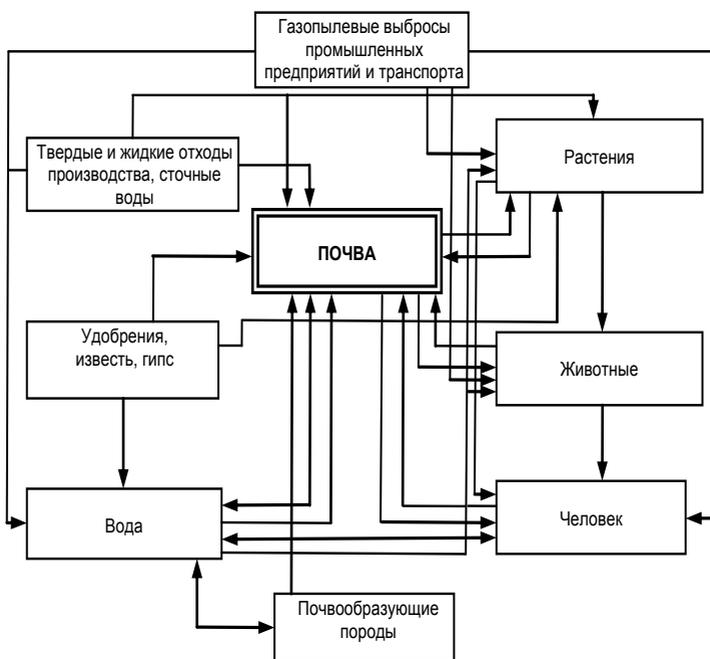


Рис. 2.8. Центральное положение почвы в экосистеме и возможные пути поступления в нее химических загрязняющих веществ

Загрязняющее вещество (син. поллютант) – любой физический или информационный агент, химическое вещество или

биологический вид, попадающий в окружающую среду или возникающий в ней в количествах, выходящих за рамки обычного содержания предельных естественных колебаний или среднего природного фона в рассматриваемое время.

Повышенные концентрации химических веществ в окружающей среде оказывают специфическое и неспецифическое влияние на живые организмы.

Специфическое действие обусловлено участием химических элементов в определенных биохимических реакциях в конкретных видах живых организмов. Проявляется оно, как правило, при резком дефиците или при воздействии высоких концентраций этих элементов. *Неспецифическое* влияние наблюдается в тех случаях, когда длительное действие малых концентраций химических веществ вызывает у живых организмов обострение болезней, вызванных причинами, не связанными с нарушением биохимических процессов, протекающих с участием этих веществ. Они усугубляют действие прямых источников болезни, что ведет к обострению хронических болезней, к нарушению функционирования системы в ее наиболее слабом звене.

Виды специфического действия химических веществ на живые организмы разнообразны. Они оказывают:

1) *канцерогенное влияние*, т.е. вызывают злокачественные образования. Различают истинные канцерогены, канцероподобные, коканцерогенные вещества. К *истинным* канцерогенам относятся те, которые непосредственно ведут к злокачественной трансформации клеток в живых организмах. Такой способностью обладают полиароматические углеводороды, нитрозосоединения и один из самых сильных канцерогенов - бензопирен. *Проканцерогены* - вещества, метаболиты которых оказывают канцерогенное действие. *Коканцерогены* - вещества, которые оказывают влияние на развитие злокачественного процесса (смолы, кротоновые масла, эмульгаторы, фенолы, некоторые фракции табачного дыма и перегретых жиров);

2) *тератогенное действие*, с которым связаны пороки индивидуального развития, а также уродства в различных организмах. Эти изменения могут наблюдаться на уровне индивидуума, но могут быть закреплены и на генетическом уровне (опре-

деленного вида клеток или генотипа организма в целом). Примером могут служить гигантизм или карликовость растений в зоне геохимических аномалий. Наличие морфологических изменений растений используется при поиске металлических руд в регионе. Тератогенный эффект может вызвать избыток, недостаток элементов в окружающей среде или нарушение их соотношения. Он может быть спровоцирован также ксенобиотиками, например, пестицидами;

3) *эмбриотропное действие* (применительно к позвоночным животным его называют бластогенным), состоящее в нарушении развития эмбриона и, вследствие этого, возникновении уродств, различных аномалий живых организмов. Под влиянием алкоголя, свинца, ртути, недостаточно изученных лекарственных препаратов возможны внутриутробные пороки плода на разных стадиях его развития и даже гибель. Примером может быть лекарственный препарат талидомид, который был рекомендован как снотворное средство, но вскоре был запрещен, так как вызывал заболевание нервной системы, общую задержку роста, кожные язвы;

4) *аллергическое действие* состоит в нарушении реакции организмов на повторное воздействие на них микробов, чужеродных белков, которое ведет к снижению иммунитета. Вызывают различные вещества природного и техногенного происхождения. Иллюстрирует примеры токсичности химических веществ табл. 2.19

Таблица 2.19

Эффекты избирательной токсичности для человека повышенных концентраций загрязняющих веществ (OECD, Paris, 1991)

Элемент	Заболевание
Мышьяк	Рак легких, кожные болезни, включая изъязвление, гематологические эффекты, включая анемию
Бериллий	Дерматиты, воспаление слизистых оболочек

Окончание табл. 2.19

Кадмий	Острые и хронические респираторные заболевания, почечная дисфункция, злокачественные образования
Хром	Рак легких, злокачественные образования в желудочно-

	кишечном тракте, дерматиты
Свинец	Нарушения кроветворения, повреждение печени и почек, неврологические эффекты
Ртуть	Воздействие на нервную систему (включая краткосрочную память), нарушение сенсорных функций координации, почечная недостаточность
Элемент	Заболевание
Никель	Респираторные заболевания, включая астму, нарушение дыхательной защитной системы, поражение плода и уродства
Таллий	Биоаккумуляция, токсичность по отношению к растениям и животным
Ванадий	Раздражение дыхательных путей, астма, нервные расстройства, изменения формулы крови

Класс опасности химических веществ устанавливается по ряду показателей. Эти показатели определены ГОСТом (табл. 2.20).

Класс опасности устанавливается при его соответствии не менее чем трем показателям из вышеназванных шести. Важнейшим является показатель токсичности ЛД₅₀. Он показывает летальную дозу препарата в мг действующего вещества на 1 кг живого веса, вызывающую гибель 50% подопытных животных.

Таблица 2.20

**Показатели определения класса опасности химических веществ
(ГОСТ 17.4.1.02-83)**

Показатели	Норма для классов опасности		
	1	2	3
Токсичность (ЛД ₅₀)	200	200-1000	> 1000
Устойчивость в почве, месяцы	12	6-12	>6
Устойчивость в растениях, месяцы	3	1-3	<1
ПДК в почве	0,2	0,2-0,5	>0,5
Влияние на пищевую ценность сельскохозяйственных продуктов	Сильное	Умеренное	Нет
Миграция	Сильная	Умеренная	Нет

В 1983 г. в бывшем СССР на основании этих показателей выделено 3 класса загрязняющих веществ (табл. 2.21).

Классы загрязняющих веществ (ГОСТ 17.4.1.02-83)

Класс	Степень опасности	Элементы, вещества
1	Высокоопасные	As, Cd, Hg, Se, Pb, F, Zn, бензопирен
2	Умеренноопасные	B, Си, Ni, Мо, Со, Sb, Cr
3	Малоопасные	Va, Mn, V, W, Sr, ацетофенон

Перечень опасных химических веществ для различных природных сред близок в разных странах. В Программе СКОПЕ (ООН) наиболее опасными элементами названы Cd, Pb, Hg, As. В программе США по окружающей среде контролю в водах подлежат Sb, As, Va, Be, Cd, Cr, Cu, Fe, Zn, Hg, Ni, Ag. В воздухе контролируется содержание As, Be, Cd, F, Pb, Hg, эти же вещества контролируются в почве.

В полной мере оценить меру химической деградации среды возможно лишь при сравнении фоновых уровней химических веществ с реально существующим содержанием экополлютантов в биологических объектах.

Зона техногенного воздействия – территория вокруг промышленного (хозяйственного) объекта, на которую распространяется его воздействие, что выражается в ухудшении состояния воздушной, водной и геологической среды (загрязнение, нарушение баланса вод, естественного ландшафта и др.).

Зона экологического бедствия – территории с очень сильным и устойчивым загрязнением (содержание загрязняющих веществ более чем в 10 раз выше ПДК), разрушительной потерей продуктивности, необратимой трансформацией экосистем, практически исключаящей их из хозяйственного использования. Деградация земель превышает 50% территории.

Зона экологического кризиса – территории с сильным загрязнением (содержание загрязняющих веществ в 5-10 раз выше ПДК), резким снижением продуктивности экосистем. Деградация земель проявляется на 20-50% территории.

Зона экологического риска – территории с повышенным загрязнением (содержание загрязняющих веществ в 2-5 раз выше ПДК), заметным снижением продуктивности экосистем. Деградация земель захватывает 5-20% территории

Индекс(ы) загрязнения - качественная и количественная характеристики загрязнителя (вещества, излучения и т.п.). Комплексный термин, включающий понятия объема, количества вещества-загрязнителя в среде и степени его воздействия на объекты, в том числе человека, соотнесенные со временем или интенсивностью.

Для характеристики различных неблагоприятных воздействий применяют стресс-индексы загрязняющих веществ, отражающие меру экологической опасности:

Загрязняющие факторы	Стресс-индекс
Пестициды	140
Тяжелые металлы	135
Транспортируемые отходы АЭС	120
Твердые токсичные отходы	120
Взвешенные металлы в металлургии	90
Неочищенные сточные воды	85
Диоксид серы	72
Разливы нефти	72
Химические удобрения	63
Органические бытовые отходы	48
Оксиды азота	42
Хранилища радиоактивных отходов	40
Городской мусор	40
Фотохимические оксиданты	18
Летучие углеводороды в воздухе	18
Городские шумы	15
Оксид углерода	12

Загрязнение может быть естественным или антропогенным (например, разлив нефти); загрязнение, приводящее к крайне неблагоприятным последствиям в какой-то сфере хозяйства, для здоровья человека или окружающей природы. **Природное (естественное) загрязнение** – загрязнение среды и определенных ее компонентов, возникшее в результате мощных, катастрофических, превышающих обычные параметры природных процессов (извержение вулканов, самопроизвольный выход

отравляющих веществ в каком-либо районе за счет гниения и т.д.), без какого-либо влияния человека.

Существуют различные **классификации загрязнений** – разделение загрязнителей по градациям и группам, имеющим разное значение для человеческого общества: по происхождению или источникам загрязнения, химическому составу и свойствам, физическим показателям, вредности для людей, природных объектов, отдельных отраслей, объектов хозяйства и т.д.

Качество окружающей среды понимается как степень соответствия среды жизни человека его потребностям, которые характеризуются продолжительностью жизни, мерой здоровья и уровнем заболеваемости людей, стандартизованных для данной группы населения.

Мониторинг окружающей среды – регулярные, выполняемые по заданной программе наблюдения природных сред, природных ресурсов, растительного и животного мира, позволяющие выделить их состояние и происходящие в них процессы под влиянием антропогенной деятельности.

Более конкретная формулировка определения мониторинга предложена академиком РАН Ю.А. Израэлем в 1974 г., в соответствии с которой под **мониторингом состояния природной среды, и в первую очередь загрязнений и эффектов, вызываемых ими в биосфере, подразумевают комплексную систему наблюдений, оценки и прогноза изменений состояния биосферы или ее отдельных элементов под влиянием антропогенных воздействий.**

Программа ЮНЕСКО, принятая в 1974 г., определяет мониторинг как систему регулярных длительных наблюдений в пространстве и во времени, дающую информацию о прошлом и настоящем состояниях окружающей среды, позволяющую прогнозировать изменение ее параметров, имеющих особое значение для человечества. Мониторинг включает следующие *основные практические направления* (рис. 2.9):

- наблюдение за состоянием окружающей среды и факторами, воздействующими на нее;
- оценку фактического состояния окружающей среды и уровня ее загрязнения;

- прогноз состояния окружающей среды в результате возможных загрязнений и оценку этого состояния.

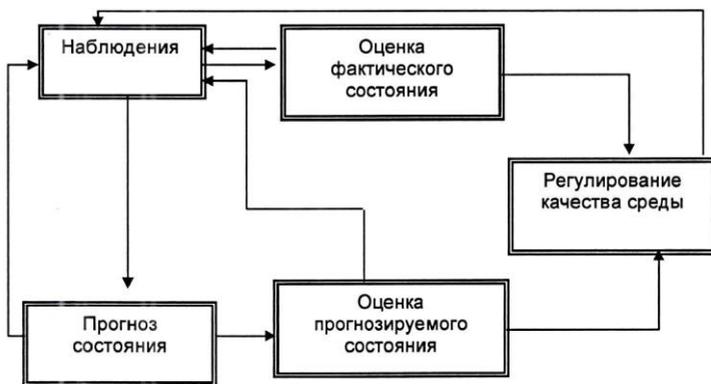


Рис. 2.9. Схема мониторинга (по Израэлю, 1979)

В современной трактовке **экологический мониторинг** – информационная система сбора, анализа и обобщения информации об антропогенном влиянии на состояние окружающей природной среды для предотвращения отрицательных природно-антропогенных эффектов.

Экомониторинг существует для предотвращения кризисов и катастроф во взаимоотношениях между человеком и природой, что достигается проведением экологических наблюдений, выполнением оценок и прогнозов антропогенного воздействия на окружающую среду.

Цель экологического мониторинга – информационное обеспечение предотвращения *отрицательных последствий* изменения окружающей природной среды в результате антропогенного воздействия, использования благоприятных изменений окружающей природной среды для ведения хозяйственной деятельности.

По компонентам природной среды различают атмосферный, воздушный, водный, почвенный, климатический мониторинг, мониторинг растительности, животного мира, здоровья населения и т.д.

По объекту слежения мониторинги обычно классифицируют на фоновый (базовый), импактный, тематический, территориальный, акваториальный. В рамках фонового мониторинга ведутся исследования, направленные на выявление природных закономерностей изменения природных компонентов и комплексов. Под импактным мониторингом понимается наблюдение, оценка и прогноз состояния природной среды в районах расположения опасных и потенциально опасных (АЭС) источников антропогенного воздействия. Тематический мониторинг – мониторинг природных компонентов, объектов, например, лесных или особо охраняемых природных территорий. В значительной мере по явлениям и способам изучения отличается сеть наблюдений на суше и в водной среде.

Существует классификация систем мониторинга по факторам, источникам и масштабам воздействия (рис. 2.10 и табл. 2.22).

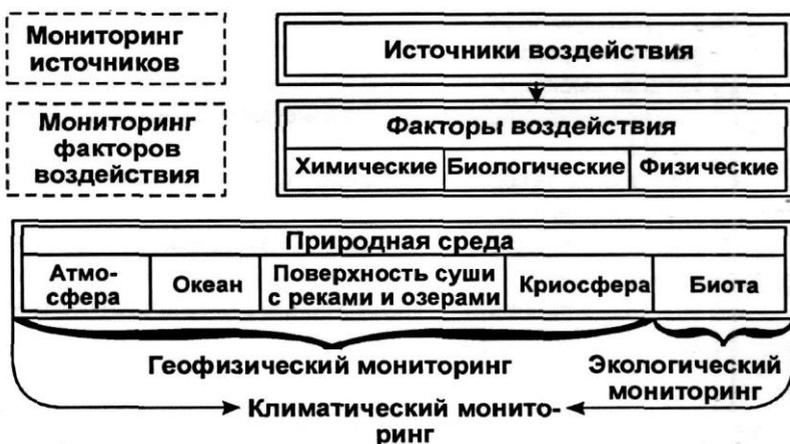


Рис. 2.10. Блок-схема системы мониторинга (Экология и безопасность жизнедеятельности, 2000)

Таблица 2.22

**Классификация систем (подсистем) мониторинга
(Экология и безопасность жизнедеятельности, 2000)**

Принцип классификации	Существующие или разрабатываемые системы (подсистемы) мониторинга
Универсальные системы	Глобальный мониторинг (базовый, региональный, импактный уровни), включая фоновый и палеомониторинг Национальный мониторинг (например, Общегосударственная служба наблюдения и контроля за уровнем загрязнения внешней среды) Межнациональный мониторинг (например, мониторинг трансграничного переноса загрязняющих веществ)
Реакция основных составляющих биосферы	Геофизический мониторинг Биологический мониторинг, включая генетический Экологический мониторинг (включая вышеназванные)
Различные среды	Мониторинг антропогенных изменений (включая загрязнение и реакцию на него) в атмосфере, гидросфере, почве, криосфере и биоте
Факторы и источники воздействия	Мониторинг источников загрязнения Ингредиентный мониторинг (например, отдельных загрязняющих веществ, радиоактивных излучений, шумов и т.д.)
Острота и глобальность проблемы	Мониторинг океана Мониторинг озоносферы
Методы наблюдения	Мониторинг по физическим, химическим и биологическим показателям Спутниковый мониторинг (дистанционные методы)
Системный подход	Медико-биологический мониторинг Экологический мониторинг Климатический мониторинг Варианты: биоэкологический, геоэкологический, биосферный мониторинг

Мониторинг факторов воздействия – мониторинг различных химических загрязнителей (ингредиентный мониторинг) и разнообразных природных и физических факторов воздействия (электромагнитное излучение, солнечная радиация, шумовые вибрации).

Мониторинг источников загрязнений – мониторинг точечных стационарных источников (заводские трубы), точечных

подвижных (транспорт); линейных (транспортные и другие коммуникации); площадных (города, поля с внесенными химическими веществами) источников.

С учетом основных временных аспектов изучения состояния окружающей среды выделяют текущий (исследуется современное состояние), ретроспективный (прошлое экосистем), перспективный (акцент делается на предсказаниях будущих изменений природы) мониторинги.

В зависимости от пространственных масштабов и характеру обобщения информации различают следующие системы мониторинга:

- *глобальный* – слежение за общемировыми процессами и явлениями в биосфере Земли, включая все ее экологические компоненты, и предупреждение о возникающих экстремальных ситуациях;

- *базовый (фоновый)* – слежение за общебиосферными, в основном природными, явлениями без наложения на них региональных антропогенных влияний;

- *национальный* – мониторинг в масштабах государства;

- *региональный* – слежение за процессами и явлениями в пределах какого-то региона, где эти процессы и явления могут отличаться и по природному характеру, и по антропогенным воздействиям от базового фона, характерного для всей биосферы;

- *локальный* – мониторинг воздействия конкретного антропогенного источника;

Классификация систем мониторинга может основываться и *на методах наблюдения* (мониторинг по физико-химическим и биологическим показателям, дистанционный мониторинг).

Физический мониторинг – система наблюдений за влиянием физических процессов и явлений на окружающую среду (наводнения, вулканизм, землетрясения, цунами, засухи, эрозия почв и т.д.).

Химический мониторинг – это система наблюдений за химическим составом (природного и антропогенного происхождения) атмосферы, осадков, поверхностных и подземных вод, вод океанов и морей, почв, донных отложений, растительности, жи-

вотных и контроль за динамикой распространения химических загрязняющих веществ. Глобальной задачей химического мониторинга является определение фактического уровня загрязнения окружающей среды приоритетными высокотоксичными ингредиентами, представленными в табл. 2.23.

Таблица 2.23

Классификация приоритетных загрязняющих веществ и контроль за их содержанием в различных средах (Экология и безопасность жизнедеятельности, 2000)

Класс приоритетности	Загрязняющие вещества	Среда	Тип программы измерений
I	Диоксид серы и взвешенные частицы Радионуклиды (Sr-90, Cs-137)	Воздух Пища	И, Р, Б, Г И, Р
II	Озон ДДТ и другие хлорорганические соединения Кадмий и его соединения	Воздух Биота, человек Пища, человек	И, Б И, Р И
III	Нитраты, нитриты Оксиды азота	Питьевая вода, пища Воздух	И И
IV	Ртуть и ее соединения Свинец Диоксид углерода	Пища, воздух Воздух, пища Воздух	И, Р И Б
V	Оксид углерода Нефтеуглеводороды	Воздух Морская вода	И Р, Б
VI	Фтористые соединения	Питьевая вода	И
VII	Асбест Мышьяк	Воздух Питьевая вода	И И
VIII	Микротоксины Микробиологическое заражение Реактивные углеводороды	Пища Пища Воздух	И, Р И, Р И

Примечание: И – импактный, Р – региональный, Б – базовый, Г – глобальный.

Биологический мониторинг – мониторинг, осуществляемый с помощью биоиндикаторов (т.е. таких организмов, по наличию, состоянию и поведению которых судят об изменениях в среде).

По организационным особенностям наблюдения выделяют международный, государственный, местный, общественный и ведомственный мониторинги. К международному относятся системы оценки прогноза, которые организованы межгосударственными организациями глобального характера, например, ООН или ее агентствами и комиссиями (ЮНЕСКО, ЮНЕП и т.п.). Мониторинг может осуществляться государственными и муниципальными (местными) службами. Наконец, промышленные и сельскохозяйственные предприятия, отрасли ведут ведомственный мониторинг. Экологический мониторинг могут организовать отдельные физические лица, общественные объединения граждан.

Экобиохимический мониторинг – мониторинг, базирующийся на оценке двух составляющих окружающей среды (химической и биологической).

Дистанционный мониторинг – в основном авиационный, космический мониторинг с применением летательных аппаратов, оснащенных радиометрической аппаратурой, способной осуществлять активное зондирование изучаемых объектов и регистрацию опытных данных.

Наиболее универсальным является комплексный экологический мониторинг окружающей среды. Он включает в себя наблюдения, оценку и прогноз изменений состояния окружающей среды под влиянием как природных, так и антропогенных источников, факторов и природно-антропогенных эффектов.

Комплексный экологический мониторинг окружающей среды – это организация системы наблюдений за состоянием объектов окружающей природной среды для оценки их фактического уровня загрязнения и предупреждения о создающихся критических ситуациях, вредных для здоровья людей и других живых организмов.

При проведении комплексного экологического мониторинга окружающей среды: а) проводится постоянная оценка и прогноз экологических условий среды обитания человека и биологических объектов (растений, животных, микроорганизмов и т.д.), а также состояния и функциональной целостности экосистем; б) создаются условия для определения корректирующих

действий в тех случаях, когда целевые показатели экологических условий не достигаются.

Опустынивание (дезертификация) - 1) потеря местностью сплошного растительного покрова с невозможностью его самовосстановления в результате естественного исчезновения или уничтожения; 2) уничтожение или уменьшение биологического потенциала земли, приводящее к возникновению условий пустыни.

Под опустыниванием понимается деградация земель, сопровождающаяся истощением биологических ресурсов, снижением продуктивности природных экосистем, ухудшением здоровья населения. Среди государств Центральной Азии Казахстан по площади, охваченной процессом опустынивания, стоит на первом месте.

Казахстан в 1997 г. подписал Конвенцию по опустыниванию. В республике имеют место все типы опустынивания, описанные в Конвенции (рис. 2.11):

- техногенное нарушение земель и деградация растительности;
- засоление, дегумификация, водная и ветровая эрозия почв;
- химическое загрязнение почв, грунтовых и поверхностных вод;
- нарушение гидрологического режима.

В Республике Казахстан 12 млн га площади подвержено ветровой, 5 млн га – водной и 500 тыс. га – ирригационной эрозии. 63 млн га пастбищ в различной степени подвержено деградации и потеряли продуктивность. Земли промышленности, транспорта и связи, обороны составляют 17,3 млн га. Деградация экосистем на этих землях по неполным данным отмечена на площади 10 млн га.

Указанные земли частично потеряны для сельскохозяйственного использования и остаются очагами угрозы здоровью населения. Непосредственно сам процесс строительства линейных сооружений (дорог, дамб, нефтегазопроводов, линий электропередач, связи, каналов) вызывает значительное нарушение земель.

В республике насчитывается 184,2 тыс. га нарушенных земель, на которых размещаются отвалы вскрышных и горных

пород, хвостохранилища, золоотвалы, карьеры угольных и горных разработок, нефтяные поля и амбары. Нарушение почвенного покрова производится в ходе строительства промышленных объектов, линейных сооружений, предприятий, при разработке месторождений полезных ископаемых, их переработке и проведении геологоразведочных работ.

В настоящее время сложилась сложная ситуация с нарушенными землями предприятий, ставших банкротами, проданных или переданных в аренду по частям новым частным, в том числе иностранным юридическим лицам, которые согласно договору или контракту не взяли на свои балансы нарушенные земли.

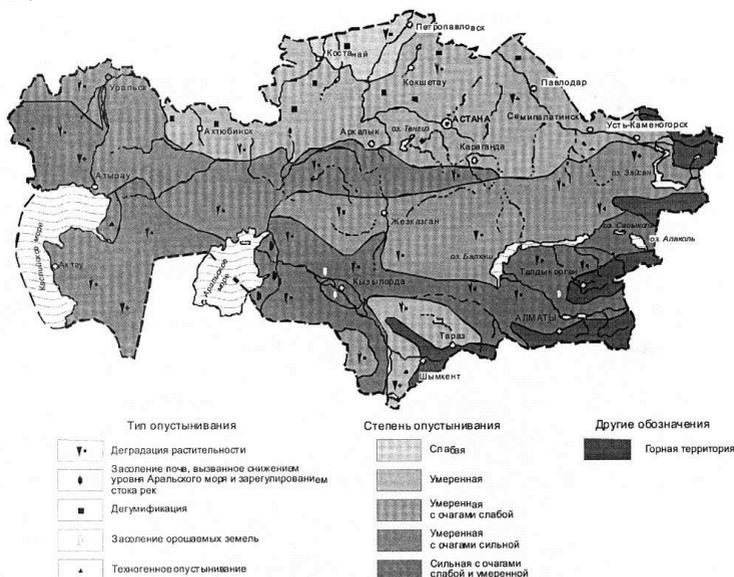


Рис. 2.11. Карта антропогенного опустынивания территории Казахстана (Национальная программа действий по борьбе с опустыниванием в Республике Казахстан, 1997)

Выделяются и техногенные пустыни – территория в зоне интенсивного влияния, характеризующегося сильными эрозионными процессами, отсутствием гумусового горизонта, травянистого и кустарникового яруса, угнетением древесного

яруса. Представляет собой крайнюю степень деградации техногенного ландшафта.

Экологический норматив. 1. Область равновесия базовых экологических переменных, наиболее вероятное в пространстве и времени состояние экологических и географических систем и их компонентов.

2. Величина антропогенной нагрузки, рассчитанная на основании экологических регламентов и получившая правовой статус. Носит временный характер, обусловленный уровнем развития науки, технологии и экономики. В экологической политике экологические нормативы выполняют роль показателей, позволяющих свести комплексную экологическую ситуацию к нескольким числовым значениям. При исполнении требований природоохранного права им принадлежит ключевая роль. Целью разработки и принятия экологических нормативов должна быть охрана здоровья населения от загрязнений, шумов, радиации и обеспечение устойчивости окружающей среды. В большинстве случаев экологический норматив не следует рассматривать как четкую грань, разделяющую безопасные и опасные для здоровья уровни загрязнения. Применение экологических нормативов после катастрофы в Чернобыле показало, что в некоторых случаях при их установлении исходят преимущественно из экономических соображений. Соблюдение экологических нормативов является строго обязательным, т.е. из этих значений могут проистекать правовые последствия. Экологический норматив отражает достигнутый на современном этапе политический компромисс и не преследует цель обязательного достижения желаемого качества окружающей среды. Потребность в сложных измерительных системах делает значения экологических нормативов жесткими и ограничивает возможность внесения поправок, равно как и возможность вмешательства различных заинтересованных групп. В качестве возможных примеров экологического норматива можно указать на биологическую продуктивность и хозяйственную производительность. Общим экологическим нормативом для экосистем служит сохранение их динамических качеств, прежде всего надежности и устойчивости, или перевод существующей экосистемы в более

желательную (безлесной – в лесную и наоборот). *Глобальный экологический норматив* – сохранение биосферы планеты в виде, пригодном для жизни человека, в том числе климата Земли благоприятным для него. Экологический норматив – системная величина, изменение которой нелинейно и не всегда адекватно по знаку процесса связано с другими аналогичными величинами. В связи с этим экологический норматив требует моделирования процесса. Кроме того, действие экологического норматива имеет региональные рамки, он справедлив лишь в пределах области типизации явления или процесса, за рамками которого он действовать не может. При применении экологических нормативов следует учитывать факторы неопределенности, риска и принцип неполноты информации. Вряд ли когда-либо будут разработаны экологические нормативы на все вещества, производимые и выбрасываемые человеком в окружающую среду, которых сейчас насчитывается уже более 12 млн, тогда как экологические нормативы существуют на менее чем для 0,1–0,05% от этого количества веществ. При этом в разных странах экологические нормативы на многие загрязнители иногда существенно отличаются.

Предельно допустимая концентрация загрязняющих веществ (ПДК) – количество вредного вещества в окружающей среде, отнесенное к массе или объему ее конкретного компонента, которое при постоянном контакте или при воздействии в отдельный промежуток времени практически не оказывает влияния на здоровье человека и не вызывает неблагоприятных последствий у его потомства.

ПДК загрязняющих веществ для воздуха, воды, почвы, для пищевых продуктов и кормов устанавливаются в законодательном порядке или рекомендуются компетентными учреждениями. В настоящее время установлены ПДК большого количества вредных веществ для воздушной и водной среды и сравнительно недавно начаты исследования по разработке ПДК загрязняющих веществ для почвы.

В настоящее время действуют нормативные документы: «ПДК вредных газов, паров и аэрозолей в воздухе рабочей зоны», установленные для 445 загрязняющих веществ, и «ПДК

вредных веществ в атмосферном воздухе населенных мест», включающие 109 загрязняющих веществ, наиболее распространенные из которых приведены в табл. 2.24.

Таблица 2.24

ПДК некоторых вредных веществ в атмосферном воздухе

Вещество	ПДК, мг/м ³	
	максимальная разовая	среднесуточная
Азота диоксид	0,085	0,085
Азотная кислота	0,4	0,4
Аммиак	0,2	0,2
Анилин	0,05	0,03
Ацетон	0,35	0,35
Бензол	1,5	0,8
Бензин (нефтяной, малосернистый, в пересчете на С)	5	1,5
Бутан	200	–
Бутилацетат	0,1	0,1
Винилацетат	0,15	0,15
Гексахлорциклогексан	0,03	0,03
Дивинил	3	1
Диметиланилин	0,0055	0,0055
Дихлорэтан	3	1
Изопропилбензол	0,14	0,14
Капролактан (пары, аэрозоль)	0,06	0,06
Карбофос	0,015	–
Ксилол	0,2	0,2
Масляная кислота	0,015	0,01
Метанол	1	0,5
Метафос	0,008	–
Метилацетат	0,07	0,07
Метилмеркаптан	$9 \cdot 10^{-6}$	-
Мышьяк (неорганические соединения, кроме H ₃ As в перерасчете на As)	-	0,003
Нафталин	0,003	0,003
Нитробензол	0,008	0,008
Нитрохлорбензол (<i>пара</i> - и <i>орто</i> -)	–	0,004
Пиридин	0,08	0,08
Пропиловый спирт	0,3	0,3

Окончание табл. 2.24

Вещество	ПДК, мг/м ³	
	максимальная разовая	среднесуточная
Пыль нетоксичная	0,5	0,15
Ртуть металлическая	–	0,0003
Сажа (копоть)	0,15	0,05
Свинец и его соединения, кроме Pb(C ₂ H ₅) ₄ , в пересчете на Pb	–	0,0007
Свинца сульфид	–	0,0017
Серная кислота	0,3	0,1
Сероводород	0,08	0,008
Сероуглерод	0,03	0,005
Серы диоксид	0,5	0,05
Синильная кислота	–	0,01
Соляная кислота	0,2	0,2
Стирол	0,003	0,003
Толуол	0,6	0,6
Триэтиламин	0,14	0,14
Углерода оксид	3	1
Углерода тетрахлорид	4	2
Уксусная кислота	0,2	0,06
Уксусный ангидрид	0,1	0,03
Фенол	0,01	0,01
Формальдегид	0,035	0,012
Фосфора (V) оксид	0,15	0,005
Фториды (в пересчете на F)	0,02	0,005
Фтора газообразные соединения (HF и SiF ₄)	0,02	0,05
Фурфурол	0,05	0,05
Хлор	0,1	0,03
Хлорбензол	0,1	0,1
Хлорофос	0,04	0,02
Циклогексан	1,4	1,4
Этанол	5	5
Этилбензол	0,02	0,02
Этилен	0,3	0,03

Многие токсичные вещества обладают эффектом суммированного действия, т. е. их смеси оказывают более токсичное воздействие на живые организмы, чем отдельные компоненты.

Это можно сказать о смесях ацетона и ацетофенона; триоксида и диоксида серы и оксидов азота; сильных минеральных кислот (HCl, HNO₃, H₂SO₄); валериановой, капроновой и масляной кислот; диоксида серы и фтороводорода; диоксида серы и фенола и др.

В нашей стране нет единых общегосударственных норм качества воды, поскольку ее пригодность определяется конкретными требованиями отдельных видов водопользования. Качество поверхностных вод нормировано для хозяйственно-питьевого, культурно-бытового и рыбохозяйственного водопользования. Для первых двух категорий определяющими являются санитарно-гигиенические нормы – СанПиН 2.1.4.559–96.

Для воды установлены предельно допустимые концентрации более чем 960 химических соединений, которые объединены в три группы по следующим показателям вредности (ЛПВ – лимитирующий показатель вредности): санитарно-токсикологическому (с.-т.); общесанитарному (общ.); органолептическому (орг.). ПДК некоторых вредных веществ в водной среде представлены в табл. 2.25.

