

Министерство образования Российской Федерации  
Федеральное агентство по образованию  
Ярославский государственный университет  
им. П.Г. Демидова

**Б.В. Поярков**  
**О.В. Бабаназарова**

# **Учение о биосфере и переходе ее в ноосферу**

Учебное пособие

*Рекомендовано*  
*Научно-методическим советом университета*  
*для студентов, обучающихся*  
*по специальности Экология*

Ярославль 2007

ББК Е 081.1я73  
УДК 574(075.8)  
П 67

*Рекомендовано  
Редакционно-издательским советом университета  
в качестве учебного издания. План 2007 года*

**Рецензенты:**

**И.И. Мочалов**, доктор философских наук, академик РАЕН  
им. В.И. Вернадского, главный научный сотрудник  
Отдела Наук о Земле Института истории естествознания и техники им. С.И. Ва-  
вилова РАН;

**Н.А. Шобанов**, доктор биологических наук, зав. лабораторией  
биологии и систематики водных беспозвоночных Института биологии  
внутренних вод им. И.Д. Папанина

П 67      **Поярков, Б.В. Учение о биосфере и переходе ее в ноосферу:** учеб.  
пособие / Б.В. Поярков, О.В. Бабаназарова. – Ярослав. гос. ун-т. – Яро-  
славль: ЯрГУ, 2007. – 320 с.  
ISBN 978-5-8397-0532-6

Рассмотрена история возникновения и развития учения о биосфере, теоретические основы этого учения: биосфера как природная система, ее основные свойства и внутреннее строение, а также протекающие в ней природные процессы, история развития биосферы с точки зрения синергетики и переход ее в ноосферу.

Книга рассчитана на студентов вузов естественнонаучных специальностей, а также старшеклассников и всех любознательных людей, кто интересуется строением и функционированием “космического корабля”, экипажем которого является все человечество.

Предназначено для студентов, обучающихся по специальности 020801 Экология, очной и заочной форм обучения (дисциплина «Учение о биосфере», блок ОПД).

Табл. 15. Ил. 16. Библиогр.: 94 назв.

ББК Е 081.1я73  
УДК 574(075.8)

© Ярославский  
государственный  
университет, 2007

© Поярков Б.В.,  
Бабаназарова О.В., 2007

ISBN 978-5-8397-0532-6



*Включение жизни – через биогеохимию –  
в научную картину Космоса приобретает  
значение и интерес не только для ученого,  
но и для философа и для каждого  
образованного человека.*

***В.И. Вернадский***

*До сих пор историки, вообще  
ученые гуманитарных наук, а в  
известной мере и биологи, сознательно  
не считались с законами природы  
биосферы – той земной оболочкой,  
где может только существовать жизнь.  
Стихийно человек от нее неотделим.*

***В.И. Вернадский***

*Я очень рад, что ты очень ярко и просто  
выразил мою мысль о ноосфере, как синтезе  
природного и исторического процесса.*

***В.И. Вернадский (из письма к сыну)***

*Наш соотечественник Владимир Вернадский  
еще в начале XX века создал учение об  
объединяющем человечество пространстве –  
ноосфере. В нем сочетаются интересы  
стран и народов, природы и общества,  
научные знания и государственная политика.  
Именно на фундаменте этого учения строится  
концепция устойчивого развития.*

***В.В. Путин***



## *Содержание*

<b>1. Введение .....</b>	<b>10</b>
<i>Семинар 1.....</i>	<i>15</i>
<b>2. История возникновения учения о биосфере.....</b>	<b>16</b>
<i>Семинар 2.1.....</i>	<i>40</i>
<i>Семинар 2.2.....</i>	<i>41</i>
<b>3. Сведения о системном анализе и синергетике.....</b>	<b>43</b>
<i>Краткие сведения о системах .....</i>	<i>44</i>
<i>Краткие сведения о синергетике .....</i>	<i>54</i>
<i>Семинар 3.1.....</i>	<i>68</i>
<i>Семинар 3.2.....</i>	<i>69</i>
<b>4. Выделение биосферы как сложной природной системы ....</b>	<b>71</b>
<i>Семинар 4.....</i>	<i>79</i>
<b>5. Основные свойства биосферы как системы.....</b>	<b>81</b>
<i>Открытость.....</i>	<i>81</i>
<i>Полуизолированность.....</i>	<i>87</i>
<i>Динамичность, неравновесность и нелинейность.....</i>	<i>90</i>
<i>Семинар 5.....</i>	<i>91</i>
<b>6. Общие особенности биосферы, возникшие под внешним влиянием .....</b>	<b>92</b>
<i>Влияния, обусловленные особенностями Земли как планеты..</i>	<i>92</i>
<i>Влияния, возникающие в связи с небесной механикой.....</i>	<i>95</i>
<i>Влияния процессов, происходящих на Солнце.....</i>	<i>98</i>
<i>О пространстве-времени биосферы.....</i>	<i>99</i>