Таблица 2.25

ПДК вредных веществ в водных объектах хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, мг/л

Вещество	ЛПВ	ПДК
Алюминий	С.-т.	0,5
Алюминия оксихлорид	Орг.	1,5
Аммиак (по азоту)	С.-т.	2
Анилин	С.-т.	0,1
Ацетон	Общ.	2,2
Ацетофенон	С.-т.	0,1
Бензпирен	С.-т.	0,000005
Бензин	Орг.	0,1
Бензол	С.-т.	0,5
Бериллий	С.-т.	0,0002
Бор	С.-т.	0,5
Бром	С.-т.	0,2
Висмут	С.-т.	0,1
Гексахлорбензол	С.-т.	0,05
Диметиламин	С.-т.	0,1

Продолжение табл.2.25

Вещество	ЛПВ	ПДК
Дифторхлорметан (фреон)	С.-т.	10
Диэтиловый эфир	Орг.	0,3
Железо	Орг.	0,3
Изопрен	Орг.	0,005
Кадмий	С.-т.	0,001
Карбофос	Орг.	0,05
Керосин:		
окисленный	Орг.	0,01
осветительный (ГОСТ 4753-68)	Орг.	0,05
технический	Орг.	0,001
Кислота:		
бензойная	Общ.	0,6
дифенилуксусная	Общ.	0,5
масляная	Общ.	0,7
муравьиная	Общ.	3,5
уксусная	Общ.	1,2
Кислоты жирные синтетические C ₅ –C ₂₀	Орг.	0,1
Марганец	Орг.	0,1
Медь	Орг.	1
Метанол	С.-т.	3
Молибден	С.-т.	0,25
Мочевина	Общ.	1
Нафталин	Орг.	0,01
Нефть:		
многосернистая	Орг.	0,1
Прочая	Орг.	0,3
Нитраты:		
по NO ₃	С.-т.	45
по NO ₂ ⁻	С.-т.	3,3
Полиэтиленамин	С.-т.	0,1
Тиоцианаты	С.-т.	0,1
Ртуть	С.-т.	0,0005
Свинец	С.-т.	0,03
Сероуглерод	Орг.	1
Скипидар	Орг.	0,2
Сульфиды	Общ.	Отсутствие
Тетраэтилсвинец	С.-т.	Отсутствие

Вещество	ЛПВ	ПДК
Трибутилфосфат	Орг.	0,01
Формальдегид	С.-т	0,05
Фосфор элементный	С.-т.	0,0001
Цианиды, в пересчете на циан	С.-т.	0,1
Цинк	Общ.	1
Этилен	Орг.	0.5
Эгиленгликоль	С.-т.	1
Этилендиамин	Орг.	0,2

Самые высокие требования предъявляются к питьевой воде.

Вопрос установления ПДК загрязняющих веществ в почвах весьма сложен. С одной стороны, почвенный покров – среда, гораздо менее подвижная, чем поверхностные воды и атмосфера, и аккумуляция поступающих в почву химических соединений может происходить в течение долгого времени, постепенно приближаясь к предельно допустимым концентрациям. Поэтому основным фактором определения предельно допустимых выбросов (ПДВ) для какого-либо предприятия или группы предприятий должно быть предполагаемое время работы, в течение которого в почве прилегающих территорий накопится количество выбрасываемого загрязняющего вещества, достигающее ПДК. С другой стороны, активная микробиологическая жизнь почвы и протекающие в ней физико-химические процессы способствуют трансформации посторонних веществ, поступающих в почву, причем направление и глубина этого процесса определяются многими факторами.

В ряде случаев разрушение загрязняющих веществ и их миграция так мала, что ими можно пренебречь; в других случаях результаты протекания процессов деградции и миграции посторонних химических соединений в почве сопоставимы с темпами их поступления и предел их накопления в почве обусловливается равновесием между процессом поступления загрязняющих веществ и их удалением в результате разрушения или миграции.

Таким образом, ПДК загрязняющих веществ в почвах определяется не только их химической природой и токсично-

стью, но и особенностями самих почв. В отличие от воздуха и воды почвы зонально-генетического ряда настолько разнятся друг от друга по химическому составу и свойствам, что для них не могут быть установлены унифицированные уровни ПДК. Эти уровни неизбежно должны варьировать в зависимости от конкретной обстановки: биоклиматических особенностей природной зоны, свойств почвы, возделываемых культур, системы удобрений, агротехники и т.п.

От других компонентов биосферы почва отличается еще и тем, что загрязняющие вещества не только поступают в нее с атмосферными выпадениями, поливными водами, в составе балластных веществ и различных отходов, но и вносятся преднамеренно, как удобрения и ядохимикаты. При этом в почвах сложно проследить тенденции изменения уровней загрязнения, так как для этого требуются длительные наблюдения. Исключение составляют лишь некоторые виды пестицидов, способные быстро разлагаться под воздействием внешних факторов. Установленные в настоящее время нормативы их содержания в почве приведены в табл. 2.26.

Таблица 2.26

**ПДК пестицидов в почве воздушно-сухой почвы, мг/кг
(Гигиенические нормативы, 1997)**

Пестицид	ПДК	Пестицид	ПДК
Атразин	0,01	Малатион	2,0
Базудин	0,1	Металаксил	0,05
Бетанал	0,25	Пиримифосметил	0,5
2,4-Д (кислота)	0,1	Прометрин	0,5
2,4-Д (дихлорфенол)	0,05	Ронит	0,8
2,4-Д (аминная соль)	0,25	Севин	0,05
2,4-Д (бутиловый эфир)	0,15	Симазин	0,2
2,4-Д (кrotиловый эфир)	0,15	Трихлорфон (хлорофос)	0,5
2,4-Д (октиловый эфир)	0,15	Фталофос	0,1
Карбофуран	0,01	Хлорпирифос	0,2

Много внимания уделяется разработке нормативов содержания в почве тяжелых металлов (ТМ), негативно влияющих на почвенные процессы, плодородие почв и качество сельскохозяйственной продукции. Восстановление биологической про-

дуктивности почв, загрязненных тяжелыми металлами, – одна из наиболее сложных проблем охраны биоценозов.

В настоящее время для ряда тяжелых металлов установлены *ориентировочно допустимые количества* (ОДК) их содержания в почвах, утвержденные приказами органов здравоохранения № 1968–79, 25546–82, 3210–85 и 4433–87, которые используются вместо ПДК (табл. 2.27).

Таблица 2.27

ОДК (ПДК) тяжелых металлов в почве, мг/кг

Металл	ОДК (ПДК)	Форма элемента
Мышьяк	2,0	Валовое содержание
Ртуть	2,1	–/–
Свинец	32,0	–/–
Свинец + ртуть	20,1 + 1,0	–/–
Хром (VI)	0,05	–/–
Марганец	1500	–/–
Ванадий	150	–/–
Марганец + ванадий	1000 + 100	–/–
Сурьма	4,5	–/–
Медь	3,0	Подвижные соединения
Никель	4,0	–/–
Цинк	23,0	–/–
Кобальт	5,0	–/–
Хром	6,0	–/–

При превышении допустимых значений содержания тяжелых металлов в почвах эти элементы накапливаются в растениях в количествах, превышающих их ПДК в кормах и продуктах питания.

Если величина ПДК в различных средах не установлена, действует *временный гигиенический норматив ВДК (ОБУВ) – временно допустимая концентрация (ориентировочно безопасный уровень воздействия) вещества*. Временный норматив устанавливается на определенный срок (2-3 года).

Различные вещества могут оказывать сходное неблагоприятное воздействие на организм. Например, существует *эффект суммации* для диоксида азота и формальдегида, фенола и ацетона, этанола и целой группы органических веществ. Для токсичных веществ безопасная концентрация определяется со-

отношением $C/ПДК \leq 1$, где C – фактическая концентрация вещества в среде.

Допустим, что в воздухе концентрация фенола составляет $C_{\text{ф}}=0,345$ мг/л, ацетона – $C_{\text{ац}}=0,009$ мг/л, а $ПДК_{\text{ф}}=0,35$ мг/л, $ПДК_{\text{ац}}=0,01$ мг/л. Таким образом, для каждого из веществ указанное соотношение меньше 1:

$$C_1/ПДК_1 < 1; C_2/ПДК_2 < 1.$$

Эти вещества обладают эффектом суммации, поэтому общее загрязнение фенолом и ацетоном превысит предельно допустимое:

$$\frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} = 0,986 + 0,9 = 1,886 > 1.$$

Таким образом, сумма отношений концентраций к ПДК веществ, обладающих эффектом суммации, не должна превышать единицы.

Для более полной оценки качества среды сравнительно недавно стали использовать другой критерий – ПДЭН (*предельно допустимую экологическую нагрузку*): для воды – ПДС (*предельно допустимый сброс*, г/с); для воздуха – ПДВ (*предельно допустимый выброс*, г/с).

ПДЭН (предельно допустимая экологическая нагрузка) является лимитирующим показателем уровня естественных и антропогенных воздействий, который во многих странах установлен в связи с тем, что нормальное функционирование и устойчивость экосистем и биосферы возможны при непревышении определенных предельных нагрузок на них.

Нормативный допустимый сброс, ранее ПДС (предельно допустимый сброс) – максимально допустимое количество вещества, сбрасываемое со сточными водами в единицу времени при условии сохранения приемлемого качества воды.

ПДВ (предельно допустимый выброс) – экологический норматив, обычно используемый для оценки загрязнения окружающей среды выхлопными газами двигателей автотранспорта. ПДВ определяется таким образом, чтобы концентрация загрязняющих веществ в приземном слое воздуха не превышала доз, опасных для людей, фауны и флоры.

В целом необходимо отметить, что недостатком изложенной выше схемы критериев оценки качества среды являются различающиеся значения ПДК в разных странах.

Рассеивание вредных примесей – снижение концентрации загрязнителей в атмосфере по мере удаления от источника выброса в связи с происходящими физическими процессами (движение воздуха, диффузия, выпадение на поверхность земли и.т.д.).

Радиоактивное загрязнение – форма физического загрязнения, связанного с превышением естественного уровня содержания радиоактивных веществ в среде в результате деятельности человека.

Токсичные вещества – вещества, свойства которых соответствуют свойствам, указанным в табл. 2.28 и физические и химические свойства которых способны создать опасность в случае промышленной аварии.

Таблица 2.28

Смертельная доза (LD ₅₀) – пероральное воздействие (1) мг/кг веса тела	Смертельная доза (LD ₅₀) – кожное воздействие (2) мг/кг веса тела	Смертельная концентрация (LD ₅₀) – ингаляционное воздействие (3) мг/кг веса тела
25 <LD ₅₀ ≤ 200	50 <LD ₅₀ ≤ 400	0,5 <LD ₅₀ ≤ 2

Примечание: 1) LD₅₀ при пероральном воздействии на крыс; 2) LD₅₀ при кожном воздействии на крыс или кроликов; 3) LD₅₀ при ингаляционном воздействии (в течение 4 ч) на крыс

Экологическое регулирование – используемая органами государственной власти система активных мер и рычагов управления в целях воздействия на экологическое поведение средопользователей в интересах предотвращения, ограничения и устранения загрязнения и других форм ухудшения качества окружающей среды. Экологическое регулирование – одно из важнейших звеньев государственной экологической политики.

Отдельные элементы экологического регулирования применялись еще с античных времен, но лишь в конце 60-х – начале 70-х гг. XX в., когда с полной очевидностью экологической кризис выявил свое универсальное измерение, экологическое регулирование стало складываться в интегрированную систему, приобрело в большинстве развитых стран мира статус неотъем-

лемой и важной функции государства в области защиты естественных экосистем, воспроизводства, экономии и охраны природных ресурсов, сбережения сырья, материалов, энергии, удаления отходов производства и потребления. В бывшем СССР экологическое регулирование не было воспринято практической политикой: государство, выступавшее в качестве монопольного предпринимателя, было обречено на хищническую эксплуатацию сил и свойств как природы, так и человека. Оздоровление природо- и средопользования возможно только на основе отделения предпринимательства от государства и выполнения им функции контроля над некоторыми социально значимыми аспектами предпринимательства, в том числе экологическими. Экологическое регулирование – особая отрасль знаний на стыке экономики, управления, социологии, экологии. Ее объектом является выработка основ и принципов, рациональных форм и методов экологического регулирования, анализ и обобщение практической политики в этой области с использованием данных большого числа естественных наук – биологии, экологии, химии, физики, медицины, гигиенистики и т.д. В прошлом экологическое регулирование осуществлялось сначала на местном, затем на территориальном уровнях, и лишь к середине нашего века стало выходить на общегосударственный уровень, а в последние годы – и на глобальный. Неуклонно расширяется круг регулируемых объектов – источников загрязнений, а также природных и техногенных сред, подвергающихся экологически вредным воздействиям. Огосударствление и централизация функций экологического регулирования позволили проводить экологическую политику на основе программно-целевого планирования и программирования в национальном, региональном, местном и отраслевом масштабах.

Действенность экологического регулирования достигается с помощью использования адекватных рычагов управления и воздействия на разрушителей и загрязнителей среды. Определенную и все возрастающую роль в этом отношении играет институт права, четко фиксирующего для физических и юридических лиц границы недопустимого в их экологическом пове-

дении и предусматривающего юридическую ответственность при нарушении этих границ.

Основы экологического регулирования вводятся в действие специальными законами об охране окружающей среды. В некоторых странах отдельные стратегически важные элементы экологического регулирования (экологические стандарты, нормы предельно допустимых концентраций и т.п.) устанавливаются центральными представительными органами, другие элементы (например, нормы предельно допустимых выбросов и сбросов загрязняющих веществ, нормативы допустимых выбросов и сбросов) – подзаконными актами исполнительных властей. Для эффективного экологического регулирования первостепенное значение имеет выбор надлежащего метода и инструментария (рычагов) регулирования. На ранних этапах экологического регулирования применялись в основном административно-распорядительные (регламентационные) инструменты – экологические стандарты, нормы, нормативы, правила, разрешительные процедуры, которые вводили запрещения или ограничения в отношении выбросов, использования той или иной техники и технологии, качественных параметров пищевых продуктов или изделий и т.д. Затем в дополнение к ним получили развитие некоторые экономические инструменты – разного рода штрафные санкции, предоставление государством предприятиям дотаций, субсидий, налоговых и кредитных льгот и т.п. Впоследствии в экологическом регулировании стали использоваться не отдельные инструменты, а их комбинации. Метод, в основе которого лежит принцип административно-правового принуждения загрязнителей получил (по аналогии с экономическим регулированием) название *прямое регулирование*. В последние 25 лет в странах с развитой рыночной экономикой в структуре применяемых механизмов прямого регулирования появились новые и перспективные как административно-распорядительные, так и экономические инструменты.

На рубеже 60–70-х гг. наступивший экологический кризис вызвал к жизни во многих странах новую, более активную экологическую политику. В процессе выработки ее стратегических начал был поднят концептуальный вопрос о методе и соот-

ветствующем механизме экологического регулирования и выдвинут ряд критических соображений о методах прямого регулирования, который ограничивает и дискриминирует, так как у разных предприятий неодинаковые предельные издержки сокращения единицы выбросов. Поэтапный порядок ограничения загрязнений, присущий этому методу, ориентирует предприятия на очистную, а не малоотходную технологию и требует для его реализации громоздкой административно-контрольной инфраструктуры. Поэтому был предложен способ экологического регулирования, основанный на принципе экономического побуждения загрязнителей к снижению выбросов, что является характерным признаком *косвенного регулирования*. Концепция косвенного (ценового) экологического регулирования предлагает "экологические блага и услуги" включить в рыночные отношения (иметь собственника, получить экономическую оценку, цену, продаваться и покупаться). При таком порядке потребления предприятиями этих доселе "ничейных и бесплатных" экологических ресурсов будет устранено "скрытое субсидирование" их обществом и установится экологически рациональное отношение к этим ресурсам. Стандартный механизм экологического регулирования согласно этой концепции предполагает использование *двух инструментов* – побудительных налогов (или платежей) и норм-ориентиров предельно допустимых выбросов. По достижении требований норм-ориентиров взимание налогов или платежей прекращается (так как прекращается социально неприемлемое использование экологических ресурсов). Эта внешне кажущаяся простой и даже изящной концепция, предлагающая автоматизм рыночного регулирования, оказалась на поверку весьма уязвимой. Сомнительны и практически неосуществимы в правовом государстве легальные ее основы (экспроприация "общего достояния" государством и его монополия капитализация); она исходит из допущения нерыночного механизма установления "цен" за средопользование; предполагает неблагоприятные с социальной точки зрения распределительные эффекты средоохранных затрат, а также сверхзатратный для предприятий характер регулирования (платежи предприятий государству плюс средоохранные инвестиции и эксплуатацион-

ные расходы), что существенно затягивает процесс выхода из экологического кризиса; эта концепция отрицает в принципе любые виды экономических стимулов и льгот предприятиям со стороны государства, поскольку это нейтрализует побудительный эффект платежей и т.д. Непреодолимый порок этого метода – в практической невозможности расчета и установления для каждого предприятия-загрязнителя вида загрязняющих выбросов, сбросов и надлежащего, т.е. обладающего побудительным эффектом, уровня платежей – ни по методу оценки нанесенного экологического ущерба, ни по методу определения стоимости предотвращения единицы выбросов и сбросов. При установлении платежей, не содержащих побудительного начала, предприятиям выгодно их выплачивать, не делая расходов на охрану окружающей среды, тем более, что механизм косвенного регулирования не содержит регламентационных экономотивов и других средств принуждения.

За последнюю четверть века ни в одной стране с развитой рыночной экономикой не было ни одного случая применения метода косвенного ("рыночного") экологического регулирования в отношении выбросов и сбросов, акустического загрязнения, удаления отходов, хотя международная экономическая организация этих стран – ОЭСР все настойчивей рекомендует странам ограничивать масштабы государственного экологического субсидирования и применять такие экономические инструменты, которые увеличили бы долю предприятий в общенациональных расходах на деполюцию. Однако в основе мотивации этих действий лежат не "идеологические", а чисто прагматические соображения – озабоченность нарушениями условий "добросовестной конкуренции" из-за различия в уровнях госфинансирования природоохранной деятельности в странах-членах, отражающихся на международной торговле, движении капиталов и т.п.

Теоретические исследования и анализ мировой практики в области экологического регулирования *позволили сформулировать ряд требований, которым должен удовлетворять механизм экологического регулирования. Основные из них – следующие:*

1) *эффективность с точки зрения достижения средоохраннх целей*, т.е. способность механизмов экологического регулирования принуждать, побуждать или экономически стимулировать к результативным действиям в деле ограничения и сдерживания загрязнения окружающей среды;

2) *эффективность затрат*, т.е. способность механизмов и входящих в их состав инструментов воздействия на загрязнителей добиваться поставленных средоохраннх целей с наименьшей затратой экономических ресурсов;

3) *социально справедливое распределение затрат*, т.е. оптимальное распределение средоохраннх расходов между государством, населением и предприятиями, недопущение экономической дискриминации социальных групп с низкими доходами;

4) *административная осуществимость*, т.е. регулирование должно быть практически осуществимым с точки зрения информационного обеспечения объектов и субъектов регулирования, административных и правовых требований, должно быть политически приемлемым и осуществляться при наименьших, насколько возможно и допустимо, управленческих затратах;

5) *институциональное соответствие*: это означает, что регуляционный механизм и все составляющие его инструменты должны адекватно соответствовать общей идеологии экологической политики, содействовать интеграции экологической политики в структуре экономической политики, органично вписываться в административную систему, в рамках которой они должны функционировать;

б) *целесообразность соединения двух типологически различных методов* экологического регулирования в едином механизме, используемом в отношении одного объекта регулирования ввиду самодостаточности каждого из них и их антинормичности относительно друг друга. Механизмы экологического регулирования, выработанные и применяемые практикой в экономике, существенно отличаются по своей структуре от теоретических моделей. В некоторых странах и в отношении какого-либо конкретного объекта регулирования в качестве механизма экологического регулирования выступает только порядок выда-

чи предприятиям местным регулирующим органом разрешения на загрязнение с периодически (через 3–5 лет, например) пересматриваемыми условиями. *В них содержатся все элементы процедуры регулирования* – экологическая экспертиза, установление индивидуальных лимитов на выбросы или сбросы; сроки действия лимитов; предписания по организации контроля и мониторинга загрязнения; объем и характер выделяемых регулирующим органом субсидий предприятию; экономические и правовые санкции в отношении предприятий за аварийные сбросы, искажение данных отчетности, невыполнение в срок требований лимитов. В других случаях применяются композиционно более сложные механизмы, которые формируются из совокупности управляющих сигналов, поступающих от законодательства и центральных регулирующих органов, государственных и региональных целевых экологических программ, отдельных государственных ведомств, местных регулирующих органов. Механизмы прямого экологического регулирования в целом гораздо сложнее и богаче по содержанию, в том числе экономическому, по регулирующим возможностям, чем механизмы косвенного экологического регулирования. Они обладают гибкостью, т.е. возможностью дифференцированного подхода к объектам регулирования и различным экологическим и экономическим ситуациям, а также к дозировке степени жесткости регулирования. Эти механизмы не исключают, а, наоборот, предполагают оказание государственной помощи, в том числе по главному направлению – техническому перевооружению. За последние десятилетия в развитых странах механизмы экологического регулирования существенно видоизменились, и процесс этот продолжается. *Главные векторы этой эволюции* – установление все более тесных управляющих связей между регулирующими органами и каждым объектом регулирования, а также совершенствование и обогащение арсенала регламентационных и, особенно, экономических инструментов.

В обобщенном виде применяемый в настоящее время в странах с развитой рыночной экономикой механизм прямого экологического регулирования *включает две основные функциональные группы инструментов:*

1) принуждения и 2) экономической поддержки предприятий и оптимизации их затрат на деполюцию.

1. Инструменты принуждения подразделяются *на две функциональные подгруппы*. В подгруппу административно-нормативных инструментов включены нормы права и экологические нормы предельных концентраций загрязнения среды и выбросов (типа ГОСТов, ПДК, ПДВ); порядок обязательной оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС), экологическая экспертиза; прогрессивные нормативы и квазинормативы допустимых уровней эмиссии загрязнителей. В подгруппу экономических и правовых инструментов принуждения к выполнению административных и нормативных требований входят экономические и штрафные санкции в отношении юридических и физических лиц (крупные); лишение предприятий (часто и местных органов власти) государственной экономической помощи и льгот; установление ограничений на хозяйственную деятельность предприятий, лишение их выданных разрешений на выбросы; полное прекращение деятельности предприятий; гражданско-правовая и уголовная ответственность за правонарушения экологического характера.

2. *Экономические инструменты* включают государственное материальное стимулирование предприятий (налоговые льготы разного рода, льготные займы и кредиты, дотации, инвестиционные субсидии, гарантии по займам и т.п.); инструменты "самостимулирования" предприятий в рамках перераспределительных процедур и фондов, образуемых из отчислений за сбросы и госдотации. *Цель этих процедур* – оптимизация общих затрат их участников по деполюции; инструменты разрешений на переуступку между предприятиями лимитов (соответствующих нормативов на допустимые выбросы) на загрязнение. Наряду с этим в экологическом регулировании некоторое, хотя и ограниченное, распространение имеют методы косвенного (ценового) регулирования. Однако они применяются не для ограничения эмиссии загрязнителей, а к товарам, продуктам и изделиям. Применяемые механизмы прямого регулирования работают вполне удовлетворительно, обеспечивая последовательное снижение уровня вредных выбросов и сбросов предпри-

ятий, содействуя научно-техническому прогрессу в сфере охраны окружающей среды. В бывшем СССР экологическое регулирование в подлинном смысле этого понятия не существовало. С начала 70-х гг. стала проводиться более активная экологическая политика планового средопользования. Однако она носила очень ограниченный характер. Слабыми были центральное и территориальные звенья органов управления, решающая роль отводилась хозяйственным ведомствам, для которых охрана среды и сбережение ресурсов природы были по существу обузой. Огромный сектор экономики – военно-промышленный комплекс – вообще находился вне экологического контроля со стороны гражданской администрации. При ущербе от загрязнения атмосферы, оцениваемом в 15 млрд р. в год, на мероприятия по ограничению этого загрязнения выделялось всего около 1 млрд р. В России в настоящее время используется концепция косвенного экологического регулирования, так называемого *платного природопользования*.

Научное обоснование платного природопользования исходит из необходимости для рационального распределения народнохозяйственных ресурсов и экономически эффективного средопользования иметь стоимостную оценку как использования экологического ресурса – ассимиляционной способности природы, так и средоохранной деятельности. На самом деле за этой академической формулой стоят сугубо прагматические цели. При своем рождении концепция платного средопользования ставила перед собой довольно ограниченную, но казавшуюся в то время важной и реально достижимой задачу, а именно: усовершенствовать модель "планового средопользования", главным образом расширить те ее узкие места, которые были связаны с дефицитом госфинансирования экологической политики. За счет введения "платежей за загрязнение" (за нормативные и сверхнормативные загрязнения, последние – в пятикратном размере по сравнению с первыми) данная цель была достигнута, однако это не прибавило регуляционных свойств обновленной модели. Переход к такой модели средопользования потребовал национализации де-факто "экологического ресурса" природы, образования на этой основе нового крупного государственно-моно-

полистического сектора в хозяйстве, исключаяющего действие каких-либо рыночных сил – в первую очередь при определении "цены" на этот ресурс. Финальным актом стала капитализация этого ресурса и его последующая коммерциализация в виде установления ренты на капитал – платежей за загрязнение, которые для предприятий приобретают значение нового налога на прибыль. За счет платежей предприятий финансовая база государственной экологической политики будет значительно расширена. Однако выполняемая при этом государственная функция остается неизменной, прежней – не регулировать ограничение загрязнения, а управлять процессом средопользования, "планировать и финансировать природоохранные мероприятия", как гласит ст. 15 закона "Об охране окружающей среды". При этом сохраняются и пороки старой концепции "планового средопользования" – отсутствие действенных рычагов экономического стимулирования предприятий к вложению собственных средств в экологизацию производственного аппарата, а также реальных, а не декларированных инструментов их принуждения к проведению активной средоохранной политики.

Масштабы и глубина экологического кризиса диктуют необходимость государственного программирования средоохранных мероприятий, но для того, чтобы оно носило не индикативный, а директивный характер, оно непременно должно опираться на такой порядок экологического регулирования, который позволял бы добиваться снижения вредных экологических воздействий в контролируемом и поддающемся планированию режиме. Косвенное регулирование такими возможностями не обладает. Отказ от государственного (бюджетного) финансирования средоохранной политики, четко зафиксированный в законе, – это серьезный недостаток механизма платного средопользования. Регулирование на основе принципа "сделать невыгодным загрязнение" – контрпродуктивный метод, даже если он и будет работать. Отчуждая у предприятий средства, он препятствует накоплению и воспроизводству ими экокапитала, а перераспределение этих средств через экофонды означает их отвлечение от приоритетной и жизненно важной для людей эко-

логической деятельности – от ограничения загрязнения среды в источнике, их распыление на менее значимые цели.

Более продуктивным представляется принцип экологического регулирования, который ориентируется на то, чтобы сделать экономически выгодным для предприятий вложение средств в деполлюцию. Но для его реализации нужна экономическая поддержка политики деполлюции со стороны государства в виде предоставления предприятиям субвенций и дотаций на средоохранные расходы и ряд других форм помощи. Предусмотренные же в законе экономические льготы для предприятий совершенно не способны заинтересовать предприятия в проведении активных средоохранных действий, тем более что эти льготы являются лишь очень малой компенсацией тех экономических потерь, которые они несут в связи с платежами. Отстраненность государства от бюджетного финансирования экоинвестиций предприятий никак не согласуется с понятиями социальной справедливости и моральной ответственности собственника за нанесенный вред. Нынешнее государство унаследовало от прежнего в качестве его правопреемника вину за экологический кризис и, следовательно, обязанность самым непосредственным образом участвовать в его преодолении. Переложить экономическое бремя выхода из этого кризиса целиком на плечи трудовых коллективов предприятий и населения было бы проявлением социальной несправедливости. Очевидно, что в конечном итоге расходы на финансирование средоохраны ложатся на население. Но здесь очень важно с социальной точки зрения, по каким каналам осуществляются мобилизация и использование этих средств, а, следовательно, в какой пропорции они распределяются между населением, государством (госбюджетом) и предприятиями. Режим платного средопользования порождает ряд неблагоприятных экономических последствий на макроуровне. Некоторые из них связаны с функционированием крупных в масштабе народного хозяйства небюджетных фондов – источников финансирования экополитики. Эксперты Европейской экономической комиссии ООН следующим образом оценивают деятельность такого рода фондов: "В долгосрочном плане такие фонды нецелесообразны: они противоречат полити-

ке интеграции экологических соображений в процесс принятия экономических решений; они могут ослабить применение жестких бюджетных ограничительных мер; они могут также увековечить роль центральных властей в мобилизации и распределении ресурсов". Проще говоря, это означает: отрыв экологической политики от макроэкономического регулирования; экологическая политика как неконтролируемый очаг инфляции; нерыночное, монопольное экономическое управление в области средопользования. Как это ни парадоксально, режим платного средопользования выполняет в переходный к рыночной экономике период одну полезную функцию – в условиях почти полного отсутствия государственного финансирования экополитики этот режим позволяет поддерживать "на плаву" и далее расширять инфраструктуру управления в центре, республиках и на местах. Тем не менее этот факт не снимает вопроса об актуальности разработки концепции эффективного механизма экологического регулирования для России и Казахстана.

Экологическая экспертиза – (от лат. *expertus* – опытный), государственная или общественная экспертиза планируемой деятельности с целью предупреждения или минимизации ее негативного воздействия на природную среду и контроля за строгим соблюдением природоохранного законодательства. Основные принципы экологической экспертизы: императивный характер, приоритет медико-биологической безопасности, междисциплинарный, независимый и комплексный (многокритериальный) характер.

Экологической экспертизе подлежат: программные документы долгосрочного развития, схемы и проекты районных планировок, технико-экономические обоснования и другая прединвестиционная, предплановая и предпроектная документация; проекты строительства, восстановления, реконструкции и ликвидации предприятий и других объектов; проекты нормативных, методических и инструктивных документов, регламентирующих хозяйственную деятельность; материалы комплексного экологического обследования участков территорий для последующего придания им правового статуса особо охраняемого природного объекта, зоны экологического бедствия или зоны чрезвычайной

экологической ситуации, а также программы по их реабилитации; документация по созданию новой техники, технологий, материалов, веществ, оказывающих воздействие на состояние окружающей природной среды; материалы по созданию совместных с иностранными фирмами предприятий, деятельность которых связана с использованием природных ресурсов. Экологической экспертизе должны подлежать также действующие промышленные и иные объекты (хранилища радиоактивных компонентов, отравляющих веществ и др.), в том числе военного назначения.

Экологическая экспертиза осуществляется с целью определения экологической безопасности различных видов хозяйственной и инженерной деятельности; установления соответствия предплановых и предпроектных проработок требованиям природоохранного законодательства; оценки полноты и обоснованности предусматриваемых мер по охране окружающей среды, здоровья и нормальной жизнедеятельности населения. Государственная экологическая экспертиза проводится экспертными комиссиями, образованными специально уполномоченными органами государственной власти с привлечением органов государственного управления, представителей научно-исследовательских, проектно-конструкторских и других учреждений и организаций, высших учебных заведений, общественности, экспертных международных организаций.

Общественная экологическая экспертиза выполняется независимыми группами специалистов по инициативе общественных организаций или местных органов власти за счет их собственных средств или на общественных началах. Заключение общественной экспертизы учитываются органами, осуществляющими государственную экспертизу, а также органами, планирующими или проектирующими хозяйственные или инженерные мероприятия.

Финансирование работ по проведению государственной экологической экспертизы проводится за счет средств: республиканского бюджета по объектам, строящимся за счет бюджетных средств; заказчиков объектов, которые строятся предприятиями, учреждениями, организациями за счет собст-

венных средств, иностранных инвестиций, кредитов, средств юридических лиц и граждан. В директиве Европейского экономического сообщества (ЕЭС) от 27.06.85. определены цели экологической экспертизы государственных и частных проектов: обеспечение охраны здоровья людей, повышение качества жизни на основе улучшения условий среды, сохранения многообразия видов и способности экосистем к воспроизводству как основы всей жизни. В соответствии со статьями 5–10 на территории всех стран ЕЭС должна проводиться экологическая экспертиза проектов строительства таких объектов, как нефтеперерабатывающие заводы и теплоэлектростанции, могильники или места окончательного захоронения радиоактивных отходов, металлургические комбинаты и химические установки, автострасы, скоростные шоссе, железные дороги и аэродромы, морские торговые порты и судоходные пути, установки по обработке ядовитых и опасных отходов. План застройки может быть отвергнут, если в нем не учтены или проигнорированы интересы охраны окружающей среды.

Между двумя межправительственными конференциями (Стокгольм, 1972 г. и Рио-де-Жанейро, 1992 г.) человечество действовало в рамках первого направления, истратив около 1,2 трил. дол. на мероприятия по перестройке хозяйства в сторону более экологически "чистого". Однако в результате экологическая ситуация в мире ухудшилась, и тенденции к дальнейшему ухудшению сохраняются (табл. 2.29). Это свидетельствует или о недостаточности затраченных средств, или о неверности выбранного направления, или о том и другом вместе, поэтому все больше данных ведут к выбору второго направления, которое естественным образом соединяет Э.1 и Э.2.

Таблица 2.29

**Изменения окружающей среды в 1972–1992 гг.
и ожидаемые тенденции до 2030 г.**

Характеристика	Тенденция 1972–1992 гг.	Сценарий 2030 г.
Сокращение площади естественных экосистем	Сокращение со скоростью 0,5–1,0% в год на суше; к началу 1990-х гг. сохранилось около 40%	Сохранение тенденции, приближение к почти полной ликвидации на суше

Продолжение табл. 2.29

Характеристика	Тенденция 1972–1992 гг.	Сценарий 2030 г.
Потребление первичной биологической продукции	Рост потребления: 40% на суше, 25% – глобальный (оценка 1985 г.)	Рост потребления: 80–85% на суше, 50– 55% – глобальный
Изменение концентрации парниковых газов в атмосфере	Рост концентрации парниковых газов от десятых процента до первых процентов ежегодно	Рост концентрации, ускорение роста концентрации CO ₂ и CH ₄ за счет ускорения разрушения биоты
Истощение озонового слоя, рост озоновой дыры в Антарктиде	Истощение на 1–2% в год озонового слоя, рост площади озоновых дыр	Сохранение тенденции даже при прекращении выбросов ХФУ к 2000 г.
Сокращение площади лесов, особенно тропических	Сокращение со скоростью от 117 (1980 г.) до 180±20 тыс. км ² (1989 г.) в год; лесовосстановление относится к сведению как 1:10	Сохранение тенденции, сокращение площади лесов в тропиках с 18 (1990 г.) до 9-11 млн км ² , сокращение площади лесов умеренного пояса
Опустынивание	Расширение площади пустынь (60 тыс. км ² в год), рост техногенного опустынивания, токсичных пустынь	Сохранение тенденции, возможен рост темпов за счет уменьшения влагооборота на суше и накопления поллютантов в почвах
Деградация земель	Рост эрозии (24 млрд т ежегодно), снижение плодородия, накопление загрязнителей, закисление, засоление	Сохранение тенденции, рост эрозии и загрязнения, сокращение сельскохозяйственных земель на душу населения
Повышение уровня океана	Подъем уровня океана на 1–2 мм/год	Сохранение тенденции, возможно ускорение подъема уровня до 7 мм/год
Стихийные бедствия, техногенные аварии	Рост числа на 5-7%, рост ущерба на 5-10%, рост количества жертв на 6–12% в год	Сохранение и усиление тенденций
Исчезновение биологических видов	Быстрое исчезновение биологических видов	Усиление тенденции по мере разрушения биосферы
Качественное истощение вод суши	Рост объемов сточных вод, точечных и площадных источников загрязнения, числа поллютантов и их концентрации	Сохранение и нарастание тенденций
Накопление поллютантов в средах и организмах, миграция в трофических цепочках	Рост массы и числа поллютантов, накопленных в средах и организмах, рост радиоактивности среды, химические бомбы"	Сохранение тенденций и возможное их усиление

Характеристика	Тенденция 1972–1992 гг.	Сценарий 2030 г.
Ухудшение качества жизни, рост заболеваний, связанных с загрязнением окружающей среды, в том числе генетических, появление новых болезней	Рост бедности, нехватка продовольствия, высокая детская смертность, высокий уровень заболеваемости, необеспеченность чистой питьевой водой в развивающихся странах; рост генетических заболеваний, высокий уровень аварийности, рост потребления лекарств, рост аллергических заболеваний в развитых странах; пандемия СПИДа в мире, понижение иммунного статуса	Сохранение тенденций, рост нехватки продовольствия, рост заболеваний, связанных с экологическими нарушениями, в том числе генетических, расширение территории инфекционных заболеваний, появление новых болезней

Человечество – совокупность людей, населяющих Землю. Численность населения составляла на 1996 г. 5,7 млрд человек, в 90-е гг. ежегодный прирост населения составлял 90 млн человек. Прогнозы роста населения в XXI в. и далее разнообразны (рис. 2.12). Число народов мира превышает 2 тыс. (по некоторым данным, достигает 3 тыс.). Число крупных языковых групп около 30. Более 1800 народов представляют группы численностью 500 тыс. и меньше. В настоящее время прогресс человечества и его цивилизации идет на базе конкурентного взаимодействия и отбора новых обществ с оптимальной культурой. Быстрота изменения цивилизации приводит к тому, что наибольшей конкурентоспособностью в данный момент обладает единственный жизненный уклад, по которому неизбежно должно идти все человечество – это научно-технический прогресс, т.е. идет процесс глобализации уклада жизни (глобальные проблемы). Технологии, созданные человечеством, вытесняют естественные биотические технологии, которые не могут конкурировать с первыми из-за разной скорости эволюции. Если технологии человечества сейчас изменяются со скоростью раз в 10 лет, то технологии биоты только со скоростью 10 лет. Поэтому человечество быстро вытесняет другие виды, в первую очередь млекопитающих (рис. 2.13). Изменяя окружающую среду, человек меняет и свою культуру. Если выяснится, что эти изменения не способствуют выживанию человечества, то человек, пройдя через существующую цивилизацию, не сможет вернуть-

ся к прежнему существованию вследствие утраты прежней культуры.