Семинар 6.1.....	110
Семинар 6.2.....	111
<b>7. Внутреннее строение биосферы .....</b>	<b>113</b>
<i>Вещества, слагающие биосферу.....</i>	<i>113</i>
<i>Естественные тела биосферы.....</i>	<i>116</i>
<i>Процессы, свойственные естественным телам биосферы ..</i>	<i>130</i>
<i>Феномены, рождающиеся при взаимодействии</i> <i>естественных тел глобальной размерности .....</i>	<i>152</i>
Семинар 7.1.....	165
Семинар 7.2.....	165
Семинар 7.3.....	165
Семинар 7.4.....	166
<b>8. Потоки энергии в биосфере .....</b>	<b>168</b>
<i>Энергетическое взаимодействие биосферы</i> <i>с окружающей средой .....</i>	<i>168</i>
<i>Энергетическое обеспечение геологических</i> <i>и геохимических процессов.....</i>	<i>171</i>
<i>Энергетическое обеспечение геофизических процессов.....</i>	<i>172</i>
<i>Энергетическое обеспечение биологических и</i> <i>биогеохимических процессов.....</i>	<i>176</i>
<i>О запасах свободной энергии в биосфере .....</i>	<i>180</i>
Семинар 8.1.....	181
Семинар 8.2.....	182
<b>9. О регуляторной функции живого вещества.....</b>	<b>183</b>
<i>Биогенная классификация химических элементов .....</i>	<i>186</i>
<i>Примеры круговоротов в биосфере химических элементов</i> <i>и их соединений .....</i>	<i>188</i>
<i>Способы самоорганизации геохимических круговоротов .....</i>	<i>225</i>

---

---

Семинар 9.....	229
<b>10. Основные этапы развития биосферы.....</b>	<b>230</b>
Добиосферный этап развития Земли.....	236
Современные взгляды на возникновение биосферы .....	240
Древнейший этап развитие биосферы .....	243
Неопротерозойский этап развития биосферы.....	248
Раннепалеозойский этап развития биосферы .....	251
Позднепалеозойский этап развития биосферы .....	254
Современный этап развития биосферы .....	261
Семинар 10.1.....	272
Семинар 10.2.....	272
Семинар 10. 3.....	273
<b>11. Переход биосферы в ноосферу .....</b>	<b>275</b>
Представления В.И. Вернадского о ноосфере.....	275
О восприятии научным сообществом учения о биосфере ....	277
Современное восприятие взглядов В.И. Вернадского о ноосфере .....	281
Взгляды тех, кто pro .....	281
Возражения тех, кто contra .....	285
Семинар 11.1.....	294
Семинар 11.2.....	294
<b>12. Заключение .....</b>	<b>295</b>
<b>Литература.....</b>	<b>299</b>

# 1. Введение

Изучение любого курса начинается с трех основных моментов. Во-первых, надо выяснить, что скрывается за словами, стоящими в его названии. Во-вторых, понять суть содержания курса, то есть прояснить для себя, с чем же придется иметь дело. В-третьих, определить, для чего этот курс нужен, что он дает для будущей профессиональной деятельности.

**Объяснение названия.** В название курса входят два слова – учение и биосфера. Словом *учение* в русском языке обычно называют “отдельную часть, отрасль науки, образующую нечто целое” (Даль, 1955, с. 528). Синонимами термина *учение* являются такие термины, как *концепция, теория, система, доктрина*. Все они предназначены для обозначения целостного изложения системы взглядов, которая рисует научную картину мира. Поэтому употребление термина *учение* подчеркивает, что данный курс призван дать целостное мировоззренческое представление о биосфере. Слово *биосфера* буквально означает сферу жизни. Сейчас этим словом обозначают особую оболочку нашей планеты, в которой обитает живое вещество. «Биосфера – это особая, схваченная жизнью, оболочка Земли» (Вернадский, 1967). Под живым веществом, вслед за В.И. Вернадским, мы будем понимать всю совокупность живых организмов, которые обитают на нашей планете и объединены своим химическим взаимодействием с окружающей средой в единое целое.