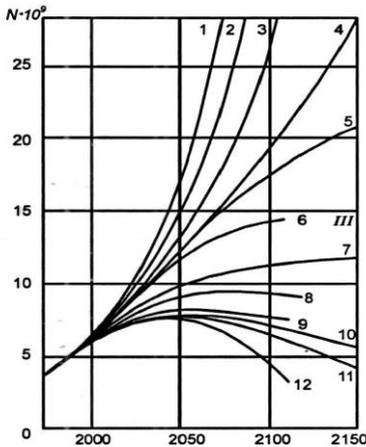


Рис. 2.12. Население мира согласно прогнозам: 1 – постоянная фертильность, 2 – постоянная скорость роста, 3 – кризис Третьего мира, 4 – высокий вариант ООН, 5 – средневысокий вариант ООН, 6 – медленный спад фертильности, 7 – средний спад фертильности, 8 – медленное снижение смертности, 9 – постоянная смертность, 10 – средненизкий вариант ООН, 11 – низкий вариант ООН, 12 – быстрое снижение фертильности, III – модель С.П. Капицы, 0 – настоящее время

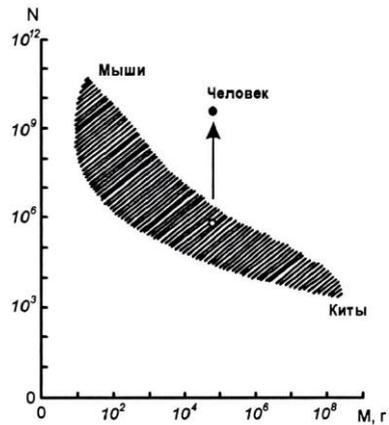


Рис. 2.13. Зависимость между массой тела и численностью млекопитающих. Заштрихованная фигура – поле корреляции между средней массой тела взрослых особей вида (рода) млекопитающих (M , г) и их ориентировочной численностью (N). Исключены виды разводимых животных, редкие и исчезающие виды. Стрелкой между двумя точками показано, насколько современная численность вида *Homo sapiens* превзошла «начальную» численность предков человека, предписываемую законами сбалансированной биоты и устойчивости окружающей среды. Превышение составляет четыре порядка (Акимова, Хаскин, 1994)

Устойчивое развитие – (от англ. sustainable development – постоянно поддерживаемое развитие), это развитие, при котором достигается удовлетворение жизненных потребностей

ныне живущих людей, и для будущих поколений сохраняется возможность удовлетворять свои потребности. Определение возникло в результате работы Международной комиссии ООН по окружающей среде и развитию (МКОСР), которую возглавляла премьер-министр Норвегии Гру Харлем Брундтланд. Оно появилось в докладе этой комиссии, опубликованном в 1987 г. К определению был дан следующий комментарий: *"Концепция устойчивого развития действительно предполагает определенные ограничения в области эксплуатации природных ресурсов, но эти ограничения не являются абсолютными, а относительными и связаны с современным уровнем техники и социальной организации, а также со способностью биосферы справиться с последствиями человеческой деятельности. Но технические аспекты и аспекты социальной организации можно взять под контроль и усовершенствовать, что откроет путь в новую эру экономического роста"*. Впоследствии появились другие варианты определения термина, но они ненамного отличались от приведенного выше. Термин устойчивое развитие является не очень удачным переводом английского термина "sustainable development", который можно перевести и как "постоянно поддерживаемое развитие", и как "допустимое развитие", и как "сбалансированное развитие". Однако само определение термина устойчивое развитие вызвало неудовлетворение, так как в нем четко намечаются противоречия между удовлетворением потребностей ныне живущих поколений людей, которое, будучи расточительным, уже привело к глобальным экологическим проблемам, и возможностью удовлетворения потребностей будущих поколений. Кроме того, есть противоречие между понятием "развитие" и конечностью нашей планеты и ее ресурсов. Поэтому в стратегии *устойчивой жизни*, разработанной тремя крупнейшими международными организациями по охране окружающей среды: ЮНЕП – Программа ООН по окружающей среде (UNEP), Международный союз по охране природы (IUCN) и Мировой фонд дикой природы (WWF), вместо термина устойчивое развитие предлагается термин *"устойчивая жизнь"* – улучшение качества жизни людей, живущих в пределах емкости поддерживающих экосистем, что принципиально отличает этот

термин от термина устойчивое развитие. В комментарии к нему отмечено, что устойчивая экономика есть продукт устойчивого развития, и не упоминается об экономическом росте. Устойчивая жизнь основывается на естественных ресурсах и могла бы развиваться путем адаптации на основе развития знаний, организации, эффективной технологии и мудрости. Это определение означает признание незаменимости биосферы, невозможность сокращения естественной биоты в объеме, превышающем пороговое значение (емкость поддерживающих экосистем), превышение которого лишает окружающую среду устойчивости.

2.2. Геохимические барьеры

Геохимические барьеры. Термин «геохимические барьеры» был предложен А.И. Перельманом в 1961 г. Им же были разработаны основные теоретические положения учения о геохимических барьерах, которое является отдельной самостоятельной частью геохимии. Уже к началу 70-х гг. прошлого века началось практическое использование научных теоретических разработок при поиске месторождений полезных ископаемых. Примерно в это же время учение о барьерах стало широко использоваться при оценке различных геохимических аномалий, а также для объяснения формирования ряда месторождений (Алексеев, 1969, 1970).

В настоящее время учение о геохимических барьерах стало широко использоваться в экологии и экологической геохимии. Привлекается учение о барьерах при решении проблем улучшения экологической обстановки (создаются техногенные барьеры, не позволяющие распространяться загрязняющим веществам); при оценке обстановки в селитебных, промышленных, сельскохозяйственных и других ландшафтах; для решения проблем радиогеологии и радиогеоэкологии и т.д.

По определению А.И. Перельмана (1983), геохимические барьеры – это те участки земной коры, где на коротком расстоянии происходят резкое уменьшение интенсивности миграции химических элементов и, как следствие, их концентрация.

Градиент барьера определяется (рис. 2.14) по формуле А.И. Перельмана:

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

где m – числовое выражение величины показателя, определяющего изменение геохимической обстановки на барьере, установленное в миграционном потоке перед барьером; это могут быть величины рН, t , P , Eh , количество растворенного в воде кислорода или сероводорода и т.д.; m_2 – числовое выражение величины этого же показателя в миграционном потоке сразу же после барьера; l – мощность (ширина) барьера.

Таким образом, величины градиентов барьеров могут быть выражены в град./м; рН/м; Eh /м и т. д.

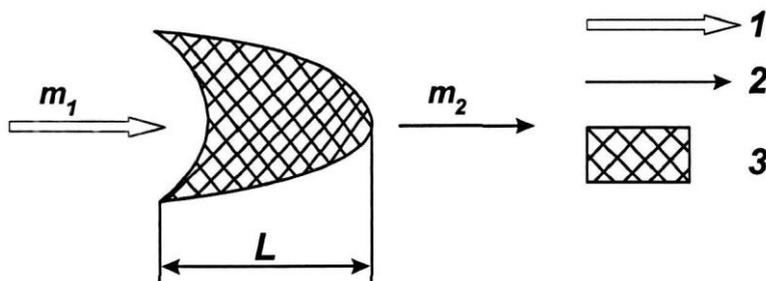


Рис. 2.14. Параметры геохимических барьеров (по Перельману)

Контрастность барьера устанавливается 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: $K = C_a/C_\phi$, где C_a – среднее содержание рассматриваемого компонента в аномалии; C_ϕ – фоновое содержание в ландшафте (определенном типе горных пород, почв, осадков, вод, растений и т. д.), аналогичном ландшафту, в котором расположен рассматриваемый барьер.

Концентрация элементов на барьере. Для ее расчета используется формула:

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

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

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

Генетическая классификация геохимических барьеров разработана в основном А.И. Перельманом с выделением типов, классов и подклассов (рис. 2.15). (Добавления и дальнейшая разработка классификации проведены В.А. Алексеенко и рассматриваются далее в этой главе).

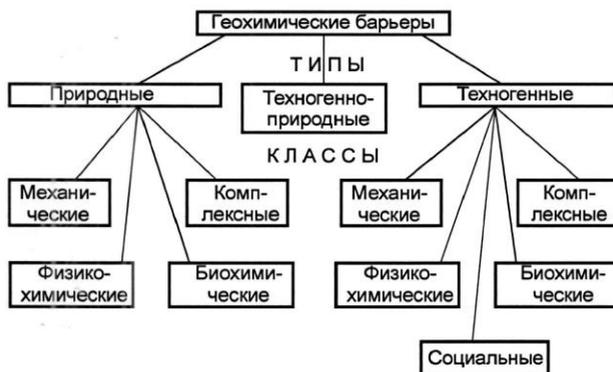


Рис.2.15. Принцип классификации геохимических барьеров

Типы барьеров. В соответствии с предлагаемой классификацией выделяются природные, техногенные и техногенно-природные барьеры, образовавшиеся в результате изменения факторов миграции на коротком расстоянии. *В первом случае* изменения вызваны природными особенностями участка биосферы; *во втором* – антропогенной деятельностью. Техногенно-природные барьеры возникают в тех случаях, когда антропогенные изменения миграции элементов приводят в дальнейшем к изменениям природным; в результате происходит наложение природных барьеров на техногенные (подробнее см. Алексеенко, 2006).

Классы барьеров. В зависимости от способа отложения веществ на барьере выделяются их следующие классификационные единицы – классы: *механические, физико-химические, биогеохимические, комплексные и социальные.* Последние не выделяются в типе природных барьеров, а техногенно-природные всегда являются комплексными.

В типе техногенных геохимических барьеров В.А. Алексеенко предложено выделять, как самостоятельный класс, *класс социальных барьеров.* 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 целесообразно введение понятия «*социальный геохимический барьер*». Под

этим термином должны объединяться зоны складирования и захоронения отходов – как промышленных, так и бытовых (Алексеевко, 2000). Что объединяет их с рассмотренными природными и техногенными барьерами?

- На них, как и на всех ранее рассмотренных барьерах, прекращается перемещение ряда веществ, участвующих в определенном виде техногенной миграции – социальной.

- 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.

- По способу образования (вывоз и складирование) они отличаются и от всех ранее рассмотренных техногенных барьеров.

- По специфике концентрации веществ и способу образования эти барьеры не имеют аналогов как среди природных барьеров, так и среди техногенных.

- Концентрирующиеся на них вещества не имеют ни одного общего физического или химического свойства, а это является обязательным условием концентрации веществ на всех остальных природных и техногенных барьерах. Все вещества на рассматриваемых барьерах объединяет только одно социальное условие: ненужность обществу на данном этапе его развития.

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

Все это в сумме и обуславливает обособление социальных геохимических барьеров. Широкое распространение, а главное – все возрастающее негативное воздействие этих барьеров на среду, окружающую человека, непосредственно на его здоровье делают необходимым не только выделение в отдельный класс, но и детальное эколого-геохимическое изучение социальных барьеров.

Барьеры рассматриваемого класса выделяются только в типах техногенных и комплексных техногенно-природных геохимических барьеров.

Подклассы барьеров. В практической работе часто деления на классы геохимических барьеров бывает недостаточно, поэтому нужен хотя бы еще один таксономический уровень. А.И. Перельман предложил подобное подразделение для физико-химического класса. Для удобства назовем новые таксономические единицы *подклассами*.

Подклассы механических барьеров. Особенности их выделения с учетом как характеристики самих перемещающихся веществ, так и миграционного потока, в котором эти вещества перемещаются (водные растворы и газовые смеси), приведены в табл. 2.30.

Таблица 2.30

Классификация механических барьеров

Характеристика миграционного потока (среды миграции)	Характеристика веществ, перемещающихся в миграционном потоке				
	Минералы, изоморфные примеси в минералах	Пары и растворенные газовые смеси	Коллоиды и сорбированные ими вещества	Животные и растительные организмы	Техногенные соединения
Водные растворы (I)	I1 ₊₊₊	—	I3 ₊₊	I4 ₊	I5 ₊₊
Газовые смеси (K)	K1 ₊₊	K2 ₊₊	K3 ₊₊₊	K4 ₊	K5 ₊₊

Примечание: присвоенные им формулы: I-1 – I-5 и K-1 – K-5. В приведенной таблице по горизонтали учитывались пять основных форм нахождения химических элементов, в которых эти элементы могут находиться в миграционном потоке, поступающем на механический барьер. Такими формами были признаны следующие: 1 - минералы и изоморфные примеси, находящиеся в минералах; 2 – растворенные газовые смеси и пары; 3 – коллоиды и сорбированные ими вещества; 4 – животные и растительные организмы; 5 – техногенные соединения, в том числе и не имеющие природных аналогов.

По вертикали в табл. 2.30 по особенностям среды миграции (потока, в котором мигрируют осаждающиеся на барьере химические элементы), выделены водные растворы (I) и газовые смеси (K). Всего выделено 10 подклассов механических барье-

ров: пять – для веществ, перемещающихся в водных потоках, и пять – для перемещающихся в газовых смесях. Из них один (I2) практически не получил развития, а роль двух (I4, K4) весьма незначительна. Два механических барьера (II и K3) можно в настоящее время отнести к основным. Пять оставшихся (I3, I5, K1, K2, K5) получили в биосфере широкое развитие.

Обозначения:

- барьер практически не получил развития;
- + роль барьера незначительна;
- ++ барьер получил широкое развитие в биосфере;
- +++ один из основных механических барьеров.

Подклассы физико-химических барьеров А.И. Перельман выделял, используя матричный подход (табл.2.31). Каждому из выделенных барьеров присваивался свой символ – буква латинского алфавита от «А» - сероводородный барьер, до «Н» - термодинамический. При этом цифрами дополнительно характеризовался каждый из выделенных барьеров. Так, при поступлении к кислородному барьеру сильнокислых сероводородных вод формула формирующегося барьера имеет вид А-9, а при поступлении глеевых нейтральных вод – А-7 (табл. 2.31).

Матричный подход к выделению подклассов всех остальных барьеров, предложенный А.И. Перельманом, был (как и установление формул отдельных подклассов) использован В.А. Алексеенко.

Типы концентрации элементов на физико-химических барьерах

Физико-химические условия		Состав вод, поступающих к геохимическому барьеру				
Окислительно-восстановительные		Кислородные				
Щелочно-кислотные		1. Сильно-кислые	2. Кислые и слабо-кислые	3. Нейтральные и слабощелочные	4. Сильнощелочные (содовые)	5. Сильно-кислые
Границы pH в зоне гипергенеза		<3	3-6,5	6,5-8,5	>8,5	<3
Элементы, подвижные в водах любого состава		Na, K, 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
Барьеры	A- кислородный	A1 Fe	A2 Fe, Mn, Co	A3 Mn	A4 -	A5 Fe

Таблица 2.31

биосферы (по данным А.И. Перельмана)

Глеевые			Сероводородные			
6. Кислые и слабо-кислые	7. Нейтральные и слабощелочные	8. Сильнощелочные	9. Сильнокислые	10. Кислые и слабо-кислые	11. Нейтральные и слабощелочные	12. Сильнощелочные
3-6,5	6,5-6,8	>8,5	<3	3-6,5	6,5-8,5	>8,5
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, Ni, Hg, Mo, W, U, Co	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

		1. Сильно- кислые	2. Кислые и слабо- кислые	3. Нейтраль- ные и слабоще- лочные	4. Силь- ноще- лочные (содо- вые)	5. Сильно- кислые
Барьеры	В- сульфид- ный (серо- водород- ный 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
	С – глее- вый	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
	Д – щелоч- ной	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)
	Е – кислый	E1 -	E2 -	E3 Si, Mo	E4 (Cu), (Zn), Ag, Be, Al, Ga, Sc, Y, Tr, Si, (Ge), Zr, (Ti), Mo, Cr, V	E5 -

Продолжение табл. 2.31

6. Кислые и слабокис- лые	7. Нейтраль- ные и слабоще- лочные	8. Сильно щелоч- ные	9. Сильно кислые	10. Кислые и слабо- кислые	11. Нейтраль- ные и слабоще- лочные	12. Сильно щелоч- ные
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)

		1. Сильно- кислые	2. Кислые и слабо- кислые	3. Нейтраль- ные и слабоще- лочные	4. Силь- ноще- лочные (содо- вые)	5. Сильно- кислые
Барьеры	F– испари- тельный	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 – сорб- ционный	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 – термо- динамиче- ские	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. 2.31

6. Кислые и слабокислые	7. Нейтральные и слабощелочные	8. Сильно щелочные	9. Сильно кислые	10. Кислые и слабокислые	11. Нейтральные и слабощелочные	12. Сильно щелочные
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, B, F, 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, B, F, S, P)	G12 Li, Na, K, Rb, Cs, (Cl, Br, I, B, F, S, 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 -

Таблица 2.32

Величины абсолютных (А.Р.) и относительных (О.Р.) разбросов кларковых содержаний химических элементов в магматических породах, в породах континентов и в образованиях океанического дна

Элемент	№ элемента	Кларк земной коры	А.Р. в магматических породах	А.Р. в породах континентов	О.Р. в породах континентов	А.Р. в образованиях дна океана	О.Р. в образованиях дна океана
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	$1,7 \cdot 10^{-4}$	<u>2*</u>	13	6,5	13	6,5
Au	79	$4,3 \cdot 10^{-7}$	<u>1,5</u>	6	4	1,5	1
B	5	$1,2 \cdot 10^{-3}$	3,3	33,3	<u>10</u>	76,7	<u>23,2</u>
Ba	56	$6,5 \cdot 10^{-2}$	<u>4000*</u>	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	<u>15,6</u>
Ca	20	3,96	14,9	59,3	4	12,5	0,84
Cd	48	$1,3 \cdot 10^{-6}$	3,8	16,7	4,3	10	2,6
Ce	58	$7 \cdot 10^{-3}$	<u>322</u>	322	1	690	2,14
Cl	17	$1,7 \cdot 10^{-2}$	8,7	52	6	350	40,4
Co	27	$1,8 \cdot 10^{-3}$	<u>150</u>	1500	<u>10</u>	214,3	1,4
Cr	24	$8,3 \cdot 10^{-3}$	<u>800</u>	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
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

Продолжение табл. 2.32

Элемент	№ элемента	Кларк земной коры	А.Р. в магматических породах	А.Р. в породах континентов	О.Р. в породах континентов	А.Р. в образованиях дна океана	О.Р. в образованиях дна океана
Gd	64	$8 \cdot 10^{-4}$	3,6	36	1	76	2,1
Ge	32	$1,4 \cdot 10^{-4}$	<u>1,5</u>	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	$8,3 \cdot 10^{-6}$	<u>1,8</u>	40(13)	<u>22,2(7,2)</u>	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	$4 \cdot 10^{-5}$	<u>1</u>	10(4)	<u>10</u>	10	<u>10</u>
K	19	2,5	<u>1200</u>	1200	1	625	0,5
La	57	$2,9 \cdot 10^{-3}$	<u>140</u>	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	<u>127,5</u>	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	<u>18</u>
N	7	$1,9 \cdot 10^{-3}$	5	166,7(100)	<u>33,3(20)</u>	3,3	0,7
Na	11	2,5	9,62	101	10,5	9,5	1
Nb	41	$2 \cdot 10^{-3}$	2,1	70	<u>32</u>	4,1	1,9
Nd	60	$3,7 \cdot 10^{-3}$	<u>130</u>	130	1	280	2,1
Ni	28	$5,8 \cdot 10^{-3}$	<u>500</u>	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	$1,5 \cdot 10^{-2}$	<u>850</u>	1000	1,2	550	0,6
S	16	$4,7 \cdot 10^{-2}$	<u>1</u>	<u>12,5</u>	<u>12,5</u>	4,3	4,3
Sb	51	$5 \cdot 10^{-5}$	5	40	8	10	2

Окончание табл. 2.32

Элемент	№ элемента	Кларк земной коры	А.Р. в магматических породах	А.Р. в породах континентов	О.Р. в породах континентов	А.Р. в образованиях дна океана	О.Р. в образованиях дна океана
Sc	21	$1 \cdot 10^{-3}$	10	30	3	15	1,5
Se	34	$5 \cdot 10^{-6}$	<u>1</u>	<u>60(12)</u>	<u>60(12)</u>	3,4	3,4
Si	14	29	<u>1,7</u>	15,3	9	7,81	4,6
Sm	62	$8 \cdot 10^{-4}$	36	36	1	76	2,1
Sn	50	$2,5 \cdot 10^{-4}$	10	20	2	3	0,3
Sr	38	$3,4 \cdot 10^{-2}$	<u>465</u>	610	1,3	2000	4,3
Ta	73	$2,5 \cdot 10^{-4}$	4,2	84	<u>20</u>	22	5,2
Tb	65	$4,3 \cdot 10^{-4}$	16	40	25	16	1,0
Th	90	$1,3 \cdot 10^{-3}$	<u>4250</u>	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	2,2	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

Примечание: 2* - минимальный абсолютный разброс в магматических породах

4000** - максимальный абсолютный разброс в магматических породах и максимальный относительный разброс

2(1)*** - в скобках - данные без учета содержания в почвах

Подклассы биогеохимических барьеров к настоящему времени детально не рассматривались. Если присваивать барьерам индексы, используя английский алфавит, биогеохимические фитобарьеры следует обозначать символом *L*, а зообарьеры – *M* (рис. 2.16).



Рис. 2.16. Подклассы биогеохимических барьеров

Подклассы социальных барьеров также пока детально не рассмотрены, но уже сейчас видно, что целесообразно выделение следующих четырех: 1 – бытовые; 2 – строительные; 3 – промышленные; 4 – смешанные (рис. 2.17). Последний подкласс представляет собой зоны складирования (свалки), являющиеся различными сочетаниями бытовых, строительных и промышленных отходов.



Рис. 2.17. Подклассы социальных геохимических барьеров

Однако *каждый из четырех выделенных подклассов социальных барьеров далеко не однороден*. Уже сейчас внутри подкласса промышленных барьеров можно выделить барьеры горных предприятий, различных заводов, фабрик. При детальном исследовании и эти барьеры можно, в свою очередь, разделить. Примером такого деления может быть обособление среди барьеров горных предприятий барьеров, выделяемых по виду добы-

ваемого сырья (барьеры угольных горнорудных предприятий, полиметаллических и т. д.).

Такие барьеры отличаются не только по геохимическим особенностям (по развитию специфических эколого-геохимических изменений в биосфере), но и по возможностям и технологиям переработки накопившегося на них материала, по воздействию на окружающую среду и непосредственно на здоровье людей.

Дальнейшая классификация социальных барьеров пока не разработана, хотя промышленная переработка накопившихся на них веществ и связанные с этими барьерами экологические проблемы уже сейчас требуют более детального рассмотрения и изучения особенностей барьеров.

Бытовым социальным барьерам следует присвоить символ N, строительным – O, промышленным – P, а смешанным – R.

Число подклассов комплексных барьеров может быть чрезвычайно большим, так как возможно наложение друг на друга всех ранее рассмотренных классов (подклассов) геохимических барьеров. Обозначать их целесообразно символами каждого из составляющих барьеров, разделяя их запятыми. Так, совмещение кислородного и сорбционного барьеров, создающее комплексный барьер при выходе на поверхность подземных слабокислых глеевых вод, можно в виде символов представить так: F-6, G.

Классификации барьеров, построенные не по генетическим признакам, учитывают целый ряд признаков, не связанных с генезисом барьеров. Так, в зависимости от размеров выделяют *макрогеохимические барьеры* (протяженность $n \cdot 1000$ м и мощность – $n \cdot 100$ м); *мезобарьеры* (протяженность от $n \cdot 1$ м до 1000 м, мощность до 100 м); *микробарьеры* (их размеры могут колебаться от долей миллиметра до метров). К ним относятся и барьеры, выделяемые А.Л. Ковалевским (1999) в отдельных растениях, и барьеры, на которых формируются рудные прожилки и жилы в пределах месторождений полезных ископаемых.

При движении к одному и тому же барьеру с разных сторон потоков с мигрирующими в них веществами формируются *двусторонние* геохимические барьеры. На них могут концен-

трироваться химические элементы, образующие разнородные ассоциации (Перельман, 1989).

Выделяются А.И. Перельманом, в зависимости от ориентации в пространстве миграционных потоков, и такие барьеры, как *латеральные* и *радиальные (вертикальные)*. Первые образуются при субгоризонтальном, а *вторые* – при субвертикальном направлении потоков с веществами, образующими повышенные концентрации на барьерах. В случае техногенного загрязнения поверхности почв радиальные барьеры являются зоной накопления – осаждения продуктов техногенеза из мигрирующего потока в почвы. Кроме того, они, по мнению Н.П. Солнцевой (1999), являются «основной формой защиты почвенно-грунтовых вод от загрязнения».

Отметим также, что радиальные барьеры формируются не только при движении потоков сверху вниз, но и при движении снизу вверх. Именно на них очень часто начинается распад различных комплексных соединений, поступающих в гидротермах, и на барьерах начинает формироваться вертикальная зональность оруденения, рассмотренная В.А. Алексеенко (1973) и детально описанная Л.Н. Овчинниковым и С.В. Григоряном (1973).

С учетом способа поступления химических элементов на барьер иногда выделяют *диффузионные* и *инфильтрационные барьеры*, хотя обычно при наличии инфильтрационных барьеров возникают и диффузионные. Эта закономерность наблюдается при формировании как микробарьеров, так и макробарьеров.

2.3. Геохимические ландшафты

Эколого-геохимическую роль многих природных и техногенных процессов, а также развитие эколого-геохимических изменений в отдельных регионах целесообразно рассматривать на более низком уровне организации материи, чем биосферный.

Как показал опыт многочисленных исследований, наиболее удобным уровнем является ландшафтно-геохимический. Он включает два основных типа биокосных систем: элементарный и геохимический ландшафты.

Элементарный природный ландшафт, по мнению основателя учения о геохимии ландшафта Б.Б. Польшова, «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».

С точки зрения геохимии при *выделении ландшафтов* учитываются: 1 - *важнейшие источники химических элементов, поступающих в ландшафт*, и 2 – *основные особенности внешних факторов миграции элементов*, получивших в последнее время название ландшафтно-геохимических.

Опыт работы показал, что при прикладном использовании учения о геохимии ландшафта к факторам, о которых писал Б.Б. Польшов, во многих случаях следует добавлять особенности атмосферной миграции элементов, состав подземных вод, вероятное наличие многолетней мерзлоты, режим кислорода и серы. Важнейшим же постоянным источником химических элементов в ландшафте являются почвообразующие (подстилающие) горные породы (Алексеев, 2000; 2006).

Критерий выделения элементарного ландшафта (Перельман, 1975)

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».

Детали ландшафта. Исходя из рассматриваемого выше критерия А.И. Перельмана, пятно солончака можно считать элементарным ландшафтом, а, например, болотную кочку или

муравейник – нельзя. Такие образования называются *детальями ландшафта*.

Элементарный ландшафт. Учитывая все рассмотренные выше положения, к одинаковым природным 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 (Алексеевко, 2000). Кроме того, должны отсутствовать рассмотренные выше внутренние причины, способные ограничивать площадь распространения этих элементарных ландшафтов.

Площадь выявления ландшафта. По мнению А.И. Перельмана (1975), А.И. Перельмана и Н.С. Касимова (1999), площадь выявления относится к числу основных показателей, характеризующих ландшафт. Она представляет собой наименьшую площадь, на которой размещаются все части рассматриваемого ландшафта.

Мощность ландшафта определяется расстоянием от зоны распространения в тропосфере пыли земного происхождения и обитания организмов до горизонта грунтовых вод (Перельман, 1975).

Действенная мощность. При большинстве практических работ, проводимых на ландшафтно-геохимической основе, мощность ландшафта ограничивают сверху приземной атмосферой, охватывающей воздушные слои над самыми высокими растениями и самыми высокими постройками в ландшафтах, созданных и преобразованных человеком, а снизу – коренными горными породами (корами выветривания). Ее предложено назвать *действенной мощностью* (Алексеевко, 2000).

Вертикальное строение ландшафта обуславливается наличием закономерно сменяющихся друг друга ярусов-горизонтов (рис. 2.18). Обычно выделяют ярусы надземной (приземной) атмосферы, надземного растительного покрова, почв, кор выветривания, горных пород. При крупномасштабных исследованиях возможно и более дробное деление ландшафта по вертикали. Так, например, ярус растительного покрова можно разделить на ярусы мхов, трав, кустарников, подроста молодых деревьев и взрослых деревьев.

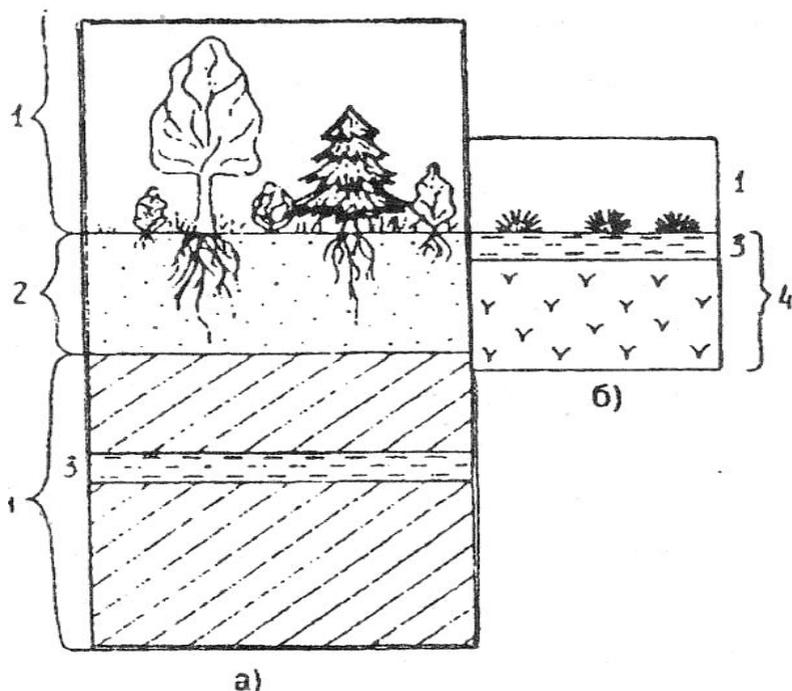


Рис. 2.18. Вертикальный профиль ландшафтов: а – лесного, б – болотного

Каждый ярус играет определенную роль в биологическом круговороте элементов в ландшафте и по-своему реагирует на происходящие эколого-геохимические изменения.

Однако не все ярусы могут быть представлены во всех элементарных ландшафтах. Обязательно следует отметить, что,

как правило, каждый ярус - горизонт (даже малой мощности, выделяемый только лишь при детальных работах) отличается от соседних химическим составом, а часто – и особенностями миграции элементов.

Техногенный элементарный ландшафт представляет собой элементарный ландшафт (см. выше), в котором миграция химических элементов во многом (основном) определяется техногенными процессами.

Отдельные техногенные ландшафты можно объединить в сельскохозяйственные, промышленные, лесотехнические, ландшафты населенных пунктов (селитебные), дорожные ландшафты и ландшафты военных ведомств (табл. 2.33).

Все перечисленные ниже техногенные ландшафты отличаются друг от друга по следующим основным особенностям техногенной миграции:

- количеству и формам нахождения химических элементов в веществах, поступающих техногенным путем в ландшафт и выводимых из ландшафта;
- периодичности техногенного поступления и удаления веществ из ландшафта;
- кислотно-щелочным и окислительно-восстановительным условиям в различных ярусах-горизонтах рассматриваемого техногенного ландшафта;
- перемещению химических элементов как из рассматриваемого техногенного ландшафта в соседние (техногенные и природные), так и из соседних рассматриваемый ландшафт.

Кроме того, выделенные техногенные ландшафты отличаются один от другого по существованию и особенностям протекания в их пределах рудиментарного биологического круговорота элементов. Подробно все перечисленные особенности миграции элементов рассмотрены в книге В.А. Алексеенко «Экологическая геохимия» (2000).

Схема классификации геохимических ландшафтов суши

Классификационные уровни	Ведущие признаки объединения геохимических ландшафтов на данном уровне	Ландшафты, объединенные на каждом уровне		
I	Преобладающие ведущего вида миграции	Биогенные		
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.
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 ₂ S) 3. С сероводородной обстановкой		
		Всего 21 класс водной миграции		
IV	Характеристика подземных вод	1. С окислительной обстановкой (свободным O ₂) 2. С восстановительной глеевой обстановкой (без свободного O ₂ и H ₂ S) 3. С сероводородной обстановкой		

Таблица 2.33

(по В.А. Алексеенко)

Техногенные					Абио генные
1. Сельскохозяйственные	Сельскохозяйственные: *С севооборотом однолетних культур: *то же многолетних культур: *животноводческие	Многолетние культуры: *сады, *виноградники, *чайные плантации *ягодные плантации *ореховые плантации	Однолетние культуры: *мелиорируемые *немелиорируемые	Мелиорируемые: *осушаемые *орошаемые *периодически заливаемые	Ледники
2. Промышленные					
3. Лесотехнические					
4. Населенные пункты					
5. Дорожные					
6. Военные					
1. Сильнокислые (рН<3)	С различным набором гипоморфных водных мигрантов: H ⁺ ; Al ³⁺ ; Fe ³⁺ ; Ca ²⁺ ; Na ⁺ ; K ⁺ ; SO ₄ ²⁻ ; HSO ₃ ³⁻ ; Cl ⁻ ; OH ⁻ и др.	С различным содержанием органических соединений			
2. Кислые и слабокислые (рН=3-6,5)					
3. Нейтральные слабощелочные (рН=6,5-8,5)					
4. Сильнощелочные (рН>8,5)					
(по А.И. Перельману)					
1. Сильнокислые (рН<3)	С различным набором гипоморфных водных мигрантов			С различным набором типоморфных водных мигрантов	
2. Кислые и слабокислые (рН=3-6,5)					
3. Нейтральные слабощелочные (рН=6,5-8,5)					
4. Сильнощелочные (рН>8,5)					

Клас- сифи- каци- онные уровни	Ведущие при знаки объеди- нения геохи- мических ландшафтов на данном уровне	Ландшафты, объединенные на каждом уровне	
V	Особенности воздушной миграции	Подвержены воздушной эрозии	
VI	Отношение к многолетней мерзлоте	С отсутствием многолет- ней мерзлоты	С островным разви- тием многолетней мерзлоты
VII	Геоморфоло- гические особенности	1.Равнинные области 2.Низкогорье и среднегорье 3.Высокогорные области	
VIII	Особенности постоян- ного природного источ- ника химических эле- ментов, поступающих в ландшафт (почвопо- стиляющие породы)	1.Осадочные породы 2.Магматические породы 3.Интенсивно метаморфизированные породы	

Не подвержены воздушной эрозии		С современным отложением эолового материала
	С развитием прерывистой многолетней мерзлоты	Со сплошным развитием многолетней мерзлоты
Равнинные области: *элювиальные *транэлювиальные *трансаккумулятивные *транссупераквальные		Элювиальные: *островершинные *плосковершинные
Осадочные породы: *карбонатные *терригенные *карбонатно-терригенные	Карбонатные породы: *известковые *доломитовые *известковые с конкрециями сидерита	Известковые породы: *сидурийского возраста, обогащенные Рb *девонского возраста, обогащенные металлами и т.д.

В настоящее время идет непрерывное возрастание площадей, занимаемых техногенными ландшафтами. По самым грубым подсчетам, на их долю приходится уже около 60% территории суши Земли (за исключением Антарктиды) (Арский и др., 1997), а за 100 лет их площадь возросла в 3 раза.

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

Геохимические ландшафты, по определению Перельмана, – «это парагенетическая ассоциация сопряженных элементарных ландшафтов, связанных между собой миграцией элементов». Наибольшее значение для осуществления связей между элементарными ландшафтами, составляющими один геохимический ландшафт, имеют поверхностный и подземный стоки.

Сравнение геохимических ландшафтов с экосистемами позволяет сделать следующие общие выводы:

- Экосистемы и геохимические ландшафты являются не только отдельными частями биосферы, они представляют собой 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.

- 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 применяются 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.

Каскадные ландшафтно-геохимические системы. Ряд исследователей (Глазовская, 1968; Чорли, Кеннеди, 1971; Касимов, Самонова, 2004) природные системы с однонаправленными потоками вещества называют *каскадными ландшафтно-геохимическими системами*.

Катены – наиболее просто организованные ландшафтно-геохимические системы сопряженных элементарных ландшафтов на склоне.

Межбарьерные геохимические ландшафты, выделенные В.А. Алексеевко, представляют собой совокупности элементарных ландшафтов, характеризующиеся единым основным видом миграции элементов и расположенные между двумя одинаковыми геохимическими барьерами по ходу миграции.

Барьеры, между которыми выделяются межбарьерные ландшафты, должны относиться к одному и тому же подклассу физико-химических, механических или биогеохимических барьеров.

При поисках месторождений и выявлении источников загрязнения следует опробовать геохимические барьеры, расположенные по ходу основного потока мигрирующих элементов. Обычно такими потоками являются поверхностные, реже подземные, постоянные и временные водотоки. Появление повышенных концентраций определенных элементов (их соединений) на одном из барьеров позволяет ограничить область, являющуюся источником повышенной концентрации этих веществ. Ею будет межбарьерный геохимический ландшафт, расположенный выше указанного барьера по потоку миграции.

Если барьер с повышенной концентрацией веществ был физико-химический, значит, миграция этих веществ в потоке происходила в основном в виде растворов. Если механический – то чаще всего в форме минералов или коллоидов. Эти данные существенно облегчают поиск источника рассматриваемых веществ, а в случае решения проблем охраны окружающей среды представляют собой информацию о способе перемещения загрязняющих химических элементов (их соединений) в изучаемом миграционном потоке.

Как пример рассмотрим межбарьерные ландшафты одной из рек. Если нас интересуют поллютанты, находящиеся в минеральной форме и осаждающиеся на механических барьерах, то межбарьерные ландшафты необходимо выделять между механическими барьерами (рис. 2.19). Для предварительного выявления источника загрязнения опробование целесообразно осуществлять в этом случае только на механических барьерах. Если повышенные концентрации поллютантов обнаружены лишь на барьере М₃, то источник их поступления в реку находится в

пределах ландшафта, ограниченного барьерами M_2 и M_3 (рис. 2.19).

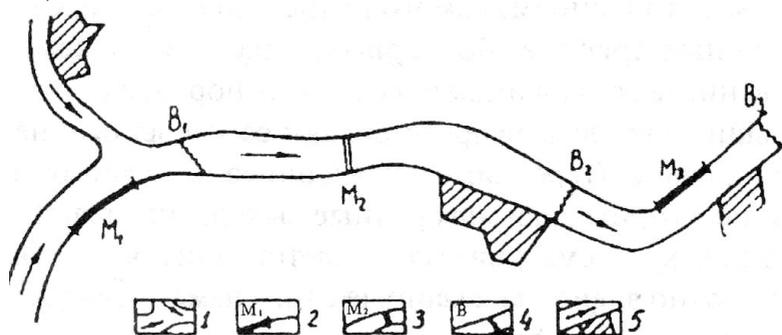


Рис. 2.19. Межбарьерные ландшафты в реке

Если поллютанты, например тяжелые металлы, мигрируют в форме растворов и осаждаются в присутствии H_2S , опробование следует производить на сероводородных барьерах в донных отложениях. При обнаружении повышенной концентрации тяжелых металлов только на втором сероводородном барьере источник загрязнения должен находиться в пределах ландшафта, ограниченного барьерами B_1 и B_2 (рис. 2.19).

Очень часто поллютанты на одной и той же территории мигрируют в нескольких различных формах. В этом случае для выявления нескольких источников загрязнения на одной и той же территории приходится выделять, как правило, несколько различных межбарьерных ландшафтов. Частично они могут взаимно перекрывать друг друга; именно такой случай представлен на рис. 2.19.

Поисковые геохимические ландшафты. В настоящее время учение о геохимических ландшафтах на практике используется не только для решения многочисленных экологических проблем, но и при поисках месторождений полезных ископаемых. В связи с этим, несмотря на эколого-геохимическую направленность пособия, мы все-таки сочли нужным коснуться некоторых чисто геологических, а точнее геолого-геохимических проблем.

В соответствии с законом развития эколого-геохимических изменений в ландшафте изменения, произошедшие в одной части (ярусе) ландшафта, постепенно скажутся во всех его частях. При поисках месторождений необходимо учитывать две основные особенности развития изменений, связанных с разрушением (выветриванием) самого рудного тела и сопровождающих его первичных ореолов. *Во-первых*, в рассматриваемых случаях выветривание всегда начинается с горных пород, а они в подавляющем большинстве случаев представляют собой основание (нижнюю часть) ландшафта. *Во-вторых*, рассматриваемое выветривание, как правило, началось достаточно давно, и связанные с ним изменения уже сказались во всех частях ландшафта.

Указанные особенности позволяют считать, что сведения о разрушающихся рудах (соответствующие геохимические аномалии) могут быть получены при использовании *целого ряда методов поисков*: литохимических по первичным и вторичным ореолам, биохимических, гидрохимических и т. д. При выборе определенного метода решающую роль играют стоимость проектируемых работ и информативность о геохимических изменениях коренных горных пород в опробуемых частях (в первую очередь в верхних ярусах) ландшафтов. Последнее зависит от ландшафтно-геохимических особенностей территории.

Ландшафты, в верхних ярусах которых устанавливается примерно одинаковая информативность об изменениях геохимических особенностей коренных горных пород, В.А. Алексеенко предложено (1989) называть **поисковыми ландшафтами**. Это позволяет для каждого из таких участков выбрать один (или несколько) наиболее эффективный метод поисков. Однако следует помнить, что одинаковой информативность может быть только при одном и том же масштабе поисков.

Классификация геохимических ландшафтов. Подробные классификации геохимических ландшафтов разработаны отдельно для ландшафтов суши и для аквальных ландшафтов. К числу наиболее распространенных относятся классификации А.И. Перельмана, М.А. Глазовской, В.А. Алексеенко. Каждая из них имеет свои преимущества и свои недостатки. Классификационная система, предлагаемая

В.А. Алексеенко, базируется на ряде таксономических уровней. Она дает возможность без существенного переделывания заменять отдельные классификационные уровни (убирать одни из них и вводить другие, новые). Так, уже после государственного издания (под ред. А.И. Перельмана) первых региональных карт геохимических ландшафтов появилась необходимость введения в предлагаемую классификацию самостоятельных таксономических уровней, позволяющих учитывать особенности атмосферной (воздушной) миграции химических элементов, а также уровней, характеризующих геохимические особенности подземных вод, наличие многолетней мерзлоты (карты геохимических ландшафтов Ставропольского края, Воронежской области, Нижнего Приангарья и другие карты государственного издания). С некоторыми местными вариациями система, основанная на таксономических уровнях, используется при практических работах в разных регионах.

Все ландшафты, выделяемые по предлагаемой схеме, отличаются друг от друга по эколого-геохимическим особенностям и их развитию под воздействием различных природных и техногенных факторов. Опыт качественной и количественной оценки эколого-геохимического состояния территорий, находящихся в различных климатических зонах и в различных ландшафтных условиях (как природных, так и техногенных), а также оценки происходящих в них (территориях) изменений показал, что использование при этих практических работах ландшафтно-геохимических карт, составленных по предлагаемым в пособии схемам, дает чрезвычайно хорошие результаты при простоте выполнения.

Предлагаемая классификация подробно уже рассматривалась в монографиях и учебниках В.А. Алексеенко для студентов вузов (1990, 1997, 2000, 2006 и др.).

На первом 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 разделены на три группы: биогенные, абиогенные и техногенные.

На втором уровне ландшафты объединяются исходя из особенностей ведущего вида миграции. Соответственно, при этом для биогенных ландшафтов учитываются основные био-

генные факторы, влияющие на миграцию элементов, а для техногенных ландшафтов – техногенные.

Для **биогенных ландшафтов** такими факторами являются общая биомасса (обычно она измеряется в т/га) и ежегодная продукция, т.е. биомасса, прирост за один год. С учетом этих показателей А.И. Перельманом выделены следующие пять групп ландшафтов: 1 – леса; 2 – степи (луга, саванны); 3 – пустыни; 4 – тундры и верховые болота; 5 – примитивные пустыни. Выделенные группы ландшафтов, как правило, занимают большие территории. Без дальнейшего подразделения они могут использоваться только при составлении обзорных ландшафтно-геохимических карт масштаба менее 1: 2 000 000. При всех исследованиях в более крупном масштабе В.А. Алексеенко было предложено более детально учитывать непосредственный состав растительности.

В качестве примера для второго уровня рассматриваются леса, среди которых с увеличением масштаба работ сначала выделяются лиственные, смешанные и хвойные. Затем при необходимости среди лиственных лесов можно выделить дубовые, тополевые, ольховые и т.д. Опыт работ показал, что даже только смена растительных ассоциаций может привести к изменению содержания ряда химических элементов как в растениях (даже если это один и тот же вид), так и в почвах.

Большой опыт работ показал, что с увеличением масштаба исследований рассмотренного выше объединения **техногенных ландшафтов** бывает недостаточно. В связи с этим В.А. Алексеенко было предложено более подробное обособление сельскохозяйственных ландшафтов (рис. 2.20), промышленных (рис. 2.22), лесотехнических (рис. 2.21), дорожных (рис. 2.23) и ландшафтов населенных пунктов (рис. 2.24).

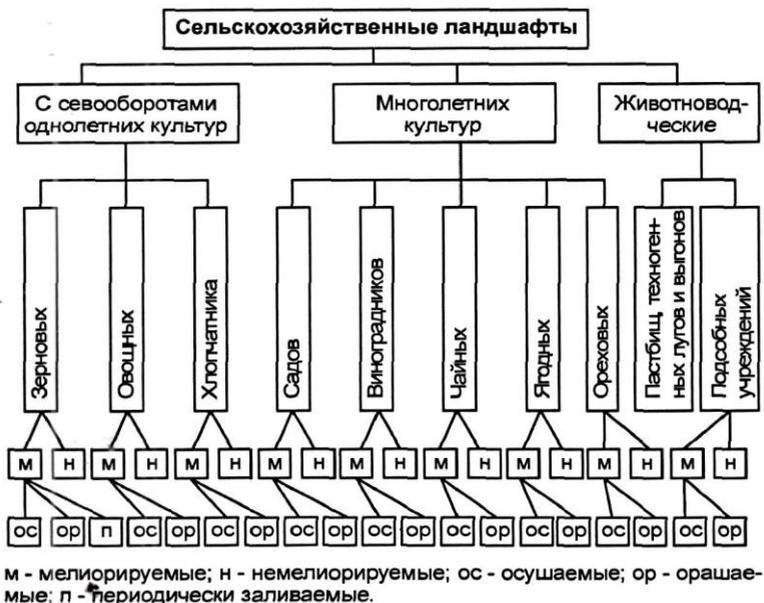


Рис. 2.20. Схема объединения сельскохозяйственных геохимических ландшафтов на втором классификационном уровне

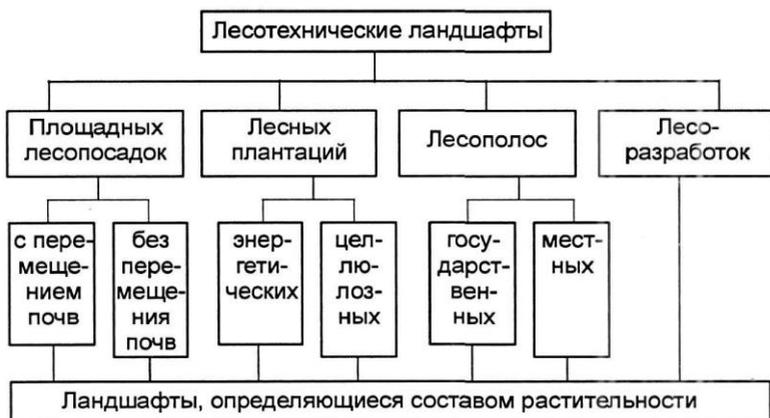


Рис. 2.21. Схема объединения лесотехнических ландшафтов на втором классификационном уровне



Рис.2.22. Схема объединения промышленных геохимических ландшафтов на втором классификационном уровне



Рис. 2.23. Схема объединения дорожных ландшафтов на втором классификационном уровне



Рис. 2.24. Схема объединения ландшафтов населенных пунктов на втором классификационном уровне

На третьем классификационном уровне все ландшафты (природные и техногенные) объединяются в зависимости от особенностей миграции химических элементов в почвах. При этом учитываются окислительно-восстановительная обстановка, щелочно-кислотные условия, набор типоморфных элементов и различное содержание органических соединений (табл. 2.34). Роль перечисленных факторов миграции рассматривалась А.И. Перельманом. С их учетом он выделял 21 класс возможного объединения ландшафтов (табл. 2.34).

**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 ₂ S)	H ₂ S (восстановительная обстановка)
Сильнокислые	H ⁺ , SO ²⁻ , иногда Al ³⁺ , Fe ³⁺	I. Сернокислый	XI. Сернокислый оглеение	XVII. Сернокислый сульфидный
	Fe, Cr, Al ³⁺ , Fe ³⁺	Ц. Солянокислый	–	–
Слабокислые	H ⁺ , органические кислоты, HCO ₃ ⁻	III. Кислый (H ⁺) IV. Кислый на кварцевых песках (Ff) V. Кислый, переходный к кальциевому (H ⁺ –Ca ²⁺)	XII. Кислый глеевый (H ⁺ –Fe ²⁺)	XVIII. Кислый сульфидный
Нейтральные и слабощелочные	Ca ²⁺ (Na ⁺ , Fe ²⁺)	VI. Кальциевые (Ca ²⁺) VII. Кальциево-натриевые (Ca ²⁺ -Na ⁺)	XIII. Карбонатный глеевый (Ca ²⁺ –Fe ²⁺)	XIX. Нейтральный карбонатный, сульфидный
	Cl Na ⁺ , SO ²⁻ ₄ , Ca ²⁺	IX. Соленосный (Na ⁺ , Cl ⁻ , SO ²⁻ ₄) VIII. Гипсовый	XIV. Соленосный глеевый XV. Гипсовый глеевый	XX. Соленосный сульфидный (Na ⁺ –H ₂ S)
Сильнощелочные	OH ⁻ , Na ⁺ , HCO ₃ ⁻ , SiO ₂	X. Содовый (Na ⁺ -OH ⁻)	XVI. Содовый глеевый	XXI. Содовый сероводородный (Na ⁺ -OH- H ₂ S)

Опыт ландшафтно-геохимических исследований различного масштаба показывает, что миграция химических элементов в почвах также во многом определяется содержанием и соотношением в них различных органических кислот, которым при классификации ландшафтов необходимо уделять такое же внимание, как и типоморфным элементам.

Обычно при засолении почв (соленосные, гипсовые и содовые классы в табл. 2.34) происходит при прочих равных условиях концентрация в них и ряда тяжелых металлов. Это еще больше увеличивает степень эколого-геохимических изменений, вызванных засолением почв.

Четвертый классификационный уровень предусматривает учет влияния на миграцию химических элементов в ландшафте геохимических особенностей подземных вод. Объединение ландшафтов на этом уровне, а следовательно, и использование этого уровня при классификации ландшафтов проводятся сравнительно редко и, как правило, при недавно происшедшем загрязнении вод.

На пятом классификационном уровне биогенные и техногенные ландшафты объединяются с учетом особенностей воздушной (атмосферной) миграции элементов.

Опыт работ показал, что на этом уровне целесообразно объединять ландшафты: *1) подверженные воздушной эрозии; 2) не подверженные воздушной эрозии; 3) с современным отложением олового материала.*

Шестой классификационный уровень используется сравнительно редко, так как факторы миграции элементов, учитываемые на нем, связаны с наличием (или только частичным наличием) многолетней мерзлоты. Следовательно, учет указанных факторов проводится лишь в районах со специфическими климатическими условиями. С учетом факторов миграции, определяемых многолетней мерзлотой, ландшафты целесообразно объединять 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.

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; 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), аккумулятивные и трансаккумулятивные (нижних частей склонов), трансупераквальные (на участках склонов надводных ландшафтов; сюда же следует относить пойменные ландшафты), супераквальные (надводные) и субаквальные (подводные). Особо рассматриваются водные (аквальные) ландшафты.

Рассмотренные особенности классификации ландшафтов на седьмом классификационном уровне являются общими и для природных, и для техногенных ландшафтов.

Восьмой классификационный уровень введен для учета влияния на геохимические особенности ландшафта почвообразующих (подстилающихся) горных пород и кор выветривания, которые являются постоянными источниками химических элементов, поступающих в ландшафт снизу. С нашей точки зрения, при составлении ландшафтно-геохимических карт этот уровень должен учитываться **практически всегда**.

Подробные классификации **водных ландшафтов** рассмотрены в монографиях В.А. Алексеенко (1997; 2006) и учебнике (2000).

Классификация ландшафтов населенных пунктов. Селитебные ландшафты занимают сравнительно небольшую территорию – менее 5% земельного фонда. Точно занимаемая ими площадь не подсчитывалась, так как обычно совместно с ними учитываются промышленные и дорожные ландшафты. В целом на такое объединение геохимических ландшафтов, по данным В.А. Николаева (2004), приходится всего около 6% суши Земли. Однако на этой площади находится практически все население

планеты. Эколого-геохимическими особенностями селитебных ландшафтов во многом определяется безопасность жизнедеятельности людей. Поэтому ландшафтам населенных пунктов, а точнее их эколого-геохимическим особенностям, уделяется в последнее время все больше внимания многих исследователей. Так, был подготовлен ряд монографий и учебных пособий, в которых с различными подходами рассматриваются эколого-геохимические проблемы селитебных ландшафтов.

Как уже указывалось в этой главе, при исследованиях, охватывающих относительно большие территории, на которых обычно расположено несколько населенных пунктов, последние обособляются в отдельные ландшафты с учетом техногенной миграции элементов, характерной для каждого из них. Если же исследования ограничиваются площадью, занимаемой одним населенным пунктом (а в больших городах, возможно, только его частью), целесообразно обособлять менее крупные ландшафты, составляющие в сумме один ландшафт этого пункта, выделяемый при работах в более мелком масштабе.

Когда из множества эколого-геохимических изменений нужно выделить только лишь зоны с существенно повышенными (пониженными) концентрациями определенных химических элементов (их соединений), составлять карты химических ландшафтов населенного пункта не имеет смысла. В этом случае по результатам анализов проб достаточно составить карты изоконцентраций и выделить наиболее загрязненные участки. Если же требуется узнать, какие природные и техногенные факторы вызвали эти изменения, а также если требуется разработка мероприятий по улучшению (недопущению ухудшения) существующей обстановки, **обособление отдельных ландшафтов, составляющих в сумме единый селитебный, становится необходимым.**

В.А. Алексеенко (1991) предложена и опубликована классификация таких ландшафтов, основанная, так же, как и рассмотренная выше, на использовании принципа таксономических уровней. Впервые с ее использованием были составлены схемы ландшафтного строения Ростова-на-Дону (1980), карты г. Стаханова (Украина) и Новороссийска (1989).

Учитывая большое значение селитебных ландшафтов, а также неравномерность распределения в городах ландшафтов с определенными условиями миграции и концентрации элементов, приводим отдельно классификацию ландшафтов, составляющих в сумме единый ландшафт населенного пункта.

Первый таксономический уровень. Классификация городских геохимических ландшафтов ведется с учетом особенностей ведущего в них вида миграции химических элементов - техногенного. По этому признаку в первую очередь выделяются ландшафты **предприятий, жилых зон, улиц, зон, занятых военными ведомствами, зон рекреации и отдыха, пустырей, кладбищ.**

К ландшафтам предприятий относятся территории, расположенные в пределах населенных пунктов и занятые различными промышленными предприятиями (фабрики, заводы и их отдельные цеха, мастерские, автомобильные, троллейбусные и трамвайные парки, электростанции и т. п.), карьерами и шахтами. К этим же ландшафтам относятся территории, занятые застройками, необходимыми для эксплуатации перечисленных предприятий.

С точки зрения миграции элементов городские ландшафты предприятий практически идентичны промышленным, 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 предприятия. Кроме того, в городах меньше рассеяние поллютантов, особенно аэрозолей, чем за его пределами.

Рассматривая ландшафты предприятий, следует иметь в виду, что в процессе работы многих из них может происходить и весьма своеобразное загрязнение – электромагнитное, тепловое, звуковое (шумовое), радиоактивное. Рассматриваемые виды загрязнения также представляют собой экологические изменения.

При крупномасштабных исследованиях, проводимых на территории населенных пунктов, а также при эколого-геохимической паспортизации иногда требуется более дробное

деление ландшафтов предприятий. Основой деления и в этих случаях продолжают оставаться особенности техногенной миграции и концентрации химических элементов.

В первую очередь целесообразно отдельно выделять 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, рынков**, 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, так и выносимых в соседние ландшафты населенного пункта.

Ландшафты жилых зон, как правило, занимают 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 населенных пунктов с одноэтажными домами и приусадебными участками. Однако БИК в жилых зонах городов существенно отличается от круговорота в соседних городских ландшафтах.

От этажности домов в жилых зонах прямо и косвенно во многом зависят особенности поступления, перемещения, накопления и выноса очень многих химических элементов (соединений). Также от этажности часто зависят направление, скорость и соотношение в воздушном потоке турбулентного и ламинарного перемещений. При прочих равных условиях эти показатели становятся определяющими 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 ней 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 не только элементов 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, а часто и формы 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). Эти особенности также во многом определяют экологическое состояние многих районов.

Таким образом, сочетание в ландшафтах жилых зон зданий различной этажности может считаться для них основным эколого-геохимическим показателем. В соответствии с этим показателем следует разделять рассматриваемые ландшафты при детальном 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 также не имеют природных аналогов. К ним относятся проезжие части дорог и тротуаров (часто с посадками различных растений) до жилых зданий, промпредприятий или заборов, огораживающих 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, не концентрируясь в ландшафтах улиц.

Как и в остальные ландшафты населенных пунктов, в уличных значительная часть элементов поступает через атмосферу. При этом, в отличие от соседних ландшафтов, в приземном воздухе улиц в настоящее время значительную роль играют выхлопные газы 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 зависят 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 на улицах обычно не происходит. Сами же они являются источником 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 зон рекреаций и отдыха располагаются как в центре, так и на окраинах населенных пунктов. К ним относятся парки, стадионы, скверы и спортивные площадки, парко-

вые 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 биологов - твердых, жидких и газообразных продуктов жизнедеятельности 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 рекреаций 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 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 с неравномерной застройкой отдельных районов, при которой остаются, обычно на непродолжительное время, 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 в 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 стоки вод от них. Они не должны происходить в сторону существующих или проектируемых городских ландшафтов.

Среди городских ландшафтов практически всех населенных пунктов встречаются *различные образовательные заведения, детские сады, 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, особенно с небольшим числом жителей, значительная часть сельхозпро-

дукции (фрукты, овощи, разнообразные травы для растительных приправ) поставляется с приусадебных участков. Во избежание отравлений и для получения экологически чистой продукции зоны с определенными сельскохозяйственными культурами, находящиеся в черте населенных пунктов, 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 в почвах большинства химических элементов, в том числе металлов, с особенностями развития живых организмов и концентрацией в них этих элементов рассмотрена во многих работах (Стайлс, 1949; Перельман, 1975, 1989; Добровольский, 1983). 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 (окислительная – 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. Целе-

сообразно также отмечать *щелочно-кислотные свойства грунтовых вод и режим кислорода и серы*, так как эти показатели в водах и почвах различных частей населенных пунктов могут отличаться весьма существенно и являться значительными эколого-геохимическими изменениями.

Четвертый таксономический уровень. На данном уровне городские ландшафты объединяются с учетом *геоморфологических особенностей территории*. В условиях населенных пунктов удобно объединять *элювиальные, трансэлювиальные, трансаккумулятивные, аккумулятивные*. Друг от друга они в первую очередь отличаются по особенностям механической миграции элементов и 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.

ЧАСТЬ III

ПРАВИЛА, ЗАКОНОМЕРНОСТИ, ЗАКОНЫ

3.1. Распространенность, распределение и концентрация химических элементов в литосфере

Как уже указывалось во «Введении», деление большинства законов и закономерностей на геологические, биологические и эколого-геохимические довольно условно. Это объясняется тем, что они тесно связаны между собой, а основные геолого-геохимические закономерности сказываются в определенной мере и на эколого-геохимических и на собственно биологических закономерностях. При рассмотрении геолого-геохимических особенностей биосферы мы в основном учитывали закономерности строения и развития её косной части – горных пород, хотя некоторые законы (например, закон Кларка–Вернадского) касаются не только косной, но биокосных оболочек Земли и живого вещества нашей планеты.

Закон Кларка – Вернадского о рассеянии химических элементов обычно формулируется так:

В любом природном объекте Земли (в любой геохимической системе) содержатся все химические элементы, находящиеся в ее коре.

Имя закона дано геохимиком Н.И. Сафроновым в память об этих двух выдающихся ученых. Впервые закон рассеяния химических элементов был сформулирован В.И. Вернадским. В 1909 г., выступая на XII съезде русских естествоиспытателей и врачей, он сказал: «В капельке и пылинке 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., 1954).

В настоящее время при анализе отдельных систем и происходящих в них изменений ряд элементов пока еще не выявлен. Однако в этих случаях речь может идти не о нарушении рассматриваемого закона, а о недостаточной чувствительности методов, используемых для выявления элементов, находящихся в очень малых концентрациях. Ряд исследователей полагает, что пределом рассеяния можно считать концентрацию, соответствующую одному атому в 1 см^3 вещества.

Следствиями из закона Кларка Вернадского, учитывающими особенности распространенности элементов в земной коре, можно считать следующие положения:

- Процесс эволюционного развития живого вещества происходил в среде со всеми известными химическими элементами, некоторые из них (радиоактивные) к настоящему времени в земной коре вымерли.

- Для живых организмов нет элементов «вредных» и «полезных». В каждом конкретном случае можно говорить лишь об опасных (и даже токсичных) концентрациях элементов, которые могут быть как очень высокими, так и очень низкими.

Закономерности распространенности химических элементов в земной коре изучались очень многими учеными (Кларк, Вернадский, Ферсман, Перельман, Сауков и др.). Одно из наиболее полных обобщений этих закономерностей было сделано А.Е. Ферсманом (1954-1959). Для наглядности сделанных обобщений он построил полулогарифмический график, на котором по вертикальной оси откладывались логарифмы средних содержаний элементов (логарифмы кларков земной коры), а по горизонтальной – порядковые номера атомов этих элементов (рис. 3.1)

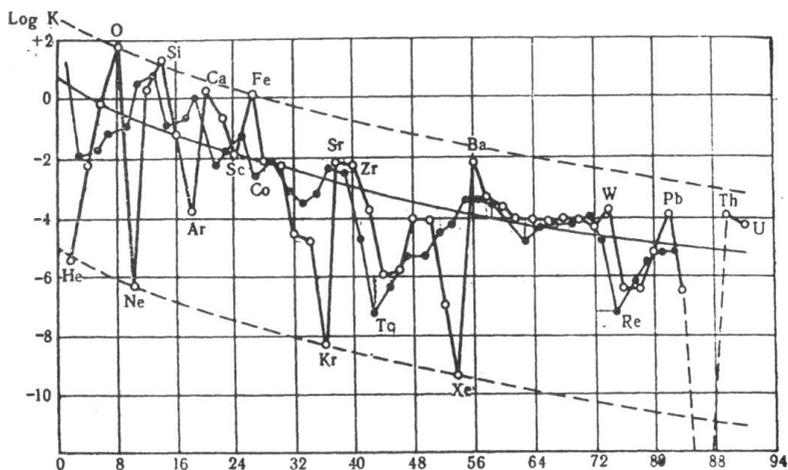


Рис. 3.1. Логарифмы атомных кларков химических элементов (по А.Е. Ферсману)

Часть установленных закономерностей следует относить к правилам и законам. Основные из них, вероятно, действовали еще на ранних этапах формирования Земли и имеют космический характер.

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 немногим 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.

2. Рассматривая кривую Ферсмана (рис. 3.1), 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. 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, В. Малая распространенность благородных газов объясняется двумя гипотезами: *первая* предполагает их постоянный отток от Земли – так называемое *«гелиевое дыхание Земли»*. Эта гипотеза является более распространенной 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, В обычно объясняются недостаточной устойчивостью их атомных ядер. Это подтверждается экспериментальными данными.

3. **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 (Реймерс, 1990) в настоящее время свободный кислород образуется со скоростью $1,55 \cdot 10^9$ т/год, а расходуется со скоростью $2,16 \cdot 10^{10}$ т/год. Таким

образом, сейчас расход свободного кислорода в ноосфере более чем в 10 раз превышает его образование.

4. **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.

5. **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, представляющей верхний слой земной коры с существенной ролью гидросферы и атмосферы, преобладание легких элементов выражено еще более контрастно.

6. 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%.

7. **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.

8. 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):

$^{16}\text{O} - 99,75$	$^{32}\text{S} - 95,1$	$^{34}\text{S} - 4,22$
$^{17}\text{O} - 0,04$	$^{33}\text{S} - 0,75$	$^{36}\text{S} - 0,02$
$^{18}\text{O} - 0,20$		

9. 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.

Учитывая рассмотренные выше закономерности распространенности химических элементов в земной коре и связь среднего содержания в ней элементов (их кларковых содержаний) со строением ядра этих элементов, **А.Е. Ферсман писал в 1944 г. о кларках: «Геохимия овладела новой константой мира».**

Анализ особенностей распространенности химических элементов в земной коре, с точки зрения ее, как определяющего геохимического фактора среды обитания организмов, позволил В.А. Алексеенко сформировать следующее **правило влияния геохимических особенностей среды существования организмов на их эволюционное развитие:**

Процесс эволюционного развития живых организмов происходил в среде с резким преобладанием легких химических элементов над тяжелыми.

Исходя из этого, становятся понятными токсичность для организмов тяжелых металлов при их повышенной концентрации и «биологическая важность» более легких элементов в сфере существования живых организмов.

Правило А.И. Перельмана о роли ведущих элементов в системе:

Геохимические особенности систем во многом определяются ведущими элементами, имеющими высокие кларки, активно мигрирующими и накапливающимися в этой системе.

Ведущие элементы часто называются типоморфными. Геохимическое разнообразие биосферы в целом определяется

кислородом, углекислым газом и серой. В океане типоморфными являются O, растворенный в воде, Na^+ , Cl^- ; в таежных болотах – Fe^{2+} , H^+ , Mn^{2+} ; в зонах засоления, связанных с орошением земель, – Ca^{2+} , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} .

Правило кларковых содержаний было сформулировано В.А. Алексеевко (2006):

Каждая геохимическая система характеризуется довольно строго ограниченным содержанием (кларковым содержанием) всех составляющих ее химических элементов.

Первоначально (1981, 2000) правило рассматривалось для косных геохимических систем (горных пород). Однако последующие исследования показали его действенность и в случаях с биокосными системами (почвами) и с живым веществом. Ранее по содержаниям наиболее распространенных химических элементов проводилось разделение магматических пород.