Традиционно исследованием живых организмов с давних пор занималась биология, биологи подробнейшим образом изучают организмы, различая среди них по самым разным, в основном морфологическим, признакам, те или иные отряды, семейства, роды, виды. Общепринято в настоящее время, что эти признаки формируются под воздействием как внутренних факторов, присущих самим живым существам, так и внешних факторов среды

обитания. Но взглянем на живые организмы с другой точки зрения: как вся их совокупность влияет на окружающую среду, как они все вместе воздействуют на планету. Посмотрим, что же объединяет их в единое целое, несмотря на все существующие между ними различия. Для этого нам нужно расстаться с привычным обликом живых существ, не делить их на ежей, подсолнухи и бактерии..., а рассматривать их как особый вид материи, свойственный планете Земля. Нам надо попытаться определить их функцию по отношению к планетарному телу. Под таким углом зрения и предложил рассматривать живые организмы В.И. Вернадский. Он в своем учении о биосфере показал, что объединяющим началом всего живого является его **биогеохимическая функция**.

Этот новый взгляд на окружающий нас мир позволил ликвидировать разобщенность между отдельными научными дисциплинами, которая возникла в последние два столетия. Общеизвестно, что на нашей планете живое и косное вещества соседствуют. Исторически сложилось так, что с точки зрения биологов они не равно важны, живое несравненно важнее. Поэтому декларируемое «единство» живого и косного вещества в практике биологических исследований обычно не соблюдается. Биологи специально не изучают косные вещества, которые находятся как в составе живых тел, так и вне этих тел. Они передают их наукам о Земле. Получается разрыв между науками. В учении о биосфере живое биоорганическое и косное, в основном неорганическое, вещества считают **равно важными**, так как без обоих жизнь невозможна. Итак, в биологии в основном изучают **жизнь** (организмы, *био без гео*), в учении о биосфере – **жизнь на Земле** (*био вместе с гео*). Такой подход чрезвычайно расширяет горизонт исследований земной жизни и живой природы и приводит его в соответствие с уровнем естествознания XX в. Это позволило установить целый ряд ориентиров в решении главной задачи современного человечества – доказательно сформулировать условия, при которых возможно преодолеть современные глобальные кризисы и тем самым обеспечить выживание человечества.

Величие В.И. Вернадского и состоит в том, что учением о биосфере он положил начало изучению жизни на Земле, увидев

то начало, которое объединяет в единое целое все живые организмы с окружающей их средой. Таким образом, *учение о биосфере – это целостная система взглядов о той оболочке нашей планеты, в которой обитают все живые организмы, ее свойствах, строении и функционировании*. О связях и взаимодействии этой оболочки с другими частями Земного шара и с Космосом, о ее эволюции. В.И. Вернадский показал, что в процессе эволюции биосфера начинает переходить в свое новое состояние – ноосферу (сферу разума). Образно говоря, биосферу можно представить себе в виде огромного сложно устроенного космического корабля, летящего в безвоздушном пространстве Космоса. Членами его экипажа являются все земные живые организмы, и мы в том числе. В учении о биосфере рассматривается не только строение и функционирование этого корабля, но и то, как он возник в безграничных просторах Вселенной и как живое вещество сумело обеспечить бесперебойную работу его систем жизнеобеспечения в условиях постоянного воздействия Космоса.

**Предмет курса.** Для того чтобы понять суть содержания курса, необходимо ответить на следующие вопросы: *что* (какой объект) изучают в данном курсе, *какова цель* этого изучения, т. е. для чего его изучают. Далее – *под каким углом зрения* рассматривается объект при последовательном продвижении к цели. И, наконец, *какие* при этом *используются методы*.