Закономерности распределения химических элементов в земной коре удобнее всего рассматривать, используя показатель абсолютного разброса химических элементов (AP). Отметим, что для развития всего живого вещества Земли не менее чем абсолютная концентрация каждого из элементов важны 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, по В.А. Алексеевко (2000) определялся абсолютный разброс содержания для каждого элемента.

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 при очень низких концентрациях в окружающей (питающей) среде конкретного элемента. Это явление довольно хорошо изучено по отношению к растениям в связи с поисками ме-

сторождений полезных ископаемых. Так, ряд растений произрастает только над рудами, где содержание металлов в сотни тысячи раз выше, чем во вмещающих их породах. Другие растения, находящиеся в этих же условиях, или погибли, или приобрели совершенно нехарактерные физиологические и морфологические особенности. 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 пород.

Отметим, что мы, вслед за В.И. Вернадским, считаем, что жизнь на Земле возникла одновременно с формированием планеты. Кроме того (с определенной долей условности), принимаем, что уже к началу формирования чехла осадочных пород у поверхности Земли существовали ультраосновные, основные, средние и кислые магматические породы. Если же предположить, что первичный состав магматических пород был более однородным, то последующие расчеты ОР, учитывающие образование осадочных пород, будут еще более значимы по степени вероятного воздействия изменений на живое вещество.

К основным закономерностям распределения химических элементов в земной коре следует отнести следующие:

1. Величины АР различных химических элементов в магматических породах колеблются в широких пределах: 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. Большой разброс кларков элементов магматических пород 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 стать чрезвычайно высоким – превысить максимальные кларки элементов магматических пород в количествах, соответствующих их разбросу,

т.е. в сотни и тысячи раз. Естественно, для того чтобы такие изменения вызвали мутацию или вымирание определенных видов организмов, они должны охватывать большие территории, а не ограничиваться отдельными рудными телами.

2. По величинам абсолютных разбросов элементы, составляющие магматические породы, разделяются на 3 основных группы, из которых наибольшие отличия характерны для первой и третьей групп. Для разделения химических элементов на группы все значения абсолютных разбросов элементов рассматривались (Алексеев, 2000) как отдельная единая 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 с $C_{\max}/C_{\min} > 127$; 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_{\min} характерны для 13 следующих элементов: Th (4250), Ba (4000), U (3000), K (1200), Rb (850), Sr (800), Ni (500), Sr (465), Ce (322), Co (150), La (140), Nd (140), Mg (127). 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. Следует отметить, что, по данным А.А. Смыслова (2001; 2002), 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. В интрузивных поро-

дах эти элементы часто встречаются в рассеянном состоянии в породообразующих минералах, в эффузивных – 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 Ва (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». К элементам третьей группы с минимальным разбросом кларковых содержаний в различных типах магматических пород отнесены следующие: 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. 3.2).

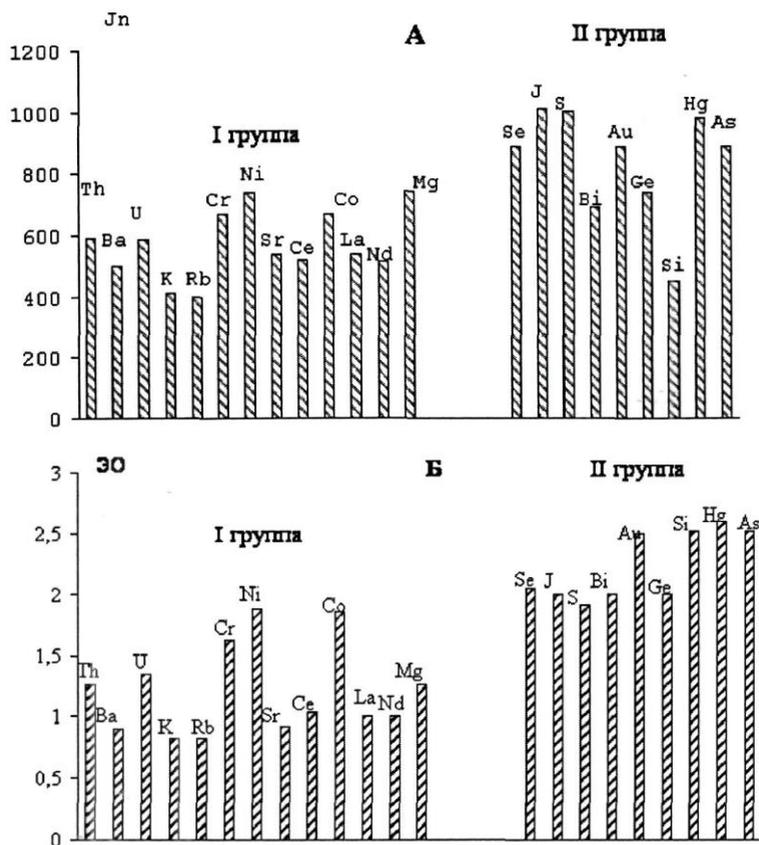


Рис 3.2. Величины электроотрицательности (а) и потенциалов ионизации (б) у химических элементов, выделяемых в группы I и III по значениям абсолютного разброса в магматических породах

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 крупных регионах, вероятнее всего произошли при изменении кларковых содержаний, связанных с образованием осадочных пород.

3. После образования осадочных пород величины абсолютного разброса в породах континентов (АР), по сравнению с АР в магматических породах, возросли. Это видно по величинам относительного разброса (табл. 2.32). 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)*, В (10), Со (10), J (10).

4. По имеющимся данным, наибольшее изменение эколого-геохимической обстановки произошло с формированием осадочных глинистых пород. Наибольший разброс кларков горных пород на континенте хотя и характерен для тяжелых элементов – Та 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 породах характеризует и распределение в преобладающих породах континента Со. Однако следует отметить, что Со в отличие от Та 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, чем изменение кларков Та 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 появлением 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.*

5. Величины абсолютных разбросов химических элементов в горных породах и почвах континентов связаны со строением атомов. Ранее было показано, что величины кларков элементов определяются строением их атомов (конкретно – ядер атомов). Если абсолютный разброс элементов в крупных геохимических системах по своему научному и практическому значению подобен кларку, то он также должен быть связан со строением атомов (подробнее см. В.А. Алексеенко, 2006).

5.1. Оценим сначала возможную *связь AP со строением ядер*. Для этого, как и в случае с кларком, построим полулогарифмический график, где по горизонтали отложим порядковые номера химических элементов, а по вертикали – логарифмы величин их абсолютных разбросов в породах и почвах континентов (рис. 3.3). На рисунке довольно отчетливо видно отсутствие связи AP со строением ядер элементов.

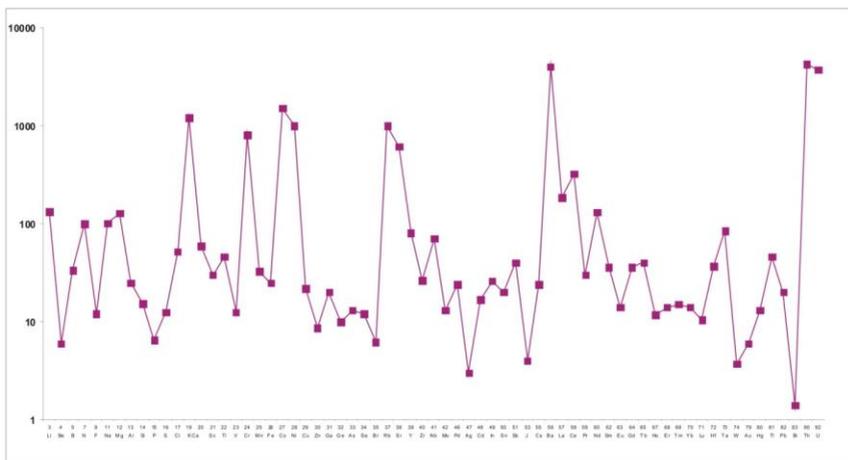


Рис 3.3. Логарифмы величин AP в породах и почвах континентов и порядковые номера химических элементов

Однако если есть закономерности связи разброса химических элементов в глобальных (планетарных) системах со строением их атомов, то такая связь может быть не только с особенностями строения ядер атомов (как у кларков), но и с особенностями, связанными со строением электронных оболочек. Роль последних в геохимии к настоящему времени характеризуют тремя основными, связанными между собой показателями. Ими являются *потенциал (энергия) ионизации, сродство к электрону и электроотрицательность*.

5.2. **Связь абсолютного разброса химических элементов (AP) с величиной их потенциала ионизации.** Для выявления связи AP элементов с их потенциалами ионизации построим (как это было сделано А.Е. Ферсманом для кларков – см.

рис.3.1) полулогарифмический график (рис.3.4). Его анализ позволяет сделать определенные выводы:

1. Между рассматриваемыми показателями существует довольно четко выраженная связь. Она гораздо более явная, чем признанная всеми связь между кларками земной коры и порядковым номером элементов (рис. 3.1). Хотя в данном случае, говоря о связи, мы отмечаем только общее возрастание величин АР элементов при общем уменьшении потенциалов ионизации этих элементов. Существует значимая с вероятностью более 95% парная корреляционная зависимость между рассматриваемыми величинами. Коэффициент корреляции равен - 0,47 при критическом значении 0,28.

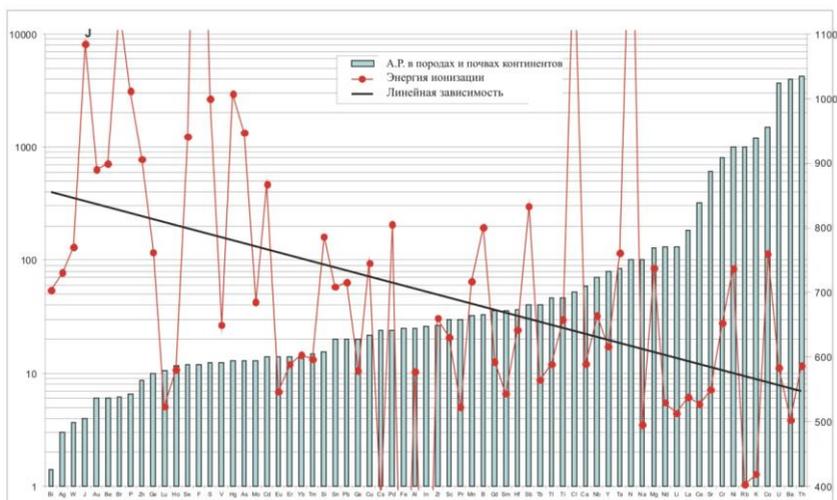


Рис 3.4. Логарифмы величин АР в породах и почвах континентов (1), величины энергии ионизации (2), линейная зависимость (3)

2. Возрастание величин абсолютного разброса элементов происходит при неравномерном уменьшении значений энергии ионизации этих элементов. В целом можно считать, что чем с меньшими энергетическими затратами атомы химических элементов переходят в положительно заряженные ионы, тем боль-

ший разброс характерен для этих элементов в породах и в почвах континентов.

3. Отклонения от равномерного убывания значений потенциалов ионизации при возрастании величин абсолютного разброса определяются особенностями строения электронных оболочек:

- наибольшие положительные отклонения от осредняющей линии характерны для элементов VIIA группы - галогенов (F, O, Br, I); на их внешней оболочке находится по 7 электронов, и для них энергетически выгоднее присоединить электрон, чем его отдать. Согласно установленной выше закономерности разброс элементов должен был бы увеличиваться в группе галогенов (при учете только энергии ионизации) в следующем порядке: $F < Cl < Br < I$. Мы же в природе наблюдаем такой ряд абсолютного разброса элементов: $I < Br < F < Cl$. Природная картина абсолютного разброса во многом может объясниться тем, что, по данным А.С. Поваренных (1962), Cl и F в условиях земной коры имеют несравненно больше собственных минеральных видов - соответственно 97 и 86, тогда как I и Br - всего лишь 8 и 1. Кроме того, Cl, Br и F относятся, по классификации А.И. Перельмана, к подвижным водным мигрантам, а I - к воздушным. Это также может свидетельствовать о *значительной роли водной миграции ионов в формировании пород и почв континентов*;

- наибольшие отрицательные отклонения от осредняющей линии отмечены для элементов первой группы (A) таблицы Д.И. Менделеева; на их внешней оболочке расположено по одному валентному электрону. Небольшие энергетические затраты, необходимые для перехода атомов этих элементов (Li, Na, K, Rb, Cs) в ионы, обусловили их довольно большой абсолютный разброс в глобальных природных системах.

4. Элементы с малыми значениями величины AP (соответственно, с большими In) склонны к образованию наиболее устойчивых кристаллических решеток и в условиях биокосных систем менее доступны организмам.

5.3. Связь абсолютного разброса химических элементов со значениями величин сродства к электрону. Для оценки связи величин абсолютного разброса элементов со значениями

энергетических показателей средства к электрону построим еще один полулогарифмический график (рис. 3.5).

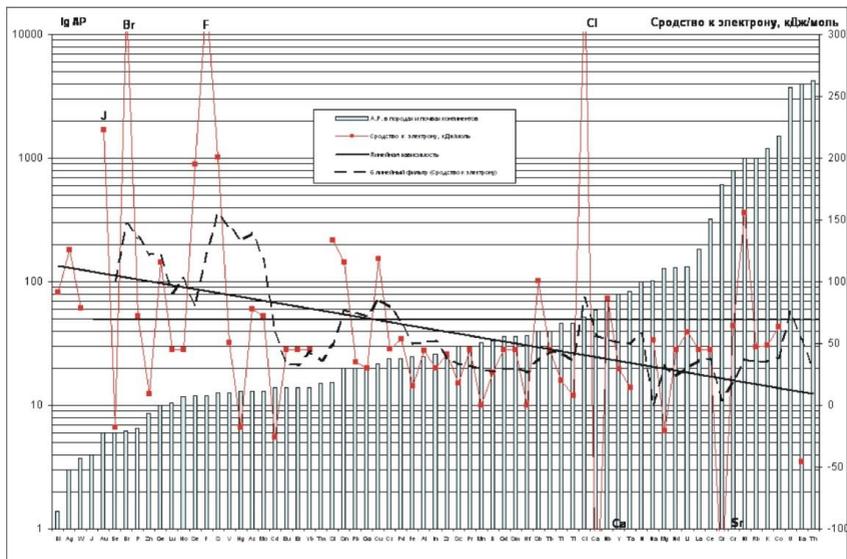


Рис. 3.5. Логарифмы величин AP в породах и почвах континентов (1) и величины значений средства к электрону химических элементов (2), линейная зависимость (3), линейный фильтр (средство к электрону) (4)

Величина средства к электрону в этой работе и при построении графика выражена в кДж/моль. При этом использовались справочные данные. Анализируя график, **можно сделать следующие выводы:**

- Между величинами средства к электрону и логарифмов значений абсолютного разброса элементов в породах и почвах континентов существует достаточно хорошо выраженная связь. Коэффициент парной корреляции равен - 0,27 при критическом значении 0,23 (вероятность 95%).
- Возрастание величин абсолютного разброса происходит при неравномерном уменьшении значений средства к электрону.
- Наибольшие положительные отклонения от осредняющей линии у значений средства к электрону отмечаются (как и

в случае с потенциалом ионизации) у галогенов (F, Cl, Br, I), что объясняется уже рассмотренными особенностями строения их электронных оболочек. Отрицательные отклонения отмечаются у элементов II группы (Ca, Sr и незначительные у Ba, Cd, Be, Mg). Для атомов этих элементов характерны два валентных электрона, находящихся на s-АО внешнего энергетического уровня. Во всех природных соединениях эти элементы двухвалентны, и присоединение электронов для них энергетически невыгодно.

Таким образом, и основные отклонения от рассмотренной связи могут объясняться, как и сама связь, особенностями строения электронных оболочек.

5.4. Связь абсолютного разброса химических элементов (АР) с величинами их электроотрицательностей (ЭО). Для установления такой связи рассмотрим полулогарифмический график (рис. 3.6).

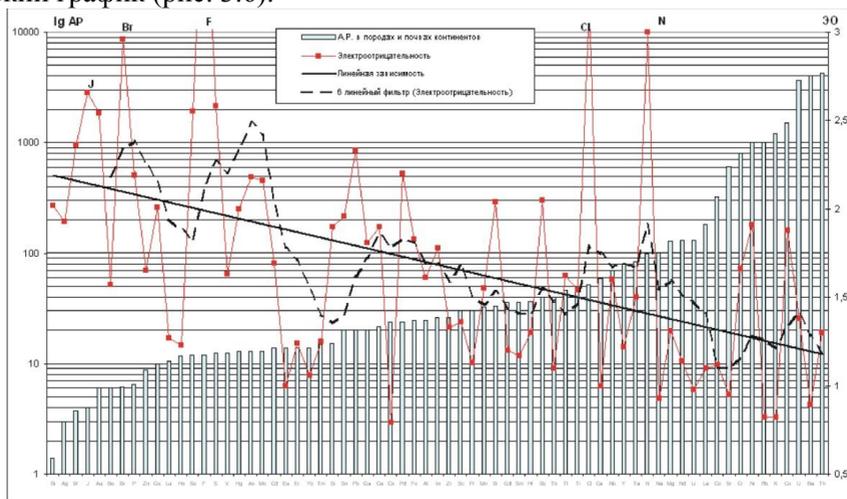


Рис. 3.6. Логарифмы величин АР в породах и почвах континентов (1) и величины электроотрицательности химических элементов (2), линейная зависимость (3), линейный фильтр (электроотрицательность) (4)

Его анализ позволил установить следующее:

- Существует довольно четко выраженная связь между абсолютным разбросом элементов в породах и почвах континентов

ментов и электроотрицательностью; с неравномерным повышением значений ЭО абсолютный разброс уменьшается.

- Наибольшие отклонения от осредняющей линии у значений электроотрицательности характерны для галогенов (F, Cl, Br, I), что объясняется уже рассмотренными особенностями строения электронных оболочек этих элементов.

- Между рассматриваемыми величинами существует значимая с вероятностью 95% корреляционная зависимость. Коэффициент парной корреляции равен 0,52 при критическом значении 0,28.

Учитывая четко установленную связь величин абсолютного разброса химических элементов в крупных геохимических системах со строением атомов этих элементов, акад. В.Т. Трофимов (2005) писал: **«...он (разброс химических элементов) может считаться такой же «константой мира», как и сам кларк».**

Академик Н.С. Касимов, рассматривая связь AP с потенциалом ионизации, сродством к электрону и электроотрицательностью, отмечает, что «все случаи отклонения от установленных закономерностей связи разброса химических элементов с этими характеристиками объясняются строением электронных оболочек элементов VII-A группы, способностью элементов к собственному минералообразованию и их преимущественным участием в воздушной или водной миграции».

Закономерность связи величин абсолютного разброса химических элементов с концентрацией элементов живым веществом. Так как процесс распределения содержаний химических элементов в породах и почвах континентов начался миллиарды лет тому назад, то за это время должно было проявиться влияние этого глобального явления на концентрацию элементов организмами. Сначала была проверена связь величин абсолютного разброса химических элементов с величинами их содержаний в наземных растениях. Для этого был построен логарифмический график (рис. 3.7). При его построении учитывались только те элементы, для которых В.В. Ковальским (1974) были установлены средние содержания в сухом веществе наземных растений. Анализ полученных данных позволяет говорить о

наличии связи, хотя и довольно слабой: с возрастанием значений АР очень неравномерно возрастают концентрации элементов в сухом веществе растений (рис. 3.7).

Неравномерность отмеченного возрастания и наличие значительных пиков на кривой могут **объясняться двумя основными причинами**: *во-первых*, недостаточно полной и точной информацией о составе вещества растений; *во-вторых*, биогеохимическими особенностями поглощения элементов растениями. По крайней мере, положением P, S, Si, Al, Au, Hg, V и других элементов в таблице Д.И. Менделеева (рис. 3.7) относительно «линии жизни» можно объяснить отклонения кривой содержания химических элементов.

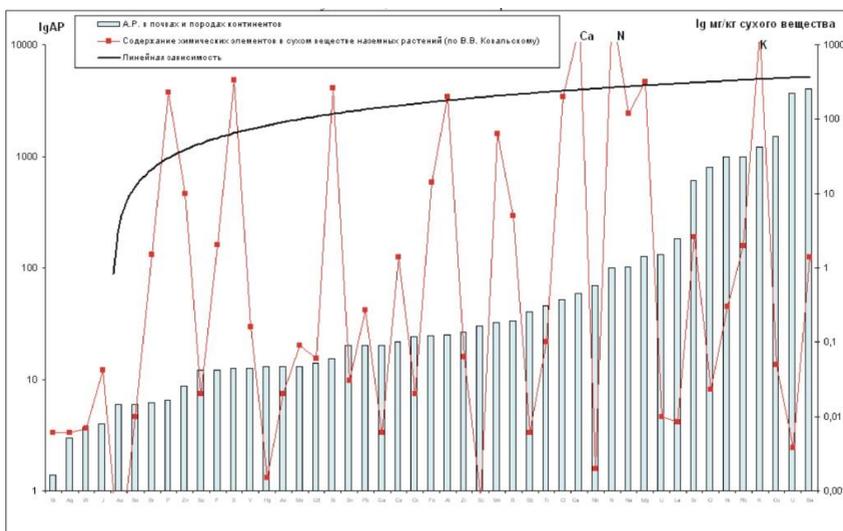


Рис 3.7. Логарифмы значений АР в породах и почвах континентов (1), содержания химических элементов в сухом веществе наземных растений (по В.В. Ковальскому) (2), линейная зависимость (3)

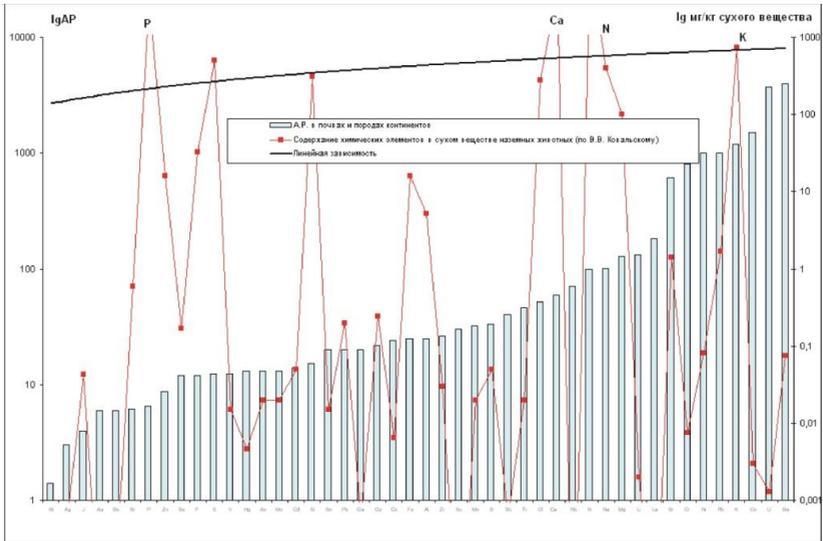


Рис. 3.8. Логарифмы значений АР в породах и почвах континентов (1), содержания химических элементов в сухом веществе наземных животных (по Ковальскому) (2), линейная зависимость (3)

Затем проверялась связь величин абсолютного разброса с содержанием химических элементов в наземных животных и бактериях. Для этих целей также были построены логарифмические графики (рис. 3.9 и 3.10). Их анализ показал наличие указанной связи. «Отклонения» в этих кривых содержаний химических элементов аналогичны рассмотренным пикам в кривой содержаний элементов в наземных растениях. Это может считаться еще одним подтверждением вышевысказанных двух основных причин неравномерности возрастания содержаний элементов в живом веществе.

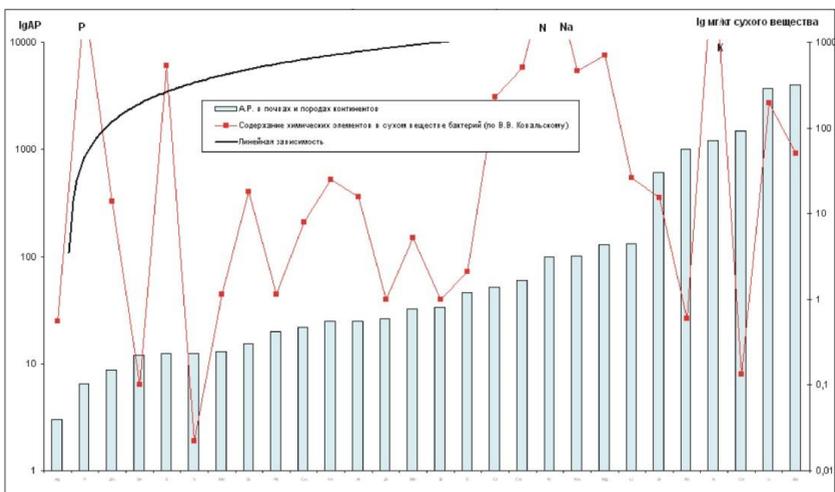


Рис 3.9. Логарифмы значений АР в породах и почвах континентов (1), содержания химических элементов в сухом веществе бактерий (по Ковальскому) (2), линейная зависимость (3)

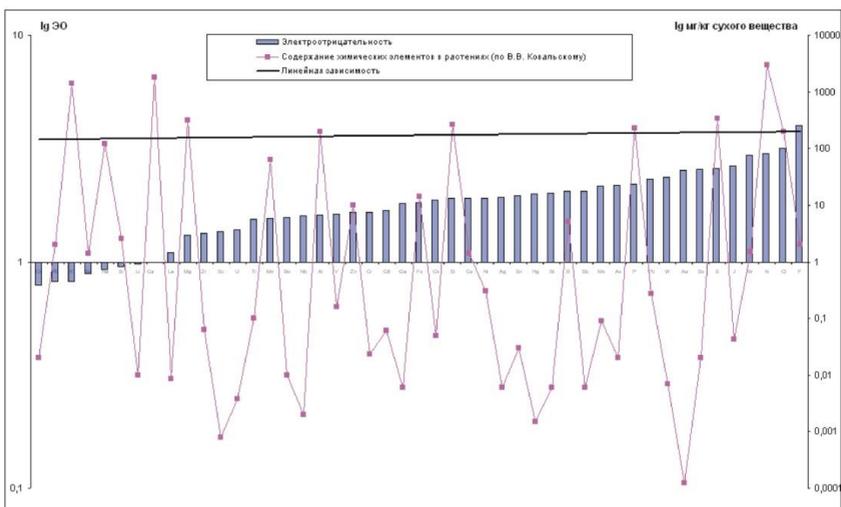


Рис. 3.10. Логарифмы значений электроотрицательности (1), содержания в сухом веществе наземных бактерий (по Ковальскому) (2), линейная зависимость (3)

Однако может появиться мысль о том, что установлена связь не между содержанием в организмах химических элементов и их абсолютным разбросом, а между этим содержанием и электроотрицательностью и только через ЭО – с абсолютным разбросом. Для проверки этого предположения был построен еще один график (рис. 3.10), на котором отчетливо видно отсутствие связи между содержанием элементов в растениях и электроотрицательностью. Это позволяет считать, что связь, отмечаемая при анализе графиков рис. 3.7, 3.8 и 3.9, непосредственная и не обусловлена прямым влиянием строения электронных оболочек рассматриваемых элементов.

Резюмируя рассмотренные закономерности распределения химических элементов в земной коре, можно вывести важные правила связи распределения содержаний элементов в земной коре со строением атомов этих элементов (Алексеенко):

Распределение содержаний химических элементов в крупных геохимических системах (абсолютный разброс) определяется в основном строением электронных оболочек этих элементов.

Установленная закономерность действует при рассмотрении крупных планетарных систем. В таких системах распределение химических элементов происходит в основном под влиянием целого ряда планетарных факторов миграции и свойств атомов (ионов) элементов. В небольших природных и техногенных геохимических системах, как правило, резко увеличивается роль какого-либо одного фактора. Он может быть как природным, так и техногенным, но главное – в этих случаях ему принадлежит доминирующее влияние в процессе распределения (перераспределения) элементов в небольшой геохимической системе. Так, в катенах (геохимическом сопряжении элементарных ландшафтов на склоне) распределение элементов в почвах обычно идет в зависимости от массы этих элементов и т.п. Однако так же, как и в случаях с кларком, абсолютный разброс (АР), установленный для земной коры или биосферы, является своеобразным геохимическим репером при решении самых разнообразных геологических и экологических задач.

Рассмотренная выше связь возрастания величин AP при неравномерном уменьшении значений энергии ионизации элементов позволяет говорить **о закономерности влияния ионной миграции в формировании осадочных пород и почв (Алексеевко):**

В формировании осадочных пород и почв, несомненно, большую роль должна была играть (возможно, на определенных стадиях) миграция химических элементов, находящихся в ионной форме.

Эту закономерность необходимо учитывать при реконструкции палео-геолого-геохимических условий многих процессов миграции элементов.

К числу важнейших геохимических законов относится **геохимический закон В.М. Гольдшмидта (1938)**, который формулируется так:

Величины кларков химических элементов в земной коре зависят от строения атомного ядра этих элементов, а их миграционные особенности – от химических свойств элементов, во многом определяемых строением наружных электронных оболочек.

А.И. Перельман (1989), разбирая этот закон, отмечал, что сама земная кора является продуктом миграции химических элементов – выплавления базальтов из мантии и ряда других процессов, хотя основные закономерности распространенности элементов в коре (как было показано выше) определяются строением атомных ядер. Сами же процессы миграции элементов в земной коре зависят не только от их (элементов) химических свойств, но и от кларков. Это связано с тем, что кларки «во многом определяют содержание элементов в растворах и расплавах, их способность к осаждению, минералообразованию и т.д.». При этом «роль кларка и химических свойств элемента в его геохимии неодинакова для разных элементов». Далее А.И. Перельман отмечал, что при равных кларках химические элементы могут вести себя в земной коре резко различно (Ga, N, Co, S и U и т.д.), а при различных – сходно (S, Se, Ca и Cr и т.д.)

Все это позволило А.И. Перельману сформулировать **закон о геохимическом поведении элементов в земной коре:**

Геохимия элемента в земной коре определяется как его химическими свойствами, так и величиной кларка.

Закон неравномерности развития систем:

Системы одного иерархического уровня обычно развиваются неравномерно: за определенный временной промежуток одни достигают более высокого уровня развития, чем другие.

Первоначально закон был сформулирован как «чисто биологический» в 30-е гг. XX века Дж. Хаксли. Позднее была признана его роль в других науках, в том числе и в экологической геохимии.

Закон максимизации энергии (Г. и Э. Одумы):

В соперничестве с другими системами выживает (сохраняется) та из них, которая наилучшим образом способствует поступлению энергии и использует максимальное ее количество наиболее эффективным способом.

Н.Ф. Реймерс считает, что этот закон следует использовать и как закон информации.

С рассмотренным выше правилом кларковых содержаний в геохимических системах теснейшим образом связано следующее **правило устойчивости крупных литохимических систем** (Алексеев, 2006):

Крупные литохимические системы являются устойчивыми, если содержание в них химических элементов близко к кларковому содержанию для соответствующих горных пород.

Системы обычно становятся неустойчивыми при существенном (по сравнению с соответствующим кларком) повышении одного или нескольких химических элементов. Такое повышение может быть связано с процессами ассимиляции определенных горных пород или руд магматическими образованиями, а также с возникновением аномальных условий образования осадочных пород. Примером довольно необычных условий образования осадочных пород может служить формирование толщ, вмещающих полиметаллические стратифицированные

месторождения. Эти толщи, как правило, обогащены Pb, Zn, Ag, Cu, Ba, Fe, Hg, Zr, Ge, V, Mn. Содержания перечисленных элементов в рудовмещающих толщах, во-первых, отличаются малыми величинами кларковых содержаний, во-вторых, они могут превышать кларковые содержания от нескольких до сотен раз. Так, кларковое содержание Ag в карбонатных породах (а именно они, как правило, вмещают стратифицированные полиметаллические месторождения) составляет всего $n \cdot 10^{-6} \%$, Pb – $9 \cdot 10^{-4} \%$, Zn – $2 \cdot 10^{-3} \%$. Содержания Ag в рудовмещающих толщах может превышать кларковое до 10 раз; Pb – в 2-100; Zn – в 2-50 раз. Обычно такие повышенные содержания являются результатом поступления металлов в бассейн осадконакопления с подводными гидротермами.

В результате энергетического толчка, увеличивающего миграционную способность элементов, и в первую очередь элементов, находящихся в повышенном содержании, рассматриваемые неустойчивые системы разрушаются. В природе таким толчком нередко является постседиментационное пропитывание горных пород горячими геохимически активными водами. При этом происходит обособление элементов, находящихся в сверхкларковых содержаниях. Последствием этого процесса является разрушение ранее существовавшей неустойчивой системы (толщи пород, обогащенных металлами). Обособившиеся рудные элементы образуют на соответствующих геохимических барьерах собственные минералы в виде прожилков и скоплений вкрапленников. Таким образом, может возникнуть устойчивая в данных условиях новая геохимическая система, называемая полиметаллическими рудами. Вторую устойчивую геохимическую систему в этом случае будут представлять карбонатные толщи с кларковыми (после «сброса избытка металлов») содержаниями всех химических элементов.

Пример, иллюстрирующий правило устойчивости крупных литохимических систем, получил довольно широкое распространение в природе. Использование на практике рассмотренного выше правила уже привело к открытию ряда месторождений и рудопроявлений (Алексеенко, 1978, 1981), сформиро-

вавшихся за счет разрушения систем с существенно повышенными содержаниями ряда металлов.

Следует отметить, что действие этого правила может в определенных условиях усиливаться специфическими формами нахождения химических элементов, образующих сверхкларковые содержания. Так, сульфидные руды, являющиеся устойчивыми системами в обстановке без свободного кислорода, становятся «особо неустойчивыми» при попадании в кислородную обстановку, т.е. при выветривании. (В этом случае содержания составляющих их элементов следует сравнивать с кларковыми содержаниями почв). Начинается ускоренный распад старой системы в новую – почвы. При этом в первую очередь происходит переход сульфидов в сульфаты. Распад систем, составленных сульфатами и оксидами металлов, находящихся в повышенных по сравнению с кларками содержаниями, в таких условиях происходит медленно.

Отметим, что и в условиях, рассмотренных в этом примере, действие правила устойчивости систем уже используется на практике. Разрушение руд и пород, обогащенных определенными металлами, на первых стадиях этого процесса приводит к образованию вторичных ореолов рассеяния элементов в почвах. По этим ореолам ведутся поиски месторождений.

Правило накопления коллоидов в биосфере (А. И. Перельман):

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

Закон (принцип) актуализма был выдвинут в первой половине XIX века Ч. Лайелем:

По результатам изучения современных геологических процессов можно судить об аналогичных процессах далекого прошлого.

Приведенный закон используется как сравнительно-исторический метод геологии. Он относится к числу важнейших законов, на базе которых развивалась (и развивается) геология.

Как метод познания прошлого Земли, актуализм имеет определенные ограничения в своих возможностях. Они связаны с тем, что Земля представляет собой развивающуюся систему, а в силу этого геологические процессы прошлого нельзя полностью отождествлять с процессами, происходящими в настоящее время.

Накопленный опыт изучения геологических процессов позволяет нам дополнить закон актуализма следующим правилом применения принципа актуализма:

Чем древнее геологическая эпоха, тем больше особенностей имеют протекающие в ней процессы по сравнению с современными геологическими процессами.

Исходя из этого принципа, не следует механически переносить особенности современных геологических процессов на процессы, происходившие в прошлом развитии Земли. Особенно большие расхождения (ошибки) могут быть в тех случаях, когда сравниваются процессы, происходящие в настоящее время с процессами наиболее древних периодов развития планеты. Классическим примером для данного правила могут служить процессы формирования в докембрии мощных толщ железистых кварцитов, чему нет аналогов в позднее время. А.И. Перельман (1989), рассматривая вопросы необратимости эволюции земной коры, отмечает, что в ходе геологической истории «разрастались платформы и сокращались геосинклинали, увеличивалась мощность гранитного слоя, уменьшались общий объем и мощность вулканогенных формаций, возрастала относительная роль поднятий, континентального осадконакопления, наземного вулканизма, кислых интрузий и соответственно уменьшалось значение опусканий, морского осадкообразования, подводного вулканизма и основных интрузий».

В целом развитие земной коры происходит в соответствии с правилом Д.В. Рундквиста – Е.В. Посохова (название предложено авторами):

Эволюция систем земной коры, включая природные воды, направлена в сторону увеличения их сложности и разнообразия.

Принцип актуализма и правило его применения широко используются в *геохимии и металлогении*. В работах Н.П. Лаврова, А.И. Тугаринова и других убедительно показано эволюционное развитие рудообразования. Так, по их данным, формирование урановых месторождений началось после среднего архея, а типичного углеобразования не известно в докембрии. Кроме того, считается, что до конца протерозоя в осадочных породах увеличивалось содержание К и уменьшалось Na, а в более позднее время отмечается обратная тенденция.

Общие геохимические изменения, происходящие по мере развития Земли, было предложено А.Е. Ферсманом изучать, выделяя *геохимические эпохи*: литофильные, сидерофильные, халькофильные (см. геохимические классификации элементов). А.И. Перельман предложил использовать при установлении геохимических эпох *геохимические циклы*, именуемые по соответствующим тектоно-магматическим, выделяемым в исторической геологии. Эти циклы в истории Земли могут весьма существенно отличаться друг от друга. Так, в месторождениях киммерийского цикла содержится около 70% запасов W; 60% - Sn. В месторождениях, сформировавшихся в альпийский цикл, находится около 90% Mo; 60% -Cu; 95% - Hg; 30% Pb и Zn.

В период, начавшийся с эпохи формирования нашей планеты и до нынешнего времени, произошло существенное изменение кларков ряда элементов: они уменьшились для урана, тория, калия и других радиоактивных элементов и увеличились для элементов, являющихся конечными стабильными продуктами радиоактивного распада (свинца, гелия, аргона и т.д.). Ряд радиоактивных изотопов относится к числу «вымерших», и сейчас мы улавливаем только следы их бывшего существования в изотопном составе стабильных элементов. Как показали расчеты Г.В. Войткевича (1990), в связи с закономерным «вымиранием» одних и уменьшением кларка других радиоактивных элементов происходит значительное уменьшение выделения радиогенного тепла, что, несомненно, сказывается на миграции элементов и на развитии живого вещества.

Таким образом, *закон актуализма следует использовать при геохимических построениях с обязательным учетом правил*

применения принципа актуализма и эволюции систем земной коры (Рундивиста - Посохова). Аналогичное (и даже более ярко выраженное) положение отмечается и для биологических систем. Их развитие несколько упрощенно можно представить в таком виде:

водоросли → покрытосеменные и одноклеточные животные → млекопитающие.

Заканчивая рассмотрение закономерностей эволюции в развитии Земли, необходимо привести **геогенетический закон Д.В. Рундквиста:**

В каждом относительно коротком цикле устанавливаются те же основные особенности эволюции развития формаций, магматизма и эндогенных месторождений, что и в более крупном цикле.

Продолжительность каледонского, герцинского и альпийского тектоно-магматических циклов в целом отвечает галактическому году, т.е. времени обращения Солнца вокруг центра Галактики (180-240 млн лет). В ходе истории Земли продолжительность циклов уменьшалась. Связь последовательности образования месторождений и тектоно-магматических циклов показано на рис. 3.11.

Ряд законов, закономерностей и правил характеризует процессы, происходящие в земной коре, и в частности в биосфере. В первую очередь следует отметить **закон генетического единства отдельных частей, составляющих земную кору** (по предложению авторов этой книги закону следует также дать имя **В.И. Вернадского**, который изложил его в 1939 г.):

Составляющие земную кору биосфера, стратисфера, метаморфическая и гранитная оболочки генетически связаны между собой и взятые в целом представляют одно явление.

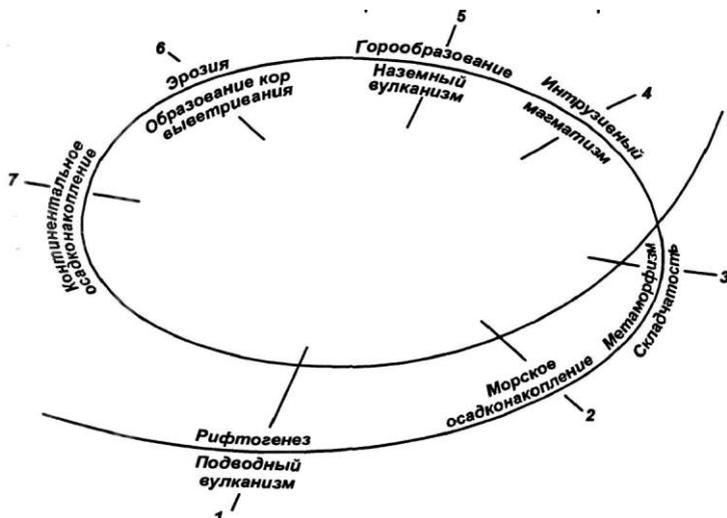


Рис. 3.11. Последовательность образования месторождений различных типов и отдельных тектоно-магматических циклов в геологической истории Земли (по Рундквисту):

1-стратиформные осадочно-вулканогенные и магматические месторождения, 2-стратиформные осадочные месторождения, 3- метаморфизированные стратиформные осадочно-вулканогенные и осадочные месторождения, 4-скарновые месторождения различных морфологических типов, образующиеся на контакте рудоносных осадочных и вулканических пород и гранитоидных интрузий, 5- гидротермальные месторождения различных морфологических типов (жильные, штокверковые, трубообразные и др.) в связи с вулканоплутоническими поясами, 6 - месторождения кор выветривания, россыпи, 7-осадочные месторождения континентальных впадин

Это положение подтверждается процессами, происходящими в земной коре, что выражено в **правиле единства земной коры (А.И. Перельман)**:

Единство земной коры находит выражение в общих законах развития как ее отдельных частей, так и коры в целом: необратимости эволюции, негэнтропийности, геогенетическом законе.

Первым на геохимическую связь процессов, протекающих в составных частях земной коры, обратил внимание В.И. Вернадский. Им было высказано не сразу принятое положение о роли живого вещества в формировании всего сложного спектра осадочных пород.

Закон прогрессивного развития верхней оболочки Земли (А. И. Перельман):

Земная кора и верхняя мантия представляют собой сложную динамическую систему с обратными связями; непрерывное поступление в систему солнечной энергии, а также глубинной энергии определяют направленное развитие тектоносферы и биосферы, в ходе которого увеличиваются их сложность и разнообразие, неравновесность, накапливается свободная энергия, уменьшается энтропия. Это прогрессивное развитие осуществляется через систему последовательных геохимических циклов – тектономагматических и биосферных.

Постепенно экологическая геохимия, как и общая геохимия, переходит из разряда описательных наук в точные. В связи с этим, рассматривая основные законы, используемые в экологической геохимии, авторы посчитали целесообразным привести некоторые широко известные законы, учитываемые в химии и в термодинамике.

Закон сохранения массы гласит:

Масса веществ, вступивших в реакцию, равна массе веществ, образующихся в результате этой реакции.

Следовательно, имея данные о массе загрязняющего вещества, образовавшегося в результате реакций, происходящих в биосфере, можно уверенно говорить о массах веществ, поступивших на данный участок биосферы и являющихся источниками реакции, приведшей к образованию рассматриваемого загрязняющего вещества.

Закон постоянства состава:

Каким бы путем ни было получено данное химическое соединение, состав его всегда остается одним и тем же.

В экологической практике следует помнить, что соединения строго определенного состава (в том числе относимые к загрязняющим) могут образоваться в природных условиях под влиянием техногенеза, в результате самых различных химических реакций.

Закон кратных отношений:

Если два элемента образуют друг с другом несколько химических соединений, то весовые количества одного из элементов, приходящиеся в этих соединениях на одно и то же количество другого, относятся между собой как простые целые числа.

В экологической геохимии иногда приходится сталкиваться со следующими весьма важными **следствиями закона кратных отношений**:

1. *Различные соединения (в том числе загрязняющие), образованные одними и теми же элементами и находящиеся на одном участке биосферы, могут резко отличаться по весовому составу. В этом случае переход от одного соединения к другому происходит не постепенно, а скачкообразно.*

2. *Изменение количественного соотношения между соединяющимися элементами всегда влечет появление нового качества.*

Как иллюстрацию к закону кратных отношений и следствиям из этого закона можно рассмотреть пример соединений углерода и кислорода. В углекислом газе (CO_2) на то же самое количество кислорода приходится в два раза меньше углерода, чем в угарном газе (CO). Углекислый газ при дыхании не вреден для человека и животных, а угарный газ может привести к смерти. При этом не может быть никаких постепенных переходов от угарного газа к углекислому.

Рассматривая загрязнения атмосферы, часто необходимо использовать **закон простых объемных отношений (закон Гей-Люссака)**:

Объемы вступающих в реакцию газов относятся друг к другу и к объемам образующихся газообразных продуктов реакции как небольшие целые числа.

В результате различных процессов, в том числе и происходящих непосредственно в биосфере, один вид энергии может превращаться в другой. Количественные соотношения между различными видами энергией при их взаимных переходах, а главное – возможность осуществления и направленность процессов изучаются в науке *термодинамика*. Зная законы термодинамики, можно предсказать, возможно ли при данных усло-

виях осуществление определенных реакций. Основные положения термодинамики даются в форме законов.

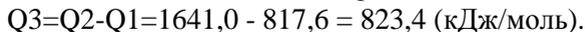
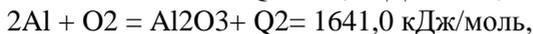
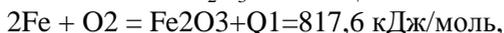
Первый закон термодинамики формулируется следующим образом:

Во всех явлениях природы энергия не исчезает бесследно и не возникает из ничего, а лишь превращается из одной формы в другую в строго эквивалентных количествах.

Закон часто выражается в виде уравнения: $\Delta E = q - w$, где ΔE – изменение энергии системы в рассматриваемом процессе; q – теплота, поглощаемая системой (положительная при эндотермических, поглощающих теплоту, и отрицательная для экзотермических, выделяющих теплоту, процессов); w – работа, выполняемая системой (положительная, если выполняется системой над своим окружением, например, батарейка приводит в движение часы).

Экзотермические реакции, как правило, идут самопроизвольно. Есть примеры самопроизвольного течения и эндотермических процессов (плавление льда, растворение в воде KCl и др.). Самопроизвольное течение процессов связано с увеличением энтропии (хаотичности, неупорядоченности) системы.

Фигурально выражаясь, первый закон термодинамики позволяет вести бухгалтерский учет тепла. Так, зная, что теплота образования из отдельных элементов Fe_2O_3 равна 817,6 кДж/моль, а Al_2O_3 – 1641,0 кДж/моль, можно найти теплоту восстановления 1 моля Fe_2O_3 с помощью Al:



Второй закон термодинамики позволяет судить о том, будет ли идти определенный процесс; закон формулируется так:

Процессы, самопроизвольно протекающие в одном направлении, не являются самопроизвольными в обратном направлении.

Так, железо, в условиях доступа к нему в биосфере свободного кислорода ржавеет (окисляется), а его восстановление требует постороннего источника энергии. Отметим, что второй закон действует применимо не только к химическим превращениям, но и вообще к любым процессам.

Самопроизвольная передача тепла возможна от горячих предметов к более холодным. Обратное течение процесса возможно лишь при затрате энергии. При этом **теплоту нельзя полностью превратить в работу (это является одной из формулировок второго закона)**, т.к. часть теплоты передается окружающей среде. Следовательно, любая электростанция вызывает тепловое загрязнение окружающей ее среды.

Можно сказать, что при всех процессах, наряду с сохранением энергии (первый закон термодинамики), в природе всегда происходит повышение энтропии, о чем гласит второй закон. Именно это положение начинает играть все большую роль при рассмотрении проблем *рационального природопользования и охраны окружающей среды* (Браун, Лемей, 1983).

Так, биогенные системы (особенно зоо) являются сложными, высокоорганизованными и в высшей степени упорядоченными. Они (биогенные системы), по сравнению с составляющими их частями (вода, диоксид углерода и т.п.), имеют гораздо меньшую энтропию. Однако многочисленные химические (биохимические) реакции, необходимые для воспроизведения этих систем, вызывают чрезвычайно высокое повышение энтропии в окружающей среде.

Точно также антропогенная деятельность, с одной стороны, приводит к упорядочению окружающей среды (выплавка металлов из руд, в которых они рассеяны; получение бумаги и т.д.). С другой стороны, эта деятельность ведет к повышению хаотичности в окружающей среде: при сжигании угля и нефти образуются CO_2 (его содержание чрезвычайно быстро растет в атмосфере) и вода; радиоактивные отходы рассеиваются в окружающей среде; при выплавке металлов из руд выделяется в атмосферу целый ряд газов и т.д. *Современное человечество, стремясь извлечь выгоду, уничтожает ограниченное количество богатых энергией веществ. Одновременно с этим суще-*

ственно изменяются эколого-геохимическая и собственно экологическая обстановка.

Появилась настоятельная необходимость при выводе экономических законов учитывать положения термодинамики. Становится очевидным, что *человечество должно постепенно научиться жить и развиваться за счет поступления на Землю энергии Солнца*, поскольку источники энергии других типов со временем будут исчерпаны.

Третий закон термодинамики (закон Гесса):

Тепловой эффект химического процесса не зависит от пути его прохождения, а зависит только от начального и конечного состояния веществ.

Этот закон применим в физиологии, в биохимии, а следовательно, в различных областях экологической геохимии. Так, окисление питательных веществ в организмах животных (включая человека) идет довольно сложным путем через промежуточные стадии. При этом общее количество теплоты, выделяемое в результате этих процессов, равно теплоте при сжигании этих же веществ в калориметре (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Теплота сгорания 1 г питательных веществ в живом организме и калориметре (по В.Е. Липатникову, К.М. Казакову)

Вещество	Теплота сгорания в организме, ккал/г	Теплота сгорания в калориметре, ккал/г
Углеводы	-4,1	-4,1
Жиры	-9,3	-9,3
Белки	-4,1*	-5,7*

Примечание: Белки в организме окисляются не полностью и частично выделяются в качестве продукта неполного окисления. Этим объясняется расхождение величин теплоты сгорания белков в организме и в калориметре.

Правило торможения реакций (А. И. Перельман):

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.

В отличие от хорошо известного из лабораторных экспериментов в курсах химии положения, в природных условиях процесс полного расходования ионов в геохимических системах практически не происходит, т.к. их (ионов) новые порции поступают из среды. В этих условиях создается более благоприятная обстановка для продолжительного проявления рассматриваемого правила торможения реакций. Вероятно, это правило во многом объясняет состав парагенных ассоциаций на многосторонних геохимических барьерах.

Правило способности элементов к минералообразованию. Это правило мы предлагаем назвать правилом А.С. Поваренных - Е.М. Квятковского – ученых, исследовавших это явление:

Способность к минералообразованию химических элементов зависит от химических свойств этих элементов и от их кларкового содержания.

А. С. Поваренных было введено понятие о коэффициенте видообразования, который представляет собой отношение числа минеральных видов к атомному кларку. Элементы с наибольшим значением коэффициента видообразования минералов относятся по классификации А. Н. Заварицкого к группам платины; металлоидных, металлогенных и частично металлических рудных (Ag, Cd, Au, Hg). Это позволяет предположить, что если бы Ca, Mg, Fe, Na имели низкие кларки, то у них практически не было бы собственных минералов.

Е. М. Квятковский (1977) элементы с большой способностью к минералообразованию назвал *минералофильными*, а с малой – *минералофобными* (Ra, Sc, In и др.).

Закон объемов:

В процессе перекристаллизации в твердом состоянии на глубине проявляется стремление породы (составляющих ее минералов) к уплотнению путем превращения первоначальных минералов в минералы, занимающие меньший молекулярный объем.

Явление характерно для процессов глубинного метаморфизма.

Закон Линдгрена:

Объем замещающего минерала существенно равен объему замещаемого минерала.

Закон подтвержден экспериментально.

Правило последовательности кристаллизации

(А.Е. Ферсман):

Последовательность кристаллизации из диссоциированных и дисперсных систем следует порядку понижения энергии решеток.

Закономерность Успенского-Вассоевича:

В групповом составе рассеянного органического вещества возрастает степень его обогащенности битуминозными компонентами по мере снижения его количества в горной породе.

Правило парагенетическое (Гесс - Ферсман):

Сочетание минералов, образованных из определенной ассоциации элементов, при данной термодинамической обстановке определено и независимо от генетических путей их образования.

Правило полярности магматических и постмагматических минералов (Лодочников):

Постмагматические процессы несут с собой элементы или оксиды, которыми бедна порода, возникшая в магматическую стадию.

Так, в контакте с гранитоидами в постмагматическое время породы часто обогащаются минералами, содержащими FeO и MgO, а эти оксиды не являются определяющими в кислых породах. Соответственно в контакте с основными интрузиями в породах образуются минералы, содержащие Na⁺ и K⁺.

Минералогическое правило фаз (В.М. Гольдшмидт):

Из n компонентов при произвольных давлении и температуре могут совместно устойчиво существовать не более n минералов.

Правило Соре:

В равномерной концентрации при понижении температуры в какой-либо части в ней происходит увеличение концентрации растворенного вещества. Это ведет к возникновению термодиффузии.

Закон развития зональности первичных ореолов (Л.Н. Овчинников, С. В. Григорян):

Обобщенный ряд зональности для гидротермальных рудных месторождений (от подрудных элементов к надрудным) имеет следующий вид: $W - Be - Sn - U - Mo - Co - Ni - Bi - Cu^1 - Au - Sn^2 - Zn - Pb - Ag - Cd - Cu^2 - Hg - As^2 - Sb - Ba - I$.

Зональность первичных ореолов практически не зависит от геологической обстановки и повторяет зональность рудных тел. Однако зональность ореолов более контрастна, что, по мнению установивших ее исследователей, связано с большими размерами ореолов, их более однородным строением и более стандартными условиями минералообразования.

Зональность была установлена по фактическому расположению элементов в ореолах нескольких сотен гидротермальных месторождений.

Правило дальности миграции металлов при формировании гидротермальных месторождений и их первичных ореолов (В. А. Алексеенко):

Формирование гидротермальных месторождений и их первичных ореолов происходит на геохимических барьерах, где основная часть мигрирующих металлов переходит в ионную форму. В дальнейшем дальность инфильтрационного перемещения основной части ионов определяется размерами их ионных радиусов (R_i) и величинами энергетических коэффициентов (ЭК).

Установление данного правила позволило В.А. Алексеенко (1974) теоретически обосновать зональность, установленную Л.Н. Овчинниковым, С.В. Григоряном и Э.Н. Барановым (1973) при изучении месторождений.

Дальность ионной миграции металлов при их свободном (инфильтрационном) перемещении определяется рассматриваемым правилом и успешно используется при изучении техногенного загрязнения геохимических ландшафтов.

Связывая образование и свойства минералов с энергией их кристаллических решеток, *А. Е. Ферсман установил ряд «эмпирических правил», имеющих определенные исключения.* Рассмотрим их ниже.

Правило последовательности кристаллизации минералов (А. Е. Ферсман):

В ассоциированных расплавах, растворах и флюидах последовательность кристаллизации минералов следует за понижением энергии их кристаллических решеток.

Правило связи энергии кристаллических решеток минералов с их твердостью (А. Е. Ферсман):

В группах минералов, имеющих одинаковое кристаллическое строение и сходную формулу, с возрастанием энергии решетки (следовательно, с увеличением значений ЭК и ВЭК составляющих ее ионов) увеличивается твердость этих минералов.

Правило связи энергии кристаллических решеток соединений с их растворимостью (А. Е. Ферсман):

Растворимость соединений в целом согласуется с уменьшением энергии их кристаллических решеток, следовательно, с увеличением величин ЭК анионов и катионов растворимость образуемых ими соединений уменьшается.

Правило связи окраски соединений с температурой процессов их образования (А. Е. Ферсман):

При переходе от высокотемпературных процессов к распространенным в биосфере экзогенным окраска минералов изменяется от черных и темно-зеленых к белым и бесцветным.

Анализ имеющегося материала с позиций геоэнергетических положений А. Е. Ферсмана позволил В. А. Алексеенко

сформулировать правило об элементах, определяющих биосферные процессы:

Элементы с небольшими величинами ЭК и ВЭК в результате геохимической эволюции постепенно становятся всё более определяющими в низкотемпературных процессах, протекающих в биосфере.

3.2. Химические элементы в геохимических ландшафтах

Закон геохимического поведения химических элементов в биосфере (В.А. Алексеенко):

Геохимическое поведение химических элементов (их соединений) в биосфере (содержание, распределение, а часто и форма нахождения в отдельных частях ландшафта) определяется в основном ландшафтно-геохимическими особенностями данного участка биосферы.

Из этого закона вытекают два следствия, имеющие важное значение для решения многих экологических проблем, для проведения поисков месторождений полезных ископаемых и для развития безопасности жизнедеятельности.

Первое из них звучит так:

фоновое содержание химических элементов в одном ландшафте может превосходить аномальное содержание этих же элементов в других, даже соседних ландшафтах.

Следствие это необходимо помнить при установлении границ загрязненных территорий. Так, в одних случаях возможен пропуск загрязненных территорий. В других же обычное фоновое содержание принимается за аномальное, и в результате на незагрязненной территории ведутся поиски загрязнителей, нарушается обычная для региона жизнедеятельность.

Второе следствие из указанного закона можно сформулировать так:

поведение веществ, поступающих в результате антропогенной деятельности в биосферу, определяется в основном ландшафтно-геохимическими особенностями участка биосферы, в который они попадают.

Его необходимо учитывать при проектировании развития и промышленности, и сельского хозяйства. Однотипные загрязняющие вещества, поступающие в биосферу в одинаковых количествах, могут в одних ландшафтно-геохимических условиях резко ухудшать эколого-геохимическую обстановку в районе, а в других - даже стать источником микроэлементов, недостаток которых характерен для почв района. Впрочем, последнее встречается крайне редко.

Кроме того, в соответствии с этим следствием в разных ландшафтно-геохимических условиях загрязняющие вещества могут концентрироваться не только на различном удалении от загрязнителя, но даже и на геохимических барьерах, расположенных в различных ландшафтах. Это необходимо учитывать при планировании хозяйственной деятельности, добиваясь ее максимальной безопасности.

Закон пространственной геохимической сопряженности ландшафтов Б. Б. Польшова в формулировке Н. С. Касимова звучит так:

Потоки вещества в ландшафтах имеют системообразующее значение и определяют их геохимическую структуру.

Исходя из этого закона, выработаны различные системы выделения элементарных и геохимических ландшафтов, а также различные системы их классификации и два нижеследующих правила.

Правило выделения элементарных ландшафтов (в формулировке Н. С. Касимова):

Участки пространства с более тесными внутренними функциональными связями вещественных системообразующих потоков объединяются в элементарные ландшафты.

Правило максимального миграционного взаимодействия (Ф.И. Козловский):

Миграционная взаимосвязь внутри некоторой элементарной области геохимического ландшафта должна быть существенно больше, чем ее взаимосвязь с внеландшафтными зонами земной коры.

Закон устойчивости ландшафта (А.И. Перельман, Н.С. Касимов):

Устойчивость ландшафта связана с тем, что он непрерывно получает свободную энергию из среды в количестве, компенсирующем её снижение в системе. Таким образом, биогенный ландшафт – это саморегулирующаяся неравновесная, но стационарная (устойчивая) система.

Ландшафт хотя богат свободной энергией и является неравновесной системой, однако может быть устойчив даже в течение геологического времени. Авторы закона объясняют это не термодинамическим равновесием, а стационарностью происходящих процессов.

Закон развития связи между эколого-геохимическими изменениями в пределах одного геохимического ландшафта (В.А. Алексеенко):

Изменения, происшедшие в определенной части (ярусе) геохимического ландшафта, скажутся практически во всех частях этого ландшафта за счет связей между ними.

Действие этого закона рассмотрим на следующем простейшем и распространенном в природе примере: в ландшафте под воздействием природных или техногенных факторов (чаще это происходит при неправильно выбранной схеме орошения) количество грунтовых вод существенно превысило фоновые сезонные колебания (они обычны для конкретных периодов и не могут рассматриваться как изменения в ландшафте). Такое увеличение вызовет подъем грунтовых вод, и, как только расстояние от него до дневной поверхности станет меньше высоты капиллярного поднятия, начнется интенсивное испарение воды с поверхности почв. Это вызовет засоление верхнего гумусового горизонта почв, т. е. происходит формирование испарительного барьера. При этом происходит смена подвижных и наиболее распространенных в этом горизонте ионов (типоморфных ионов); в большинстве случаев Ca^{2+} и HCO_3^- на Na^+ , Cl^- и SO_4^{2-} .

Часто одновременно с засолением в гумусовом горизонте происходит накопление ряда металлов, чаще всего Pb, Zn, Cr, V, Cu, Ni, находящихся в водах в очень малой концентрации и сосредотачивающихся в верхнем почвенном горизонте при испа-

рении. В этих условиях в рассматриваемом ландшафте начинают изменяться биомасса растений и содержание в них целого ряда элементов. При дальнейшем засолении происходит смена растительных сообществ. При смене растительных сообществ изменяются количество и состав паров воды и элементов, попадающих в приземную атмосферу за счет транспирации. При высокой степени засоления частицы солей могут попадать в воздух и непосредственно из почв.

Таким образом, в рассматриваемом примере изменение количества воды в общей массе грунтовых вод геохимического ландшафта привело к эколого-геохимическим изменениям в этом же ландшафте в ярусах почв, растительности и приземной атмосфере.

Следует еще раз отметить, что рассматриваемый процесс не зависит от того, за счет каких процессов (природных или антропогенных) произошло первое изменение – исходное поднятие грунтовых вод.

Число примеров подобного развития эколого-геохимических изменений в природе очень велико. Они происходят в тех случаях, когда первичное изменение захватывает и нижние ярусы ландшафта (как было в приведенном примере), и верхние. Характерно, что и в той части ландшафта, которая подвергалась непосредственному первичному воздействию, степень происходящих изменений со временем может возрастать. Скорость развития изменений в ландшафте определяется особенностями связи между его составными частями. Поэтому во внутриконтинентальных водных ландшафтах (они отличаются от ландшафтов суши большей скоростью миграции химических элементов в водной среде и в среде, насыщенной водой, – в илах) скорость развития изменений чрезвычайно велика. Этим объясняются особая степень и быстрота нарушения безопасности жизнедеятельности при загрязнении внутриконтинентальных аквальных ландшафтов, к которым относятся реки, водохранилища, озера, пруды, каналы.

Для рассмотренного закона можно выделить **три основных следствия**, которые необходимо учитывать при планировании в конкретных регионах разумного развития хозяйства,

безопасного развития жизнедеятельности и устойчивого развития:

1. *Нельзя техногенным путем произвести изменение только в одной части (ярусе) геохимического ландшафта.*

Это следствие надо иметь в виду при планировании, казалось бы, незначительных изменений в окружающей среде, например при замене растительных сообществ. Кроме того, следует отметить, 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 его остальных частях.*

Эти последствия необходимо постоянно прогнозировать в уже освоенных районах при проведении мероприятий по защите окружающей среды. Особо следует учесть, что последствия не всегда должны быть отрицательными. Для точного прогноза, как правило, необходим ландшафтно-геохимический мониторинг. Затраты на его проведение в итоге всегда должны окупаться обоснованным планированием и обеспечением условий для безопасной жизнедеятельности.

3. *Изменения ландшафтно-геохимической обстановки, вызванные выветриванием месторождений полезных ископаемых, как правило, начались достаточно давно и уже сказались во всех частях ландшафтов.*

Это следствие из рассматриваемого закона позволяет считать, что при поисках выветривающихся уже длительное время месторождений (а их 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.

Правило геохимической индивидуальности ландшафта (Н.С. Касимов):

Каждый элементарный и (или) геохимический ландшафт имеет индивидуальную, присущую только ему радиальную и латеральную геохимическую структуру.

Такая индивидуальность выражается в инвариантных соотношениях между подсистемами ландшафта. Неповторимость ландшафтно-геохимических систем создается радиальной геохимической структурой. Она, по Н. С. Касимову, характеризуется взаимоотношениями в системах другого порядка, таких как «почва-порода», «почва-растение», «почва-воды» и др.

Индивидуальность каскадных ландшафтно-геохимических систем с однонаправленными потоками веществ определяется их латеральной геохимической структурой. Эта структура характеризуется в основном потоками веществ из верхних звеньев каскадов в нижние.

Правило геохимической общности ландшафтов (Н.С. Касимов):

Генетически однотипные ландшафты, сформировавшиеся в близких физико-географических условиях, имеют сходную ландшафтно-геохимическую структуру.

Таким образом, несмотря на индивидуальность каждого ландшафта, часть из них имеет много общего в своей структуре с генетически однотипными. Это позволяет при определенных, часто мелкомасштабных исследованиях, производить объединение отдельных ландшафтов, а также сравнивать их между собой и проводить ландшафтно-геохимическое картографирование больших территорий.

Закон влияния на эколого-геохимическую обстановку замены одних ландшафтов другими (В.А. Алексеенко):

Анализ эколого-геохимических изменений, проявляющихся 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.

Этот закон, как и предыдущие ландшафтно-геохимические законы, справедлив и для ландшафтов суши, и для водных. Он остается в силе и для такой пары ландшафтов,

как аквальные – суперакральные. 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. (Хотя с точки зрения, учитывающей время развития земной коры или биосферы, и эти изменения следует относить к революционным, чрезвычайно быстрым). Причиной первичных изменений могут быть природные катаклизмы (пожар, селевой поток и т. д.) и интенсивные антропогенные процессы (строительство водохранилищ, распахивание степей и т. д.).

Среди многочисленных примеров действия этого закона рассмотрим сначала развитие изменений в такой паре ландшафтов, как суперакральная–аквальная. 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 продуктивностью (в Цимлянском водохранилище она меняется от 364 до 1440 т/м²), окислительно-восстановительной обстановкой (в донных отложениях и в придонном слое при разложении массового количества водорослей может возникнуть бескислородная глеевая обстановка), изменением геоморфологической обстановки (трансакральные ландшафты с преобладанием механического переноса материала могут перейти в трансаккумулятивные с преобладанием отложения осадков), составом донных отложений (в равнинных условиях возможно увеличение количества тонкой фракции, а в горных - более грубых).

Со временем степень изменений может достичь предела за счет ускоренного поступления материала, вызванного уничто-

жением прибрежных лесных ландшафтов, произойдет полное заиливание водохранилищ и прудов. В условиях пересеченной местности пруды могут полностью зарости менее чем за 10 лет, а в равнинных - за первые десятилетия.

Другим примером действия рассматриваемого закона может быть развитие последствий создания в равнинных условиях водохранилищ на месте ландшафтов степей, что было довольно типично для бывшего СССР. После создания на Дону Цимлянского водохранилища в пойме ниже него началось засоление почв сернокислым натрием и постепенное остепнение. Засоление почв и появление галофильных растительных сообществ проявились уже в первые 5–7 лет, четко выраженное остепнение на положительных формах рельефа – через 10 лет. Изменения постепенно продвигались вниз по течению. Кроме указанных изменений резко сократились площади болот; на лугах травостой злаков изредился, и в промежутках развились однолетки степной экологии, главным образом однолетние костры.

Продвижение изменений происходило довольно медленно. Примерно за 20–25 лет указанные изменения стали отчетливо фиксироваться на расстоянии около 100 км от плотины. При этом наибольшая интенсивность изменений отмечается при приближении к водохранилищу – искусственно созданному геохимическому ландшафту.

В других случаях замена одного ландшафта другим вызывает изменения в соседних ландшафтах на расстоянии всего нескольких сотен метров, например, при распаивании ландшафтов предгорных лугов.

Подобных иллюстраций действия этого закона очень много, в каждом из них к числу последствий антропогенной деятельности необходимо также относить изменение хода миграции химических элементов и особенности их биологического круговорота.

Основными **следствиями рассматриваемого закона** можно считать следующие:

1. Нельзя заменить один геохимический ландшафт или их группу другими, не вызвав изменений в ландшафтно-геохимической обстановке соседних ландшафтов, даже без

непосредственного воздействия на них.

2. Революционные (катастрофические) воздействия на отдельные участки биосферы постепенно вызывают эволюционные изменения в соседних участках.

Без учета рассматриваемого закона и вытекающих из него следствий нельзя заниматься хозяйственной деятельностью, связанной с существенной перестройкой ландшафтно-геохимической обстановки, т. е. невозможны рациональное использование природных ресурсов, устойчивое развитие и безопасная жизнедеятельность. Как было показано, последствия (и в первую очередь отрицательные) могут сказываться и через несколько десятилетий.

Необходимость учета развития изменений в ландшафтах, соседних с преобразованными, подтверждается дорогостоящими исправлениями ошибок, связанных с выполнением проектов, игнорирующих рассмотренные положения. К числу таких проектов в первую очередь относятся те, которые связаны с созданием крупных водохранилищ в равнинных частях страны, сплошной рубкой леса на Кавказе и т.д.

Закон влияния ландшафтно-геохимических условий на соотношение содержаний химических элементов в организмах (В.А. Алексеев).

Развитие жизни в целом происходило на Земле в условиях определенных планетарных разбросов химических элементов. Развитие отдельных видов животных и растительных организмов (и их конкретных сообществ), существующих 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 для организмов 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,

60-вторых, к определенному соотношению элементов в каждом из этих видов.