**Объект** исследования – биосфера, т.е. та оболочка нашей планеты, в которой обитает живое вещество. Она охватывает верхнюю часть земной коры, всю гидросферу и нижнюю часть атмосферы. Выделять оболочки на нашей планете можно по другим основаниям. Если мы возьмем в качестве основания агрегатное состояние вещества (твердое, жидкое, газообразное), то выделим литосферу, гидросферу и атмосферу. Если в качестве основания взять присутствие живых организмов с их биогеохимической функцией, тогда мы выделим биосферу. «Биосфера представляет собой оболочку жизни – область существования живого вещества» (Вернадский, 1967). Отличительная особенность биосферы как объекта изучения – она представляет собой сложную систему, состоящую из весьма разнородных частей, каждая из которых подчиняется своим собственным законам и изу-

чается отдельными науками: геологией, биологией, гидрологией, метеорологией и т.д. Химия и физика каждой из этих частей будут очень сильно различаться между собой.

**Цель.** При изучении биосферы как сложной системы, состоящей из весьма разнородных частей, важен синтез наших знаний о каждой из них. Но обобщение таких разнородных данных можно осуществить только в том случае, если ясна цель такого синтеза. При определении цели важно себе ясно представлять, что научные знания о любом объекте исследования, результаты любой научной работы являются **не конечной**, а всего лишь **промежуточной целью**. **Конечная же цель – построение** на основе полученных знаний **новой практической деятельности**. О цели, которую ставил перед собой В.И. Вернадский, создавая свое учение о биосфере, было сказано выше. Цель данного курса – познакомить с устройством и функционированием целостного организма биосферы и с процессом перехода ее в ноосферу, заложить основы умений применять полученные знания в других науках и при решении частных практических задач в своей будущей профессиональной деятельности.

**Угол зрения.** Биосфера будет рассматриваться с точки зрения того, что необходимо знать о ней для построения неистощительного природопользования, чтобы было и «нам, и внукам». Почему выбран именно такой угол зрения? В качестве ответа на этот вопрос приведем слова известного американского ученого-эколога Роберта Риклефса: “Если мы хотим достичь какого-то согласия с Природой, то нам в большинстве случаев придется принимать ее условия” (Риклефс, 1979, с. 9). Эти условия как раз и определяются основными законами функционирования биосферы, которым подчиняются несколько миллиардов лет все живые организмы. Перед ними, в конечном счете, вынужден будет склониться и человек и строить свою хозяйственную деятельность в соответствии с этими условиями. Понять их как раз и помогает учение о биосфере.

**Методы.** К ним в первую очередь относятся методы системной организации фактических данных, которые позволяют уложить в целостную научную картину мира самые разные разрозненные факты. Методы такой системной организации относятся к

общенаучным методам, которые входят в золотой фонд современной науки. Они понадобятся не только при овладении данным курсом, но и помогут при изучении других курсов и пригодятся в будущей профессиональной деятельности. Специалиста ценят не по количеству знаний, которые он запомнил, а по тому, как он умеет применять знания для решений частных практических задач. При изучении курса использованы методы, развивающие умения практического применения фундаментальных знаний. К ним в первую очередь относятся умения целенаправленно анализировать большие массивы информации и отбирать из нее то, что необходимо и достаточно для достижения поставленной цели; выявлять, какой именно информации не хватает для ее достижения. На этом основывается умение ставить проблемы (проблемой называется такой вопрос, который в начале надо изучить, а потом решить). Цели анализа будут определяться в заданиях к семинарским занятиям. При выполнении этих заданий надо будет проанализировать тот или иной раздел курса под заданную цель.

Это и методы синтеза целенаправленно отобранных данных, что позволит нарисовать целостную картину, наглядно демонстрирующую результат достижения поставленной цели. И, наконец, искусство постановки цели. Для овладения им надо в равной мере знать и теорию, и практику. Знание практики приходит с жизненным опытом. У вас уже есть определенный запас жизненного опыта. Пусть он еще небольшой, но его уже вполне достаточно, чтобы начинать учиться ставить цели, т.е. определять, чего же вы хотите достичь в практической деятельности. Пусть первые попытки постановки конкретных целей будут не совсем удачные, но помните: путь осилит идущий.

Учение о биосфере имеет свой набор понятий и терминов. Для овладения языком науки советуем составлять для себя словарь новых понятий и терминов (в алфавитном порядке). Составление такого словаря и постоянное обращение к нему помогут овладеть понятиями и терминами, которые используются в данной науке. О профессионализме судят и по тому, насколько специалист владеет языком науки, насколько понимает смысл употребляемых терминов.