Еще в 30-е гг. прошлого столетия английским исследователем Х.Каррером 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. Очень важным в этой работе оказалось, что для лечения можно использовать серу. Ее повышенная концентрация как бы нейтрализовала селеновое отравление при неизменной концентрации самого селена. Это наталкивало на мысль о важности для организмов в определенных ландшафтно-геохимических условиях соотношения концентраций химических элементов, и в частности Se/S.

Позже отечественными геохимиками было установлено, что в аномальных ландшафтно-геохимических провинциях с резким избытком в почвах Sr не только развивается урсовая болезнь, но и существенно повышается содержание Sr в скелете животных организмов, включая человека. Таким образом, нарушается и величина соотношения Ca/Sr и Ba/Sr. В материалах, полученных при исследованиях, можно усмотреть не только токсичную роль высоких концентраций Sr, что было сразу же отмечено исследователями, но и важность изменения соотношения между элементами в организмах с изменением ландшафтно-геохимических условий.

Для проверки этих предположений были проведены специальные исследования. Они показали, что в растительных и животных организмах существуют довольно четкие закономерности связи между элементами. При резком изменении условий существования организмов, обычно представляющем собой смену геохимических ландшафтов, эти соотношения изменяются. Как правило, при этом начинаются и другие изменения в организмах, часты и заболевания. Обобщение всех данных позволило установить:

Резкое изменение ландшафтно-геохимических условий существования живых организмов обычно приводит к изменению соотношения концентраций ряда химических элементов в этих организмах, что часто сопровождается болезнями.

Использование в практической деятельности рассматриваемого закона сразу же дало положительный эффект. При поисках биогеохимическими методами полиметаллических месторождений их можно обнаружить даже при большой мощности перекрывающих наносов по резко уменьшающемуся отношению содержания Мо/РЬ в растениях. По этому же признаку наиболее четко выявляются и участки загрязнения свинцом. Интересно отметить, что по изменениям в ряде растений соотношения Мо/РЬ выявить зоны с повышенным содержанием РЬ легче, чем по изменениям содержания в этих же растениях самого РЬ.

По изменению соотношения содержания в золе растений Си и Мо впервые биогеохимическим методом были выявлены границы между различными породами, перекрытыми рыхлыми отложениями, т.е. была установлена граница между двумя геохимическими ландшафтами (рис.3.12). Позднее по изменению соотношений концентраций в растениях определенных химических элементов неоднократно устанавливались границы между различными горными породами под наносами, т. е. между различными геохимическими ландшафтами.

Правило соответствия (М. А. Глазовская):

Устойчивость природных систем по отношению к техногенным воздействиям определяется их характером, свойствами природных систем (геохимической структурой, функционированием) и типом ответных реакций последних на техногенные воздействия.

• 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.

Ассоциация элементов, соответствовавшая уровню развития науки и техники XX - начала XXI вв., представлена в основном Pb, Cu, Zn, Mo, Ba, Co, Mn, Fe и еще рядом химических элементов. Развитие науки и техники в XXI в. невозможно без широкого использования элементов, ныне относимых к редким. Их ассоциация в крупных техногенных аномалиях должна будет относиться к ведущей.

Правило загрязненности природных биокосных систем (М.А. Глазовская):

Показателем нормального функционирования ландшафта являются его биологическая продуктивность и качество создаваемой биологической продукции: уровень продуктивности не должен понижаться, в биомассе не должны накапливаться элементы в количествах, нарушающих жизненные функции организмов, в почвенной биоте должен сохраняться полезный генофонд.

Правило связи геохимических аномалий и барьеров (Н.С. Касимов):

Геохимические аномалии формируются на геохимических барьерах.

Правило связи геохимических барьеров с границами ландшафтов (Н.С. Касимов):

Геохимические барьеры формируются на границах сопряженных ландшафтов или подсистем ландшафтов.

Правило кларковых содержаний химических элементов в почвах природных геохимических ландшафтов установлено на основе исследований, проводимых совместно В. В. Добровольским и В. А. Алексеенко:

Кларковые содержания химических элементов в почвах природных (биогенных) ландшафтов в большинстве случаев представляют собой усредненные значения кларков этих же элементов в горных породах

На основании трудов В. И Вернадского, Б. Б. Полинова и В. Р. Вильямса А.И. Перельман и Н.С. Касимов сформулировали закон биологического круговорота химических элементов:

В ландшафте химические элементы, поглощаясь живыми организмами, входят в состав органических соединений, их тела «организуются». Это процесс негэнтропийный (энтропия системы уменьшается) и химические элементы заряжаются энергией, становятся геохимическими аккумуляторами. При разложении органических веществ (в телах самих организмов и после их смерти) энергия выделяется, «геохимические аккумуляторы разряжаются». Носителями энергии в основном становятся природные воды, приобретающие агрессивность и совершающие в ландшафте большую химическую работу. Это процесс энтропийный. Поступательное развитие ландшафта осуществляется через систему таких круговоротов, в ходе которых закономерно изменяется также информация.

Правило формирования состава вод ландшафта:

Газовый и ионный состав вод ландшафта, кроме процессов растворения соединений, ионного обмена и т. п. химических процессов, во многом обязан деятельности организмов, находящихся непосредственно в данном ландшафте, а также населяющих области формирования рассматриваемых вод.

В.И. Вернадский уделял особое внимание водам, сформировавшимся под воздействием живого вещества, рассматривая образование осадочных горных пород.

3.3. Химические элементы и живое вещество

Начать этот раздел мы решили с изложения энергетических проблем. Ранее уже рассматривались законы термодинамики, позволяющие говорить о вероятности протекания отдельных процессов и о связи их самопроизвольного течения с определенной упорядоченностью систем. Приведем теперь закономерности энергетических потребностей биологических систем, которые (потребности) определяют возможность их существования и воспроизводства.

Закон энергетических потребностей организмов мы предлагаем изложить в следующем виде:

Живые организмы для своего существования и воспроизводства нуждаются во внешних источниках энергии.

Вывод этого закона базируется на нескольких положениях, которые мы предлагаем рассматривать как отдельные правила.

Правило поглощения энергии извне при образовании живых организмов:

Синтез организмами необходимых веществ из среды их существования в большинстве случаев является эндотермическим процессом.

Не возникает никаких сомнений в том, что материалом для построения живого вещества и всего его последующего развития являются атомы (ионы) химических элементов, находящиеся в среде существования живых организмов. Правда, по мнению В.И. Вернадского, подавляющее количество атомов, составляющих ныне существующие организмы, состоит из атомов, уже прошедших в процессе биологического круговорота элементов стадию нахождения в живом веществе. Однако с точки зрения термодинамики это не столь существенно.

Так как биокосные системы представляют собой взаимозависимость и теснейшее переплетение живого и косного вещества, то вышерассмотренные правила и закон действуют при рассмотрении и биологических, и биокосных систем.

Правило необходимости получения энергии при формировании высокоупорядоченных биологических систем:

Живые организмы, являясь по сравнению со средой их существования очень высокоорганизованными системами, характеризуются очень низкой энтропией (при сравнении с поступающими в них веществами). Эта высокая степень упорядоченности достигается путем потребления энергии в процессе жизнедеятельности.

Первичным источником энергии для существования живого вещества является Солнце. Правда, считается, что незначительное количество организмов, найденных в последнее время в глубоководных впадинах, потребляет для своего существования энергию внутреннего тепла Земли. Непосредственно используют солнечную энергию так называемые автотрофы (продуценты). Однако разнообразные организмы (гетеротрофы, редуценты) получают солнечную энергию «непрямым путем», а в результате усвоения энергии, запасенной другими организмами. Есть еще организмы (хемотрофы), использующие энергию, освобождающуюся при экзогенных химических реакциях, идущих с выделением тепла.

В связи с техногенным выращиванием многих культур (в оранжереях, теплицах) все чаще используются техногенные источники энергии.

Подводя итог энергетическим проблемам живого вещества Земли, отметим, поскольку его возникновение и развитие представляют собой процессы формирования более упорядоченных систем, то эти процессы оказываются несопроизвольными. Для протекания таких процессов живые системы должны «подключаться» к какому-то внешнему источнику энергии.

Закон константности (В.И. Вернадский):

Количество живого вещества биосферы в определенный геологический период есть константа.

Следствием из рассматриваемого закона является **правило обязательного заполнения экологических ниш.**

Правило обязательного заполнения экологических ниш:

Появляющаяся пустующая экологическая ниша всегда заполняется естественным путем.

Правило исключения (Г.Ф. Гаузе) тесным образом связано с законом константности и правилом заполнения ниш:

Два вида не могут существовать в одной и той же местности, если их экологические потребности идентичны, т.е. если они занимают одну и ту же экологическую нишу

Отметим, что в последнее время ряд исследователей не соглашаются с принципом Гаузе.

Закон корреляции (Ж. Кювье):

В организме, как целостной системе, все его части соответствуют друг другу как по построению, так и по функциям. Изменение одной части организма или отдельной функции неизбежно влечет за собой изменение других частей или функций.

Первый биогеохимический принцип (В.И. Вернадский):

Геохимическая биогенная энергия стремится в биосфере к максимальному проявлению.

Второй биогеохимический принцип (В.И. Вернадский):

При эволюции видов выживают те организмы, которые своей жизнью увеличивают биогенную геохимическую энергию

С учетом этих принципов В. И. Вернадского был сформулирован закон максимума биогенной энергии, названный Н.Ф. Реймерсом законом Вернадского-Бауэра. Он звучит так:

Любая биологическая и биокосная система, находясь в состоянии динамического подвижного равновесия с окружающей средой и эволюционно развиваясь, увеличивает свое воздействие на среду.

Закон миграции химических элементов в биосфере назван по предложению А.И. Перельмана законом В.И. Вернадского. Закон гласит:

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.

Закон миграции В.И. Вернадского относится к основополагающим законам геохимии (биогеохимии). Он указывает на то, что, несмотря на резкую, непреодолимую грань, существующую между живым и косным веществом, они взаимосвязаны и между ними непрерывно происходит взаимодействие. Результатом этих процессов было создание в биосфере условий, наиболее пригодных для жизни и работы людей. Однако эти условия не являются ни одинаковыми для всей биосферы, ни постоянными. Можно сказать, что *постоянными для биосферы являются различные эколого-геохимические изменения, обычно захватывающие её отдельные части и гораздо реже – всю систему.*

Взаимодействие живого и косного веществ биосферы, а главное, результат этого взаимодействия на протяжении всего развития биосферы изменялись. Эволюционное развитие организмов изменяло среду их существования, а в первую очередь изменялись атмосфера и гидросфера. Изменения среды вызывали дальнейшие изменения живого вещества. Эти процессы продолжались непрерывно, но *происходили постепенно, эволюционно, а сам процесс можно считать саморазвивающимся.*

Антропогенная деятельность, особенно начиная с середины прошлого века, начала приводить к техногенному изменению и среды обитания организмов (биосферы), и к изменениям в составе живого вещества. При этом изменения, происходящие под воздействием антропогенной деятельности, в отличие от происходящих эволюционно миллиарды лет природных изменений, стали происходить катастрофически быстро, революционно. Однако процесс взаимодействия живого и косного вещества остался, под воздействием природных факторов, саморазвивающимся. Это значит, что в настоящее время оценить потен-

циальный результат вмешательства человека невозможно. Можно лишь предполагать, что дальнейшая необдуманная антропогенная революционная деятельность может привести к глобальным изменениям процессов миграции – концентрации веществ в биосфере, к нарушению безопасности жизнедеятельности и будет противоречить стремлению людей к устойчивому развитию, но уже не отдельных регионов, а всей биосферы.

Чтобы избежать опасных последствий, при любых *проектах преобразования природы* нужно стремиться к максимальному сохранению всех живых организмов в их природном соотношении между собой. Это касается не только глобальных (планетарных) проектов, но и небольших – локальных.

Закономерности распространности химических элементов в живом веществе. Одной из основных проблем при изучении биогеохимических особенностей живого вещества является установление особенностей состава этого вещества. Так как кларки земной коры контролировали раньше и контролируют сейчас химические (геохимические) особенности среды, в которой возникло и развивается живое вещество, то они должны были оказать влияние и на состав самого живого вещества. Специально проведенные исследования этого вопроса позволили сделать ряд выводов:

1. ***Неравномерность*** распространности химических элементов в земной коре ***в еще большей мере стала характерна для организмов.*** Так, если в земной коре на долю восьми наиболее распространенных элементов (O, Si, Al, Fe, Ca, Mg, K, Na) приходится 98% ее массы, то в живом веществе уже только три элемента (O, C, H) составляют 98,5% массы организмов. На долю всех остальных элементов в последнем случае остается лишь около 1,5% массы живого вещества.

2. ***«Ведущим» химическим элементом*** в организмах (70% массы), так же как и в земной коре (47% массы), ***является кислород.***

3. В живом веществе, как и в земной коре, ***четноатомные элементы существенно преобладают над нечетноатомными.***

4. **Основу живого вещества** (как и земной коры) **составляют элементы, доминирующий изотоп которых построен по типу 4n** (^{12}C , ^{16}O , ^{24}Mg , ^{28}Si , ^{32}S , ^{40}Ca , ^{56}Fe).

5. В обеих рассматриваемых системах четко наблюдается **значительное преобладание более легких химических элементов**. Однако в распространенности элементов в земной коре и в живом веществе есть и определенные отличия. В значительной мере они могут быть обусловлены влиянием химического состава среды обитания на содержание химических элементов в организмах и механизмом поглощения элементов этими организмами. Это позволяет к сделанным выводам добавить следующие:

6. Элементы – **воздушные мигранты** (в классификации элементов А.И. Перельмана по особенностям гипергенной миграции в эту группу кроме инертных газов входят О, Н, С, N, I - рис. 1.3) **в живом веществе составляют свыше 98% его массы, а в земной коре – меньше 50%**.

7. **Среди элементов – водных мигрантов** (по классификации А.И. Перельмана) **в организмах преобладают подвижные**. На их долю приходится 0,7%, а на долю малоподвижных – около 0,5%. В земной коре преобладают слабо- и малоподвижные, составляя свыше 44%. На долю подвижных в земной коре приходится всего около 8%, что составляет менее 1/5 от числа слабоподвижных.

8. Обособленные в земной коре **такие формы нахождения элементов, как минеральная, водные растворы, газовые смеси, коллоидная и сорбированная, в живом веществе часто образуют единый организм** с одной общей (биогенной) формой нахождения.

Так, в высших растениях, составляющих основу живого вещества, подавляющее большинство химических элементов образует самые разнообразные органические соединения. Именно они и составляют основу живого вещества. Однако большинство катионов поступает в растения в форме природных растворов. В процессе жизнедеятельности (в первую очередь в результате фотосинтеза) в растениях образуются газы, выделяющиеся в окружающую среду. Из минералов в растениях наиболее часто

отмечаются CaCO_3 и SiO_2 *aq. Присутствие опала (SiO_2 *aq) предполагает наличие в растениях коллоидных растворов, а значит, и сорбированной формы нахождения элементов.

В еще больших количествах минералы, газы и растворы находятся в организмах животных, в том числе в человеческом.

9. Возраставшая со временем ***неравномерность распределения химических элементов в верхних частях земной коры*** (во многом связанная с образованием осадочных пород) в большей мере сказалась не на неравномерности распределения элементов в определенном виде организмов, а ***на неравномерности распределения самих организмов***.

Нужно особо отметить, что определенные виды организмов (наиболее изучены растения, а объясняется это развитием во второй половине прошлого века геоботанических и биогеохимических методов поиска месторождений полезных ископаемых) получили широкое развитие, *во-первых*, только над определенными типами горных пород, а *во-вторых*, над месторождениями, т.е. над горными породами с резко повышенными содержаниями одного или нескольких химических элементов. Объяснить это явление можно в основном биохимическими особенностями различных организмов и, соответственно, их реакцией на изменение эколого-геохимической обстановки, которая в указанных случаях может рассматриваться как аномальная.

В первом случае растительные организмы реагируют на незначительно изменившееся содержание многих элементов (в результате этого могут изменяться щелочно-кислотные особенности почв). Такие изменения происходят на довольно больших площадях. Вызываемая суммарным воздействием этих изменений смена растительных сообществ указывает на смену горных пород даже при большой мощности перекрывающих их рыхлых образований.

Во втором случае смена растительности, как указывалось, происходит под воздействием резкого повышения содержания только одного или нескольких химических элементов, вызванного их (элементов) неравномерным распределением в земной коре.

Если же определенные растения продолжают существовать в зоне высокого содержания отдельных химических элементов, связанной с неравномерностью распределения этих же элементов в земной коре (ее отдельных частях), то у растений обычно изменяются некоторые морфологические особенности.

10. В ряде случаев резко изменяющаяся концентрация элементов в земной коре вызывает многочисленные *морфологические изменения* организмов, (обычно растений) *часто закрепляемые в потомстве*. Это особенно заметно на месторождениях – в зонах наибольшей концентрации отдельных элементов в литосфере.

Некоторые из приведенных выше пунктов рассматриваются как отдельные биогеохимические правила. Так, пункт 4 по своей сути базируется на следующем **правиле связи нормального развития биологических и биокосных систем с содержаниями химических элементов с определенными массами их ядер (Алексеев, 2000):**

Биогеохимические особенности и развитие геохимических систем живого вещества во многом определяются строением (массой) ядер химических элементов, составляющих эти системы. При этом для нормального развития рассматриваемых систем распространенность каждого из составляющих ее элементов должна соответствовать его положению в таблице Д.И. Менделеева, а следовательно, и строению атома.

Рассматривать это правило удобно с использованием рисунка линии питательных веществ, которая представляет собой ломаную, соединяющую в табл. Д.И. Менделеева углерод с калием и железом (рис. 1.8). Химические элементы, пересекаемые этой линией в таблице или расположенные вблизи нее, необходимы для нормального развития организмов в гораздо больших количествах, чем элементы, расположенные в удалении от этой линии и особенно ниже ее.

Анализ многочисленных данных показывает, что если в среде, окружающей (питающей) организмы, содержание химических элементов, расположенных вблизи линии жизни, будет повышено, то это менее опасно для организмов, чем определен-

ный недостаток этих элементов. Повышенное содержание в среде обитания организмов элементов, расположенных в удалении от «линии жизни» и ниже её, более опасно для этих организмов, чем пониженные концентрации указанных химических элементов.

Правило связи содержаний элементов в живом веществе с абсолютным разбросом величин этих элементов в земной коре (В.А. Алексеенко):

Содержание химических элементов в живом веществе неравномерно убывает по мере возрастания величин абсолютных разбросов этих элементов.

Как показывает приведенное правило, чем большей неравномерностью отличается распределение химических элементов в крупных геохимических системах, тем в меньших количествах элементы поступают в живое вещество. Вероятнее всего, такая закономерность связана долгим эволюционным развитием как организмов, так и среды их обитания. Эти чрезвычайно важные положения требуют проведения специальных дополнительных исследований.

Правило связи величин абсолютного разброса химических элементов с потенциальным изменением безопасности жизнедеятельности (В.А. Алексеенко):

Для развития живых организмов (включая человека) опасно существенное изменение величин абсолютного разброса химических элементов в крупных (планетарных) геохимических системах. Потенциально наиболее вероятным является изменение в породах и почвах континентов AP, имеющих в настоящее время величины меньше 10.

Данное правило можно считать отражением долгого эволюционного развития живого вещества планеты (именно планеты, а не её отдельных районов). В ходе этого развития организмы постепенно привыкали к существенно изменяющимся в различных частях биосферы содержаниям отдельных элементов. Так, например, содержание CO в ультраосновных породах – $1,5 \cdot 10^{-2}\%$, а в карбонатных – всего $1 \cdot 10^{-5}\%$. Еще большая разница содержаний в среде существования организмов в пределах

крупных регионов характерна для Th, Ba, U, K, Rb, Sr, Ni и ряда других элементов.

Однако у элементов третьей группы (см. выше) разброс содержаний в породах и почвах Земли чрезвычайно мал и живое вещество планеты в процессе эволюции «не привыкло» к существенным изменениям разброса этих элементов.

К настоящему времени значение AP меньше 10 характерно лишь для Bi, W, Au, Br, P, Zn, Ag, J, Be. Резкое увеличение их разброса на большой территории в результате техногенных процессов может вызвать крайне нежелательное воздействие на развитие жизни вообще и на безопасность жизнедеятельности людей.

Правило зональности обстановок, возникающей под воздействием живого вещества в верхних частях земной коры (А.И. Перельман):

Геохимическая работа живого вещества создала преобладание резко окислительной обстановки на земной поверхности, сменяющейся с глубиной на восстановительную.

Правило А.И. Перельмана (название дано авторами) образования соединений при отмирании живых организмов:

При всем разнообразии живых организмов после отмирания они превращаются в одни и те же простые минеральные соединения и в вещества гумусового типа.

Разложение живого вещества приводит сначала к образованию своеобразных минералов – “биолитов”. Они сохраняют форму тех клеток, органов и организмов в которых они возникли. Находясь в илах и почвах, они приобретают землистый вид, в дальнейшем обогащая почву преобладающими в них элементами(их соединяющими). Довольно часто такими соединениями являются карбонат кальция, опал, глинистые минералы.

Закон адаптивной радиации (radiation – расхождение лучами) (Ч.Р. Дарвин, В.О. Ковалевский):

В зависимости от приспособления к различным условиям существования, признаки в данной группе организмов расходятся по самым разнообразным направлениям.

Закономерность установлена Ч.Р. Дарвином и развита В.О. Ковалевским, введшим в 1873 г. Термин “радиация” (расхождение лучами).

Закон необратимости эволюции (Закон Долло):

Организм не может вернуться, хотя бы частично, к прежнему состоянию, уже пройденному рядом его предков.

При этом не могут восстановиться в процессе дальнейшего развития ни утраченные признаки, ни отдельные органы.

Закон биогенетический (Мюллер, Геккель):

Индивидуальное развитие живых организмов повторяет главные этапы развития всего ряда предковых форм.

Особенно наглядно действие закона сказывается на развитии зародышей различных животных на разных этапах.

Закон генетического разнообразия в изложении Н.Ф. Реймерса звучит:

Все живое генетически различно и имеет тенденцию к увеличению биологической разнородности. Двух генетически абсолютно одинаковых особей (кроме однойцовых близнецов, немутуирующих клонов, вегетативных линий и немногих др. исключений), а тем более видов живого в природе быть не может.

Закон гомологических рядов в наследственной изменчивости (Н.И. Вавилов) в современном изложении (Природа. 1987. №10. С.65):

Родственные виды, роды, семейства и т.д. обладают гомологичными генами и порядками генов в хромосомах, сходство которых тем полнее, чем эволюционно ближе сравниваемые таксоны. Гомология генов у родственных видов проявляется в сходстве рядов их наследственной изменчивости.

Закон минимума (Ю. Либих):

Жизнеспособность организмов определяется самым слабым звеном в цепи их экологических потребностей.

Н.Ф. Реймерсом сделано важное дополнение к закону Ю. Либиха в определенной мере организм бывает способен заме-

нить дефицитное вещество (или фактор, определяющий экологические потребности) функционально и химически близким. Мы хотим отметить, что такое замещение (а оно может происходить под воздействием как приходных, так и антропогенных факторов) иногда в конкретных условиях бывает для организма очень выгодным. Так, внесение в почвы, обогащенные Se, серы (геохимический аналог Se) приводит к тому, что в растениях содержание Se уменьшается, а S – возрастает. В результате скот перестает болеть и погибать от избытка Se. В других случаях замещение может вредить организму. При недостатке Ca и избытке в среде существования Sr в костях животных организмов (включая человека) происходит резкое увеличение (по данным А.И. Перельмана в 5-8 раз) содержания геохимического аналога Ca – элемента стронция. Это вызывает тяжелую, так называемую урвскую болезнь.

Закон пирамиды энергий (Р. Линдеман):

С одного трофического уровня экологической пирамиды переходит на её другой уровень в среднем не более 10% энергии.

Закон последовательности прохождения фаз развития (по Н.Ф. Реймерсу):

Фазы развития природных систем следуют в эволюционно закреплённом порядке обычно от относительно простого к сложному, как правило, без выпадения промежуточных этапов.

Порядок прохождения фаз развития обычно обусловлен экологически. Промежуточные этапы иногда могут проходить очень быстро. Как пример игнорирования закона и последствий таких действий часто приводят попытки вырастить хвойные лесные культуры в тех условиях, когда им должны были предшествовать другие виды древесных растений. Если хвойные культуры в таких случаях даже будут выращены, они либо заболевают, либо оказываются нежизнестойкими и в дальнейшем погибают уже при небольших отклонениях условий их произрастания.

Закон физико-химического единства живого вещества (В.И. Вернадский):

|| Все живое вещество физико-химически едино.

Следствиями из закона являются:

- *Вредное для одной части живого вещества не может быть безвредным для его других частей.* Так, например, использование пестицидов, уничтожающих определенных вредителей, оказывает вредное влияние и на другие организмы.

- *Живое вещество связано единой «сетью жизни»; ее разрывы снижают устойчивость всей системы.* До определенного предела такие разрывы компенсируются более интенсивным развитием видов, являющихся функциональными аналогами исчезнувших видов. Так исчезновение в степных ландшафтах копытных приводит к широкому развитию грызунов (Реймерс, 1990). Для устойчивого развития биосферы необходимо сохранение видового разнообразия.

Правило Глогера:

|| Географические расы животных в теплых, влажных и сильно загрязненных регионах пигментированы сильнее.

Закон оптимальности:

|| Размер любой системы должен соответствовать её функциям.

(О влиянии особенностей внешнего электронного слоя на распределение химических элементов в верхних частях земной коры см. в гл.1 – «Характеристика показателя «абсолютный разброс химических элементов» и в гл.2 – «Закономерности распределения химических элементов в земной коре»).

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ТЕРМИНЫ

Аккумуляция загрязнителей. 1. Наблюдаемое экспериментально накопление разнообразных загрязняющих веществ антропогенного происхождения в различных средах: атмосфере, гидросфере, почве. 2. Наблюдаемое экспериментальное накопление загрязнений в живых организмах окружающей среды и за счет употребления загрязненной пищи. Загрязняющие вещества не полностью выводятся органами с выделениями, поэтому на каждом следующем уровне трофической цепи создается значительно большая концентрация стойких загрязнителей. Это явление называют также *биоаккумуляцией*.

Антропогенное воздействие. 1. Влияние человечества (прямое или косвенное (опосредованное)) на окружающую среду. 2. Формы воздействия человека на окружающую среду (в частности, на растительность и животное население) могут быть прямыми (истребление, завоз и акклиматизация) и косвенными (изменение ландшафтов и их отдельных компонентов – вырубка леса, распашка, выжигание, промышленное освоение и пр.).

Антропогенное воздействие на географическую среду (ландшафты) – влияние производственной или непроизводственной деятельности людей на структуру и функционирование ландшафтов.

Антропогенное загрязнение (геологической среды) – внесение в геологическую среду в процессе деятельности человека химических (в том числе и радиоактивных) и биологических веществ, а также структурное или геофизическое воздействие на нее.

Антропогенное загрязнение (ландшафтов) – увеличение концентрации тех или иных веществ или энергии выше естественных (фоновых или допустимых пределов, норм), а также внесение чуждых ландшафту веществ, организмов и источников энергии из-за воздействия антропогенных факторов.

Антропогенное изменение (геологической среды) – преобразование под воздействием человека состава, структуры, состояния и свойств геологической среды, характера естественных геофизических и геохимических полей, интенсивности и направленности природных геологических процессов; нередко приводит к изменению характера взаимодействия человека с геологической средой, различным нарушениям функционирования природных и техногенных объектов, авариям и катастрофам; различают обратимые и необратимые, быстрые и медленные, постепенные и циклические изменения.

Антропогенное нарушение стока – изменение естественного водного и химического режима рек в результате хозяйственного преобразования и загрязнения ландшафтов водосбора, руслового регулирования, водозабора, и сброса вод в речную сеть.

Антропогенные сукцессии – экологические сукцессии, которые протекают под влиянием деятельности человека.

Антропогенный ландшафт – ландшафт, преобразованный хозяйственной деятельностью человека настолько, что изменена связь природных (экологических) компонентов в степени, ведущей к сложению нового по сравнению с ранее существующим на этом месте природным комплексом.

Антропогенный рельеф – все типы и формы рельефа, создаваемые человеческой деятельностью.

Ассоциация растительная. 1. Естественно сложившаяся в пределах какого-то ареала со сходными условиями существования растительность, однородная по видовому составу, соотношению жизненных форм, типу круговорота веществ, продуктивности и тенденциям развития;

2. Основная единица классификации растительного покрова; совокупность однородных фитоценозов.

Аэрозоль - взвешенные в газообразной среде частички

твердых или жидких веществ. Среди А. различают пыли (твердые частицы, взвешенные в газообразной среде), дымы (продукты конденсации газа) и туманы (жидкие частицы в воздухе). Размеры частиц А. лежат в пределах 0,001–1000 мкм.

Аэрозольное загрязнение – загрязнение атмосферы (воздуха) крупно- и мелкодисперсными твердыми и жидкими веществами, не принадлежащими к постоянным частям атмосферы и резко превышающими их фоновые концентрации.

Барьер экологический – полоса территории, которая благодаря особенностям естественного или созданного ландшафта (санитарно-защитная зона) может служить препятствием для распространения техногенных загрязнений.

Безопасность экологическая: совокупность действий, состояний и процессов, прямо или косвенно не приводящих к жизненно важным ущербам (или угрозам таких ущербов), наносимым природной среде, отдельным людям и человечеству. Б.э. может быть рассмотрена в глобальных, региональных и локальных рамках, в том числе в пределах государств.

Биогеохимический круговорот (син. геохимический цикл биогенов, биогеохимический цикл) – повторяющиеся перемещения и превращения химических элементов (около 40) через косную и органическую природу при активном участии живого вещества.

Биологические системы – биологические объекты различной сложности (клетки и ткани, органы, системы органов и организмы, биоценозы и экосистемы, вплоть до биосферы в целом), имеющие, как правило, несколько уровней структурно-функциональной организации. Представляя собой совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, биологические системы обладают свойствами целостности (несводимость свойств системы к сумме свойств ее элементов), относительной устойчивости, а также способностью к адаптации по отношению

к внешней среде, развитию, самовоспроизведению и эволюции. Любая биологическая система является динамической – в ней постоянно протекает множество процессов, часто сильно различающихся во времени. В то же время биологические системы – открытые системы, условием существования которых служит обмен энергией, веществом и информацией как между частями системы (или подсистемами), так и с окружающей средой. Важнейшая особенность биологических систем заключается в том, что такой обмен осуществляется под контролем специальных механизмов реализации генетической информации и внутреннего управления, которые позволяют избежать "термодинамической смерти" путем использования энергии, извлекаемой из внешней среды. Устойчивость стационарных состояний биологических систем (сохранение постоянных внутренних характеристик на фоне нестабильной или изменяющейся внешней среды), а также способность их к переходу из одного состояния в другое (свойство неустойчивости стационарных состояний биологических систем) обеспечиваются многообразными механизмами саморегуляции.

В основе саморегуляции биологических систем лежит принцип обратной связи, отрицательной или положительной. Так, в цепи регулирования с отрицательной обратной связью информация об отклонении регулируемой величины от заданного уровня включает в действие регулятор, который воздействует на регулируемый объект таким образом, что регулируемая величина возвращается к исходному уровню (знак изменения ее обратен знаку первоначального отклонения). Этот механизм, а также более сложные комбинации нескольких механизмов могут функционировать на разных уровнях организации биологических систем. Например, на молекулярном – ингибирование ключевого фермента при избытке конечного продукта или репрессия синтеза ферментов, на клеточном – гормональная регуляция и контактное угнетение, обеспечивающие оптимальную плотность клеточной популяции; на уровне организма – регуляция содержания глюкозы в крови, а в общем случае гомеостаз, обеспечивающий стабильность внутренней среды организма). Специальные механизмы положительной обратной связи (воз-

действие на регулируемый объект вызывает изменение, совпадающее по знаку с первоначальным отклонением регулируемой величины, вследствие чего система выходит из данного стационарного состояния) лежат в основе перехода системы из одного стационарного состояния в другое и основанных на этих переходах закономерных изменениях биологических систем, обеспечивающих их адаптацию к изменяющимся внешним условиям, перемещение, другие многообразные активные функции биологических систем и их эволюцию. Сложные автономные (независимые от среды) движения биологических систем возможны благодаря множественности стационарных состояний биологических систем, между которыми могут совершаться переходы. В некоторых случаях новое состояние оказывается не стационарным, а автоколебательным, т.е. таким, в котором значения показателей колеблются во времени с постоянной амплитудой. Такие явления лежат в основе периодических процессов в биологических системах, временной организации, в основе функционирования биологических часов. При анализе поведения и свойств биологических систем широкое применение находят различные методы физического и математического моделирования, используются кибернетические и термодинамические подходы. Системный подход оказывается перспективным для решения многих практически важных проблем (создание замкнутых систем жизнеобеспечения, проблема заболеваний, связанных с нарушением гомеостаза, и пр.).

Биоиндикатор – группа особей одного вида или сообщество организмов, по наличию, состоянию или поведению которых судят о естественных и антропогенных изменениях в среде, в том числе о присутствии и количествах загрязнений.

Биоиндикация (биодиагностика) – оценка экологических условий (чаще загрязнений среды человеком) по организмам-индикаторам или целым сообществам.

Биологическое загрязнение – 1. Привнесение в среду и размножение в ней нежелательных для человека организмов.

2. Проникновение (естественное и благодаря деятельности человека) в эксплуатируемые экосистемы и технологические устройства видов организмов, чуждых данным сообществам и устройствам и обычно там отсутствующих или присутствующих в незначительных количествах. При загрязнении микроорганизмами говорят о *бактериологическом загрязнении* или *микробиологическом загрязнении (микробном)* – это появление в среде необычно большого количества микроорганизмов, связанное с быстрым и массовым размножением на антропогенных субстратах или средах, измененных хозяйственной деятельностью человека, или приобретение ранее безвредной (обычно массовой) формой микроорганизмов патогенных свойств или способности подавлять другие организмы. Примерами последнего служат сапрофит синегнойной палочки, ставший причиной заболевания рожениц в родильных домах, или почвенный организм легионелла, ставший возбудителем болезни легионеров, и быстро размножающаяся в кондиционерах.

Биологическая активность почвы – функция живой компоненты почвы, проявляющаяся через интенсивность биологических процессов, выражается общим количеством микроорганизмов на 1 г почвы или количеством CO₂, выделяемого в единицу времени.

Биологический круговорот химических элементов (БИК) – поступление в живые организмы элементов из почв, вод и атмосферы с последующим 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. БИК - один из основных классификационных показателей в геохимии ландшафта.

Биота. 1. Исторически сложившаяся совокупность всех живых организмов, обитающих на какой-либо крупной территории (единый комплекс флоры и фауны); 2) совокупность организмов, населяющих какой-либо территорию или акваторию. Биота Земли включает все живые организмы, населяющие планету; их численность оценивается величиной (10^{27} особей).

Общая биомасса биоты ("живое вещество") в сухой массе оценивается величиной $(1,8-2,5) \cdot 10^{12}$ т.

Биотическое (биогенное) загрязнение – распространение определенных, как правило, нежелательных, сточки зрения людей, биогенных веществ (выделения мертвых тел и т.п.) на территории и/или акватории, где они ранее не наблюдались.

Буферная зона – территория, прилегающая к заповеднику и оконтуривающая его, в пределах которой запрещены любые действия, способные нарушить установленный в нем природный режим.

Буферная способность почв – устойчивость и противостояние почв изменению их свойств и состава при внешнем воздействии, помимо природных факторов почвообразования.

Буферность почв – свойство почв поддерживать химическое состояние на сравнительно несоизмеримом уровне при воздействии любых природных и антропогенных факторов.

Вторичное загрязнение – образование (синтез) опасных загрязнителей, называемых *вторичными загрязнителями*, в ходе физико-химических процессов, происходящих в загрязненной среде.

Газоустойчивость – способность организмов и их сообществ (а также технических устройств) выносить относительно большие концентрации летучих веществ, обычно не входящих в состав воздуха.

Генетические последствия загрязнения – изменение гено типа организмов в результате мутаций, селекции, миграции и адаптации в условиях антропогенного загрязнения природной среды. Генетические последствия загрязнения проявляются в нарушении жизненных функций данного поколения организмов, а также в изменении генетического кода. Генетические пере-

стройки, в свою очередь, могут способствовать адаптации организмов к новым химическим условиям и достижению временно-го равновесия в среде. В числе загрязняющих природную среду веществ имеется много **мутагенов**, т.е. химических и физических агентов, способных проникнуть в клетки и поражать в них молекулы ДНК, вызывая изменения наследственных структур либо угнетая систему их восстановления. В напряженной экологической и генетической ситуации, которая сложилась во многих районах, происходит увеличение темпа мутационного процесса. Это связано с превышением пределов генетической устойчивости организмов: в популяциях с быстрой сменой поколений и высокой воспроизводительной способностью происходят сравнительно быстрая приспособляемость видов и возникновение новых форм. *При длительной продолжительности жизни и малом количестве потомства повышение уровня мутаций в ответ на попадание мутагенов в среду может привести к вымиранию вида из-за увеличения числа летальных мутаций.* В условиях химического загрязнения природной среды существует опасность генетической трансформации под давлением мутагенов среды и селективного отбора таких форм микроорганизмов, к которым еще не адаптированы иммунные системы человека. Контроль мутагенной активности химического загрязнения окружающей среды начал осуществляться в последние три десятилетия. В тестах на мутагенность используются как простейшие, так и высшие организмы, но наиболее удобными считаются микроорганизмы. В качестве индикаторных микроорганизмов используются бактерии *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium*, *Bacillus subtilis* и др.

Глобальное (фоновое) загрязнение – загрязнение, охватывающее всю поверхность Земли.

Дальний перенос загрязнений – перераспределение загрязнителя в атмосфере по вертикали за счет турбулентного движения, или по горизонтали (преимущественно адвекцией) на значительные расстояния.

Деграция – любые процессы, приводящие к ухудшению состояния каких-либо систем.

Деграция ландшафта – его естественное или антропогенное упрощение, снижение хозяйственного и эстетического потенциала вплоть до превращения в пустошь.

Десуция – (от лат. *desugo* – высасываю, всасываю) поглощение влаги корнями растений.

Дигрессия – ухудшение состояния экосистем под влиянием воздействия различных факторов, чаще всего человека.

Допустимая экологическая нагрузка – антропогенная нагрузка (складывающаяся из отдельных однородных или разнородных воздействий), которая не меняет качества окружающей природной среды или меняет ее в допустимых пределах, обеспечивая сохранение и/или повышение продуктивности сообщества (его структурно-функциональной целостности).

Емкость среды. 1. Степень способности окружающей среды на данной территории поддерживать функции организма или группы организмов, рассматриваемых как центральные на данной территории.

2. Степень способности окружающей среды на данной территории обеспечивать нормальную жизнедеятельность популяции или сообщества организмов без нарушения окружающей среды.

Ил – тонкодисперсный водонасыщенный осадок, образующийся на дне водоемов и водотоков, содержащий более 30% частиц, размером меньше 0,01 мм. *По генезису И. может быть* терригенным (алевритовый И., глинистый И.), хемогенным (известковый И., кремнистый И.) и биогенным (диатомовый И., сапропель. Верхний слой отложений И. обычно имеет полужидкую консистенцию, под которой находится уплотненный пла-

стичный И. 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.

Компартментализация – условное разделение природной среды на составляющие – компартменты, к которому прибегают при моделировании поведения химиката в природных условиях. При этом получают как бы фрагмент материального мира, в который в определенных соотношениях входят воздух, вода, почва, донные отложения, твердые взвеси и живые организмы (обычно рыбы). После "введения" в этот фрагмент "испытуемого" химиката изучают его распределение между компартментами и превращения под действием факторов природной среды. Несмотря на малый экологический реализм, такой подход широко используется при первичной оценке риска, связанного с производством и использованием химикатов.

Контроль за загрязнением среды – наблюдение за уровнем соответствия ее физико-химических параметров, насыщенностью веществами, необходимыми для жизнедеятельности человека (составная часть мониторинга природной среды).

Критическая концентрация загрязняющих веществ – при которой даже небольшое дополнительное воздействие приводит к необратимому снижению уровня устойчивости биологического процесса, выбранного в качестве «мишени».

Круговорот веществ – их многократное участие в процессах (в том числе антропогенных), протекающих в атмосфере, гидросфере и литосфере.

Методы экологического прогнозирования – научно обоснованные способы предсказания экологического состояния различных частей биосферы в условиях антропогенного воздействия.

Миграция (химических элементов) – перенос и перераспределение химических элементов в земной коре и на поверхности Земли.

Микробная деградация загрязняющих веществ – разрушение токсичных соединений, как природных, так и антропогенных благодаря деятельности микроорганизмов.

Микробная трансформация (загрязняющих веществ) - изменение молекулярной структуры токсичных органических соединений в результате активности микроорганизмов.

Необратимые изменения среды – перемена в средообразующих компонентах или в их сочетаниях, которая не может быть компенсирована в ходе природных восстановительных процессов, в том числе естественной сукцессии.

Опад – отмершие части растений (хвоя, листья, ветви), упавшие на поверхность почвы, постепенно разлагающиеся. В лесу образуется слой лесной подстилки (горизонт А почвы). Величина Опад – зависит от типа леса. Опад – один из важных элементов круговорота биогенов.

Опасность – ситуация в окружающей человека среде, в которой при определенных условиях (случайного или детерминированного характера) возможно возникновение факторов опасности, способных привести к одному или совокупности из следующих нежелательных последствий для человека и

окружающей человека среды: отклонению здоровья человека от среднестатистического значения, т.е. к заболеванию или даже смерти человека; ухудшению состояния окружающей человека среды, обусловленному нанесением материального или социального ущерба (нарушением процесса нормальной хозяйственной деятельности, потерей того или иного вида собственности и т.д.) и/или ухудшением качества природной среды.

Опосредованное воздействие на среду – непреднамеренное изменение природы в результате цепных реакций или вторичных явлений, связанных с хозяйственными мероприятиями (например, подтопление территорий при создании водохранилищ, образование токсичных веществ при так называемом вторичном загрязнении и др.).

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.

Как правило, существует при определенных внешних условиях среды. Используется как один из важнейших показателей в классификации природных геохимических ландшафтов.

Ряд биологического поглощения химических элементов составляется на основе коэффициентов биологического поглощения. Общие ряды составлены 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.

Техногенная нагрузка – степень воздействия человеческой деятельности на окружающую среду, условно подразделяющуюся на допустимую (с соблюдением ПДК) и экологически опасную.

Техногенное (антропогенное) воздействие на геологическую среду – различные по своей природе механизмы, длительности и интенсивности влияния, оказываемые человеком на элементы геологической среды в процессе его жизнедеятельности и хозяйственного производства.

Техногенное месторождение – скопление вторичных минеральных ресурсов, образовавшееся в результате складирования отходов производства или потребления и пригодное для разработки и производства продукции.

Техногенные геохимические аномалии – (от греч. *anomalía*) являются отклонением от нормы содержания химических веществ, свойственной данному участку биосферы (или одной из ее составных частей); в отличие от природных геохимических аномалий (месторождения, рудопроявления) техногенные аномалии возникают в результате деятельности людей.

Техногенные факторы опасности – (син. антропогенные факторы опасности) – факторы, обусловленные хозяйственной деятельностью людей (чрезмерными выбросами и сбросами в окружающую среду отходов хозяйственной деятельности в условиях ее нормального функционирования и в аварийных ситуациях; необоснованными или чрезмерными отчуждениями территорий под хозяйственную деятельность; чрезмерным вовлечением в хозяйственный оборот природных ресурсов; иными связанными с хозяйственной деятельностью негативными процессами, актами или решениями).

Техногенный ландшафт – разновидность антропогенного ландшафта, ландшафт, измененный человеком с использованием мощных технических средств. Изменение может быть как прямым (разрушение почвы и грунтов, уничтожение растительности, затопление и т.д.), так и косвенным (загрязнение с возникновением техногенных пустынь, закисление и т.д.).

Техносфера – часть биосферы, коренным образом преобразованная человеком в инженерно-технические сооружения: города, заводы и фабрики, карьеры и шахты, дороги, плотины и водохранилища и т. п.

Транслокационный показатель вредности – характеризует способность вещества переходить из пахотного слоя почвы через корневую систему в растения и накапливаться в его зеленой массе и плодах в количестве, не превышающем ПДК для данного вещества в пищевых продуктах.

Транспирация (син. Физиологическое испарение) – испарение воды с поверхности растений. Интенсивность транспирации зависит от метеорологических условий (температура и влажность воздуха, ветер, солнечная радиация и др.) и от физиологических особенностей растения. Величины транспирации в некоторых районах могут превышать 40–50% и более полного расхода воды на испарение. Из 72 тыс. км² испаряющейся ежегодно с поверхности суши воды 30 тыс. км², или 42%, приходится на транспирацию. Особенно много испаряют тропические леса, а также такие сельскохозяйственные культуры, как кукуруза, сахарная свекла. Отношение массы воды, расходуемой растениями, к массе сухого вещества растений, накопившегося за то же время, называется "*коэффициентом транспирации*" и составляет: для лиственных деревьев – 200-550, хвойных деревьев – 100-250, пшеницы – 335-800, хлопка – 300-600. Транспирация вместе с испарением с поверхности почвы составляют так называемое "*суммарное (полное) испарение*" или *эвапотранспирацию*.

Трофический уровень – совокупность организмов, занимающих определенное положение в *трофической цепи* и получающих преобразованную в пищу энергию Солнца, и химических реакций от *автотрофов* без посредников или через посредников в трофической цепи. *Первый уровень* – это *продуценты*, не имеющие посредников, *второй* – первичные консументы – растительоядные организмы, *третий* – вторичные консументы

ты – хищники и паразиты первичных консументов, *четвертый* – вторичные хищники и их паразиты и т.д. В стороне оказываются редуценты, присутствующие на всех трофических уровнях, начиная со второго, так как они разлагают отмершие тела продуцентов и консументов.

Самовосстановление природных экосистем. 1. Процесс непрерывного воспроизводства или возобновления структуры, свойств, количественного и качественного состава природных систем, осуществляющийся без участия человека.

2. Самостоятельный возврат природных систем к состоянию динамического равновесия, из которого они были выведены действием природных или антропогенных факторов.

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.

Фитомелиорация – комплекс мероприятий по улучшению окружающей среды с помощью культивирования или поддержания естественных растительных сообществ для сохранения и улучшения экосистем (природоохранная), улучшение климата помещений (интерьерная) и условий городской среды.

Фитопланктон – (от греч. *phyton* – растение и *planktos* – парящий, блуждающий) растительная часть *планктона*, совокупность пассивно парящих и переносимых течениями в толще воды растительных организмов, главным образом, микро-

скопических водорослей, одноклеточных и колониальных (диатомовых, зеленых, синезеленых, перидиниевых и др.). Различают *сетной фитопланктон (макрофитопланктон)* – более крупные водоросли, улавливаемые планктонной сетью, и *наннофитопланктон* (или *микрофитопланктон*) – мельчайшие водоросли (мельче 50 мкм), проходящие через ячейки сетей из самого частого сита. Фитопланктон развивается в поверхностном слое воды, получающем солнечную энергию (*фотический слой водоема*). Кроме света главными факторами, контролирующими развитие фитопланктона, являются концентрация *биогенных* веществ в доступной форме, процессы оседания и выедания животными водорослей. Фитопланктон – основной продуцент органического вещества в водоемах. Большинство планктонных животных-фильтратов могут потреблять только наннофитопланктон, который таким образом лежит в основе пастбищных пищевых цепей в водных экосистемах. Сетной фитопланктон, к которому относится большинство видов водорослей, вызывающих цветение воды (*Aphanizomenon, Microcystis, Ceratium*), недоступен для *фитофагов*, использование их продукции происходит только после их отмирания и превращения в *детрит*. Эти водоросли являются начальным звеном в детритной пищевой цепи.

Фоновая концентрация – (франц. *fond*, от лат. *fundus* – дно, основание).

1. Содержание веществ в воздухе или воде, определяемое глобальными и региональными естественно происходящими процессами. Значения показателей качества воды водоема или водотока до поступления в него сточных вод источника загрязнения. За фоновую концентрацию вещества принимается статистически обоснованная верхняя доверительная граница возможных значений концентраций этого вещества, рассчитанная по результатам гидрохимических наблюдений для наиболее неблагоприятных гидрологических условий или наиболее неблагоприятного в отношении качества воды времени года. Методы расчета ф.к. химических веществ в воде водотоков изложены в указаниях Госкомгидромета "Временные методические ука-

зания по проведению расчетов фоновых концентраций химических веществ в воде водотоков".

2. Содержание веществ в воздухе или воде, определяемое глобальной или региональной суммой естественных и антропогенных процессов.

3. Содержание веществ в воздухе населенных мест, определяемое неучитываемыми производственными и транспортными выбросами и/или приносом загрязнителей из смежных регионов.

4. Концентрация загрязняющего атмосферу вещества, создаваемая всеми источниками, включая рассматриваемые (ГОСТ 17.2.1.03-84).

Экологическая устойчивость – способность экосистемы реагировать на внешние возмущения поддерживать длительное время равновесие. Экосистемы, таким образом, на основе сильных обратных связей поддерживают свой гомеостаз. Эти действия экосистем аналогичны действию принципа Ле Шателье в физически и химически устойчивых состояниях. При этом экосистемы сохраняют свою структуру и функциональные особенности. Устойчивое (стационарное) состояние глобальной окружающей среды (глобальная экосистема) поддерживается до тех пор, пока остается невозмущенной ее часть, сохраняющая способность компенсировать все антропогенные возмущения, т.е. пока не превышен порог устойчивости. В любые геологические периоды биота и окружающая среда сохраняли стационарное устойчивое состояние на протяжении тысячелетий. Наблюдаемые сейчас глобальные искажения окружающей среды на протяжении последних десятилетий однозначно указывают на превышение порога устойчивости естественных экосистем в глобальном масштабе (прекращение выполнения принципа Ле Шателье).

Экологические ресурсы – один из видов природных ресурсов, совокупность природных объектов и процессов, обеспечивающих устойчивость окружающей среды и оптимальные условия для жизни, включая жизнь человека.

Экологические факторы опасности – факторы, обусловленные причинами природного характера (неблагоприятными для жизни человека, животных, растений климатическими условиями, физико-химическими характеристиками почвы, воды, атмосферы и функциональными характеристиками экосистем: природными бедствиями и катастрофами и т.д.).

Экологический норматив. 1. Область равновесия базовых экологических переменных, наиболее вероятное в пространстве и времени состояние экологических и географических систем и их компонентов.

2. Величина антропогенной нагрузки, рассчитанная на основании экологических регламентов и получившая правовой статус.

Экологическое бедствие – аномалия, которая сложилась в природной среде на определенной территории (акватории) в результате возникновения стихийных бедствий или антропогенного воздействия на природные процессы и системы и привела к необратимым изменениям в окружающей природной среде и нарушению нормальных условий жизнедеятельности населения: ухудшению здоровья и ущербу народному хозяйству, нарушению природного равновесия и естественных экологических систем, деградации флоры и фауны.

Экологическое нормирование – определение пороговых значений факторов влияния человека на экосистемы или на здоровье человека, после превышения в которых проявляется их существенное отрицательное влияние.

Экологическое равновесие – состояние экосистемы, при котором сохраняются постоянными (или, при экологической сукцессии, постепенно однонаправленно изменяются) биологическое разнообразие (состав биоты), биологическая продукция и круговороты элементов питания.

Экология – (от греч. oikos – дом, жилище, место пребывания и logos – слово, учение).

1. Наука о разных аспектах взаимодействия организмов между собой и с окружающей средой. Это определение часто дополняют тем, что в Э. включается также круговорот веществ и энергии, делающих возможной жизнь на Земле. В понятие "организмы" включаются все типы от микроорганизмов до растений, высших животных и человека. Различают аут(о)экологию (изучает популяцию и окружающую среду) и синэкологию (изучает сообщества и окружающую их среду). Есть и другие определения экологии как части биологической науки, в которых подчеркивается функциональный аспект природы, и экология трактуется как наука о структуре и функциях природы, широко исследуются популяции, естественные сообщества организмов, экосистемы и в целом биосфера. В этом направлении достигнуты большие успехи при исследованиях естественных озер. Кроме пресных водоемов различают экологию суши, морскую экологию, горную экологию, экологию Арктики.

2. Наука о совместном развитии человека, сообществ людей в целом и окружающей среды (включающей все остальные организмы), изучающая биотические механизмы регуляции и стабилизации окружающей среды, механизмы, обеспечивающие устойчивость жизни. Экология исследует причины нарушения этих механизмов, возникновения экологических проблем и предлагает способы их преодоления, которые обеспечивали бы устойчивость окружающей среды и существование человечества. Это понимание экологии возникло в последние десятилетия, и в этом значении она вышла далеко за рамки экологии в биологическом понимании, которая стала частью этой более широкой науки. Целью экологии является поиск путей обеспечения нормальных условий жизни людей настоящего и будущих поколений. Человек существует в окружающей среде, поэтому необходимо прежде всего обеспечить сохранение пригодной для жизни окружающей среды. *В современной экологии существует два направления. Одно полагает, что изменения окружающей среды связаны главным образом с неправильным ведением хозяйства. Следовательно, решить ос-*

новную проблему – сохранение благоприятной для жизни окружающей среды можно, решив проблему построения такого хозяйства, которое бы не изменяло окружающую среду. *Другое направление* исходит из того, что сообщества естественных видов организмов биосферы регулирует и определяет состояние окружающей среды, в которой существует человек и другие организмы, на некотором оптимальном для жизни уровне. Тогда основная задача экологии – это охрана природы, сохранение естественных сообществ организмов в объеме, который обеспечивает это регулирование, т.е. необходимо найти порог допустимых возмущений биосферы хозяйственной деятельностью и не превышать его.

Экологическое картографирование – совокупность методов и процессов создания экологических карт и атласов в аналоговой или цифровой формах. Э.к. охватывает все компоненты среды: рельеф, воды суши и моря, воздух, почвы, растительный и животный мир, а также условия жизни и деятельности людей. В соответствии с этим по тематике различают *отраслевое экологическое картографирование* (эколого-геохимическое, медико-экологическое, ландшафтно-экологическое, эколого-демографическое и т.д.) и *комплексное* – эколого-географическое и геоэкологическое (геолого-экологическое). Суть комплексного системного экологического картографирования состоит в картографическом моделировании экосистем, их компонентов, структурных особенностей, внутренних и внешних связей, динамики, функционирования. Крупномасштабное экологическое картографирование выполняется полевыми методами, а составление средне- и мелкомасштабных карт проводится в лабораторных условиях. Источниками для экологического картографирования служат результаты полевых съемок, контактных наблюдений и замеров, картографические материалы, аэро- и космические снимки, данные статистической отчетности и стационарных гидрометеорологических наблюдений, нормативные данные, теоретические закономерности и литературные источники. *Сформировались достаточно четкие направления экологического картографирования:*

1. Оценочное картографирование природных и социально-экономических условий формирования экологической обстановки.

2. Картографирование антропогенных (техногенных) воздействий на природную среду и прогноз их развития.

3. Картографирование устойчивости среды к внешним воздействиям.

4. Картографирование экологического состояния среды, степени ее нарушения факторов риска.

5. Медико-экологическое и рекреационно-экологическое картографирование.

6. Оценочно-прогнозное картографирование экономических и социальных последствий ухудшения экологической безопасности.

Одно из важных направлений составляет *оперативное экологическое картографирование*, т.е. создание карт в автоматическом или полуавтоматическом режимах в реальном или близком к реальному масштабам времени с целью быстрого (своевременного) информирования пользователя о меняющейся экологической ситуации. Методы цифрового экологического картографирования имеют целью создание электронных карт и атласов с помощью автоматических картографических систем и специального программного обеспечения на основе баз цифровых экологических данных. Результаты экологического картографирования представляются в виде карт экологических, атласов экологических, а также баз цифровых экологических данных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Геохимия окружающей среды – научное направление (раздел) учения об окружающей среде (энvironmentологии) и одновременно экологической геологии, исследующее морфологические, ретроспективные и прогнозные задачи, связанные с изучением влияния геохимических полей и геопатогенных аномалий (неоднородностей земной коры) природного и техногенного происхождения на биоту (живые организмы). Среди этих полей выделяются литогеохимические, гидрогеохимические, биогеохимические и атмогеохимические.

Объектом исследований являются вещественный (минеральный) состав литосферы, миграция подвижных соединений химических элементов, формирование их аномальных концентраций и характер воздействия на биоту с использованием методов геохимии, минералогии, петрографии, гидрогеологии и медико-биологических оценок состояния биоты. В практическом аспекте такие исследования подразумевают тесное сотрудничество экологов-геологов с медиками и санитарной службой, так как оценка аномалий должна проводиться с медико-санитарных позиций.

Предметом изучения служат законы рассеяния и концентрации в биоосных компонентах экогеосистем.

Все химические реакции в биосфере происходят или с участием живых организмов, или в среде, созданной их влиянием. Это является качественным отличием процессов, происходящих в биосфере, от реакций, осуществляемых в лабораториях, а также от реакций, идущих в других оболочках Земли.

Однако биосфера – очень неоднородная система. Внешние факторы миграции элементов весьма существенно изменяются в ее пределах как по вертикали, так и по горизонтали. Для установления закономерностей распределения и миграции химических элементов в отдельных, отличающихся друг от друга участках биосферы, необходимо в первую очередь выделить такие участки. Это своеобразные «блоки» или «кирпичики», сохраняющие основную особенность биосферы (ее биоосность), отличающиеся друг от друга внешними факторами миграции

элементов, но между тем обладающие некими типическими параметрами.

Опыт многочисленных исследований показал, что для такого изучения наиболее удобным является ландшафтный уровень. Сами же геохимические ландшафты, по определению А.И. Перельмана, «(...такое же фундаментальное понятие естествознания, как "химический элемент", "живой организм", "почва", "минерал"»... 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. Геохимический ландшафт одновременно индивидуален и типичен. Например, каждый город неповторим и между тем все города, отличаясь, все равно в чем-то схожи. Есть и обобщающий термин – урбанизированные территории, геохимия которых в целом однотипна.

Условия существования организмов можно рассматривать из многих 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 и с учетом форм нахождения химических элементов, – это будет геохимическая оценка условий существования организмов. Ее проведение – одна из основных задач, стоящих перед геохимией окружающей среды. Такую оценку можно проводить, подходя с позиций самого разного масштаба. В первую очередь, необходимо установить самые общие геохимические критерии возникновения живых организмов. Это будут первые геохимические реперы возможности жизни, подобной той, которая есть на Земле, – космической репер. Эта часть глобальной оценки геохимических параметров жизни на Земле только в настоящее время начинает приобретать практическое значение. По мере обживания космического пространства ее значение будет резко возрастать.

Оценка геохимических условий существования организмов проводится и в более приземленных масштабах. Например,

геохимические ландшафты, которые устроены системно как некие совокупности участков земной поверхности, имеющие однотипные условия для миграции элементов.

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 геохимии окружающей среды взаимосвязь между организмами рассматривается через миграцию химических элементов, находящихся в сложной биогенной форме, через обмен веществ. Часто разделяют внутривидовую и межвидовую связи. Проследить их на геохимическом уровне можно, начиная от возникновения (рождения) организма и кончая его смертью и разложением. Чрезвычайно большое внимание в экологических аспектах геохимии уделяется рассмотрению взаимосвязи между организмами и средой их обитания, включая отдельные циклы биологического круговорота элементов. Эти процессы рассматриваются на геохимическом уровне.

Важным разделом геохимии является *биогеохимия*. В ней рассматриваются взаимосвязи химического состава различных организмов и химических особенностей косных или биокосных систем, изменения химизма организмов, связанные с меняющимися условиями ОС.

Все изложенное показывает, что геохимия окружающей среды, 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 человечества науки.

В учебном пособии представлены основные термины и понятия, правила, закономерности и законы, на которые необходимо опираться при рассмотрении экологических и эколого-геохимических проблем. К сожалению, до настоящего времени они не в полной мере применялись в экологических и эколого-геохимических работах. Это объяснимо, поскольку в решении экологических проблемах принимают участие ботаники, зоологи, почвоведы, географы и другие специалисты, которые не изучали геохимию, биогеохимию, геохимию ландшафта.

В учебном пособии отражены «стандартизированные» авторами эколого-геохимические термины и понятия, даны «устоявшиеся» объяснения, принятые в соответствующих науках. Мы надеемся, что данное издание послужит хорошим справочником для специалистов разного профиля, занимающихся эколого-геохимическими проблемами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Акимова Т.А., Кузьмин А.П., Хаскин В.В.* Экология: Природа – Человек – Техника. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001.
2. *Алекин О.А.* Основы геохимии. Л.: Гидрометеоздат, 1970.
3. *Алексеевко В.А.* Химические элементы в биосфере. Краснодар: Изд-во КГТУ, 1997.
4. *Алексеевко В.А.* Геохимия ландшафта и окружающая среда. М.: Недра, 1997.
5. *Алексеевко В.А.* Экологическая геохимия. М.: Логос, 2000.
6. *Алексеевко В.А.* Классификация и некоторые особенности геохимических барьеров // Мат.конф. «Школа экологической геологии и рационального недропользования». СПб., 2002.
7. *Алексеевко В.А.* Жизнедеятельность и биосфера. М.: Логос, 2005.
8. *Антипов-Каратаев И.Н.* Мелиорация солонцов в СССР. М.: Изд-во АН СССР. 1953.
9. *Арский Ю.М., Данилов-Данильян В.И., Залиханов М.Ч., Кондратьев К.Я., Котляков В.М., Лосев К.С.* Экологические проблемы: что происходит, кто виноват и что делать? М.: Изд-во МНЭПУ, 1997.
10. *Базилевич Н.И.* Геохимическая работа живого вещества Земли и почвообразование // Генезис, классификация и география почв: Тр. 10 Международ. конгр. почвовед. М.: Наука, 1974. Т. VI.
11. *Баландин Р.К.* Область деятельности человека. Техносфера. Минск, 1982.
12. *Богдановский Г. А.* Химическая экология. М.: Изд-во МГУ, 1994.
13. *Бондарев Л.Г.* Техногенез и техносфера // Вестник Моск. ун-та. 1997. №2. Сер. 5. География.
14. *Бруевич С.В.* Химия Тихого океана // Тихий океан. М., 1966.
15. *Вернадский В.И.* Об условиях появления жизни на Земле. М.: Изд-во АН СССР, 1931. Сер. 7. №5.
16. *Вернадский В.И.* Биосфера. СПб., 1926.

17. *Вернадский В.И.* Живое вещество и биосфера. М.: Наука, 1994.
18. *Вернадский В.И.* Труды по геохимии. М.: Наука, 1994.
19. *Вернадский В.И.* Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М.: Наука, 1965.
20. *Виноградов А.П.* Образование океана // Известия АН СССР. 1967. Сер. Геология.
21. *Войткевич Г.В., Закруткин В.В.* Основы геохимии. М.: Высшая школа, 1976.
22. *Воробьев Г.И. и др.* Лесное хозяйство мира. М., 1984.
23. *Воробьев А.Е.* Геохимические барьеры и корректирование биогеохимического круговорота атомов // Геохимические барьеры в зоне гипергенеза: тез. докл. междунар. симп. М., 1999.
24. *Гаврусевич Б.А.* Основы общей геохимии. М.: Недра, 1968.
25. Геохимия ландшафтов и география почв. М.: Ойкумена, 2002.
26. *Гордеев В.В.* Речной сток в океан и черты его геохимии. М.: Наука, 1983.
27. *Горшков В. Г.* Физические и биологические основы устойчивости жизни. М.: ВИНТИ, 1995.
28. *Гофман К.Г.* Хозяйственный механизм природопользования: пути перестройки // Экономика и математические методы. 1988. Т. 24, вып. 3.
29. *Добровольский Г.В., Никитин Е.Д.* Экологические функции почвы. М.: Изд-во МГУ, 1986.
30. *Добровольский Г.В., Никитин Е.Д.* Функция почв в биосфере и экосистемах / отв. ред. – член.-кор. АН. СССР В.А. Ковда. М.: Наука, 1990.
31. *Зусман Л.Л.* Кругооборот металла в народном хозяйстве СССР. М., 1962.
32. *Израэль Ю.А., Назаров И.М.* Экологический подход к нормированию региональных и глобальных выбросов загрязняющих веществ в атмосферу // Проблемы мониторинга и охраны окружающей среды. Л.: Гидрометеиздат, 1989.
33. *Касимов Н.С.* Геохимические барьеры в зоне гипергенеза. М.: Изд-во МГУ, 2002.

34. *Касимов Н.С., Самсонова О.А.* Геохимические барьеры в ландшафтах. Функционирование и современное состояние ландшафтов. М.: Изд. дом «Горец», 2004.
35. *Ковалевский А.Л.* Биогеохимические барьеры в растениях // Геохимические барьеры в зоне гипергенеза: тез. докл. междунар. симп. М., 1999.
36. *Ковда В.А.* Основы учения о почвах. М.: Наука, 1973.
37. *Кононова М.М.* Проблема почвенного гумуса и современные задачи его изучения. М.: Изд-во АН СССР, 1951.
38. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977.
39. Наше общее будущее: доклад Межд. комиссии по окружающей среде и развитию (МКОСР). М.: Прогресс, 1989.
40. *Овчинников Л.Н., Григорян С.В.* Зональность первичных геохимических ореолов гидротермальных месторождений и их поисковое значение // Изв. вузов. 1973. Сер. Геология. №10.
41. *Орлов Д. С.* Гумусовые кислоты и общая теория гумификации. М.: Изд-во МГУ, 1990.
42. *Пак К.П.* Солонцы СССР и пути повышения их плодородия. М.: Колос, 1975.
43. *Панин М.С.* Эколого-биогеохимическая оценка техногенных ландшафтов Восточного Казахстана. Алматы: Изд-во «Эверо», 2000.
44. *Панин М.С.* Химическая экология. Семипалатинск, 2002.
45. *Панин М.С.* Экология Казахстана. Семипалатинск, 2005.
46. *Панин М.С.* Экология почв. Алматы: Раритет, 2008.
47. *Панин М.С.* Экотоксикология. Алматы: Раритет, 2008.
48. *Панин М.С.* Загрязнение окружающей среды. Алматы: Раритет, 2011.
49. *Перельман А.И.* Геохимия. М.: Высшая школа, 1979.
50. *Перельман А.И.* Геохимия. М.: Высшая школа, 1989.
51. *Перельман А.И., Касимов Н.С.* Геохимия ландшафта. М.: Астрей-2000, 1999.
52. *Поваренных А.С.* Об использовании электроотрицательности элементов в кристаллохимии и минералогии // Зап. укр. отд. Всесоюз. минер. общ-ва. 1962. Вып. 1

53. *Посохов Е.В.* Ионный состав природных вод. Генезис и эволюция. Л.: Гидрометеиздат, 1985.
54. *Роде А.* Система методов исследования в почвоведении. Новосибирск: Наука, 1971.
55. *Розанов Л.Л.* Теоретические основы геотехноморфологии. М. 1990.
56. *Реймерс Н.В.* Природопользование. М.: Мысль, 1990.
57. Рекомендации по мелиорации солонцовых земель. М.: Колос, 1983.
58. *Савенко В.С.* Биофильность химических элементов и ее отражение в химии океана // Вестник МГУ. 1997. Сер. 5. География. №1.
59. *Солнцева Н.П.* Структурно-функциональная организация геохимических барьеров и их роль в устойчивости природных систем // Геохимические барьеры в зоне гипергенеза: тез. докл. междунар. симп. М., 1999.
60. *Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г., Барабошкина Т.А. и др.* Экологические функции литосферы. М.: Изд-во МГУ, 2000.
61. *Трофимов В.Л.* Лекции по экологической геохимии. М.: Изд-во МГУ, 2005.
62. *Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г.* Формирование экологических функций литосферы. СПб., 2005.
63. *Тюрин И. В.* Органическое вещество почв и его роль в плодородии. М.: Наука, 1965.
64. *Тюрюканов А.Н., Федоров В.М. Тимофеев-Ресовский Н.В.:* Биосферные раздумья. М.: Академия естественных наук, 1996.
65. *Ферсман А.Е.* Геохимия. М: Изд-во АН СССР, 1955, 1958, 1959.
66. *Шварцев С.А. и др.* Основы гидрогеологии. Гидрогеохимия. Новосибирск: Наука, 1982.
67. *Gorshkov V.G.* Physical and biological basis of life stability. Springer-Verlag, Heidelberg e.a., 1994.
68. *Caring for the Earth. A Strategy for Sustainable Living.* Gland: FUCN/UNER/WWF, 1991.

69. *Turekian K.K., Wedepohl K.H.* Distribution of the elements in some major units of the Earth's Crust// *Geol.Amer.Bull.* 1961. V72.

Учебное издание

**Алексеевко Владимир Алексеевич
Бузмаков Сергей Алексеевич
Панин Михаил Семенович**

Учебное пособие

ГЕОХИМИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Редактор *Н.И. Стрекаловская*

Корректор *А.В. Цветкова*

Дизайн обложки и верстка *Н.Е. Гоголиной, Д.Н. Андреева*

Подписано в печать 19.04.2013. Формат 60×84/16.

Усл. печ. л. 20,87. Тираж 300 экз. Заказ №

Редакционно-издательский отдел
Пермского государственного национального
исследовательского университета
614990, Пермь, ул. Букирева, 15

Типография
Пермского государственного национального
исследовательского университета
614990, Пермь, ул. Букирева, 15