**Практическое применение данного курса.** Сферу применения учения о биосфере и ее перехода в ноосферу очертил президент РФ В.В. Путин в своем выступлении в 2000 г. в Брунее на саммите АТЭС «Бизнес и глобализация» следующим образом. «Наш соотечественник Владимир Вернадский еще в начале XX века создал учение об объединяющем человечество пространстве – ноосфере. В нем сочетаются интересы стран и народов, природы и общества, научные знания и государственная политика. Именно на фундаменте этого учения строится концепция устойчивого развития». В настоящее время в России стратегическое планирование регионального развития все больше начинает основываться на концепции устойчивого развития. Этим открывается широкое поле деятельности для практического применения знаний о биосфере.

## Семинар 1

### Вопросы к письменной работе

1. Как вы представляете биогеохимическую функцию живого вещества?
2. Что является объектом изучения в курсе «Основы учения о биосфере и ноосфере»?
3. Какова цель курса?
4. Каков аспект рассмотрения материала в данном курсе?
5. Как вы понимаете методы, используемые в курсе?

## 2. История возникновения учения о биосфере

*Отец умел беречь «кусочки времени»,  
никогда не терял ни минутки.  
Н.В. Вернадская-Толль*

При рассмотрении истории создания того или иного учения надо проследить несколько сюжетных линий. 1. Установить, когда появился термин, который использован в названии этой системы взглядов. 2. Определить, когда появилось ключевое понятие этого учения. 3. Выяснить, когда и вследствие каких причин у создателя учения возник замысел. 4. Проследить, как этот замысел воплотился в научных исследованиях. Появление терминов и понятий зависит от уровня развития социокультурной среды, хотя немаловажную роль играют и личностные качества авторов. Возникновение замысла и особенно воплощение его в стройную систему взглядов зависит от качества личности исследователя и уровня развития социокультурной среды.

**Возникновение термина «биосфера».** Впервые термин "биосфера" появился во второй половине XVIII в трудах французского исследователя эпохи Просвещения Ж.Б. Ламарка. Тогда наметился переход от прежних, целостных представлений натурфилософии к дифференциации науки. Именно тогда появились отдельные научные дисциплины и шло углубленное изучение каждой из них. Единая прежде наука натурфилософия стала дробиться на отдельные ветви (научные дисциплины), и исследователи начали стремиться к специализации, к углубленному изучению облюбованной ветви знания. Это была пора поиска тех неделимых частиц, из которых слагаются разного рода тела. В те времена термин *биосфера* был обычен среди французских уче-

ных. Он вошел во многие толковые словари того времени. Но тогда под *биосферой* понималась не сфера жизни, а некие предполагаемые “глобулы”, “неделимые жизни”, ее первоатомы, то, что отличает живое от неживого (Забелин, 1988).

**Появление понятия о сфере обитания жизни.** Впервые идея о необходимости выделения на нашей планете специальной оболочки, в которой обитают живые существа, появилась в труде германского географа Б. Варениуса “География генеральная”. Его книга была издана в середине XVII века в Голландии. К мысли о выделении своеобразной оболочки, включающей верхнюю часть земной коры, гидросферу, нижнюю часть атмосферы и все живые организмы, Б. Варениус пришел в результате размышлений о предмете исследования географии. Он был первым, кто стал считать эту оболочку предметом изучения географии. По книге Б. Варениуса в течение 30 лет И. Ньютон читал свой курс географии. Петр I из всей географической литературы того времени выбрал книгу Варениуса для перевода на русский язык.

Потом, в начале XIX века, это понятие об особой оболочке нашей планеты (сфере жизни) широко использовал А. Гумбольдт в своем труде “Космос”. Эту оболочку он называл *лебенссферой*. В этом термине он соединил немецкое слово “лебенс” (жизнь) с греческим словом “сфера”. Он предложил такой гибрид, нарушающий все каноны языка, из-за стремления избежать терминологической путаницы. Его современники, французские ученые, как говорилось выше, использовали термин биосфера совсем в другом смысле.

Впервые термин “биосфера” для обозначения пространства земных оболочек, где обитают живые существа, использовал великий австрийский геолог Э. Зюсс в 1875 г. То, что именно он стал употреблять термин *биосфера* в нашем современном понимании, далеко не случайно. Геология во второй половине XIX века далеко опередила все другие естественные науки по уровню систематизации накопленного огромного фактического материала. Э. Зюсс первый уловил ростки новых тенденций в развитии науки – переход от дифференциации и углубленной специализации к синтезу, созданию целостных мировоззренческих концепций. Однако в его биосфере живые организмы все еще оставались

сторонними самодовлеющими телами. Он был еще очень далек от понимания их химического взаимодействия с окружающими их телами, поскольку геохимия и биогеохимия зародились позже, в начале XX века.

**Возникновение замысла о создании новой картины мира.** История науки сохранила для нас два имени – А. Гумбольдт и В.И. Вернадский. Именно у них возник замысел о создании целостной системы взглядов, раскрывающей феномен «сферы жизни», в которой живые организмы выступают в качестве всемогущей геологической силы, преобразующей среду своего обитания. У молодого А. Гумбольдта этот замысел возник в конце XVIII века, вероятно, под влиянием одной потрясшей его до глубины души находки. Он, будучи начинающим горным инженером, в заброшенных старых горных выработках почти в абсолютной темноте нашел блеклые, влажно-прохладные стебельки мхов и лишайников. Эта находка потрясла его и заставила задуматься о торжестве и всемогуществе Жизни. И именно с этого момента для него открылся Космос, в котором торжествует жизнь! Ему страстно захотелось постигать тайны всемогущества жизни.

Спустя сто лет у студента Петербургского университета В.И. Вернадского этот замысел возник под влиянием лекций Д.И. Менделеева и А.Н. Бекетова. Д.И. Менделеев “рисовал перед затаившими дыхание слушателями захватывающие картины химического единения Вселенной, объединяя проблемы химии неживой и живой материи, гео- и космохимии в единый комплекс космического круговорота вещества” (Аксенов, Неаполитанская, 1988, с. 34). А.Н. Бекетов разворачивал «перед слушателями яркую картину эволюции живой природы, подчеркивая зависимость растительных сообществ от географических условий их обитания (Мочалов, 1988). В.И. Вернадский хорошо знал и высоко ценил работы своего великого предшественника, А. Гумбольдта. Обратите внимание на даты жизни этих двух великих ученых: А. Гумбольдт 1769 – 1859 гг.; В.И. Вернадский 1863 – 1945 гг. Наблюдается известная преемственность замыслов, но каждый из них реализовал их по-своему. Это объясняется не только особенностями личности, но и тем, что жили и работали они в разных социокультурных средах.

**Воплощение А. Гумбольдтом замысла в труде «Космос».** Родился А. Гумбольдт в семье отставного майора прусской армии в 1769 г. Отец умер рано. Мать дала прекрасное по тем временам образование своим двум сыновьям – Вильгельму и младшему Александру. Начал свою трудовую деятельность А. Гумбольдт в горном департаменте Силезии и Вестфалии как геолог и горный инженер. Личности А. Гумбольдта была свойственна беспредельная целеустремленность. Когда находка блеклых мхов и лишайников в старых горных выработках, почти в абсолютной темноте, заставила его задуматься о торжестве и всемогуществе Жизни, ему страстно захотелось постигать эти тайны всемогущества Жизни, и всю свою последующую деятельность он посвятил этому. Крупное наследство, полученное после смерти матери, позволило ему осуществить свою мечту. Свои исследования он начал с тропиков, где наблюдается буйство Жизни. Экспедиции в Центральную и Южную Америку принесли ему всемирную славу. На склоне лет он путешествует по России, посетив Урал, Алтай и Каспийское море.

Вся его исследовательская деятельность пришлась на эпоху стремительно развивающейся дифференциации естествознания. Он старался не допустить этой дифференциации, роковой для целостного мировоззрения. В своих работах А. Гумбольдт небезуспешно отстаивал универсальность как научный принцип естествознания. Незадолго до смерти он напишет: “в более строгом смысле слова мироописание есть история природы и человечества”. А. Гумбольдт считал, что в науке должен господствовать эмпирический подход. В этом он был прямым предшественником В.И. Вернадского, который показал огромное значение для науки именно эмпирических обобщений. Энциклопедичность знаний А. Гумбольдта поражала современников. Они сравнивали его по широте взглядов и эрудиции, неисчерпаемости творчества с такой фигурой античности, как Аристотель. Вместе с тем И.М. Забелин (1988) проводил параллель между ним и Дон Кихотом, в том смысле, что Александр пытался идти против потока своего времени (дифференциации естествознания), веря при этом в грядущее торжество отстаиваемых им идей. В этой вере он оказался, безусловно, прав.

Последние 20 – 25 лет девяти столетней жизни Гумбольдт отдал своему итоговому труду “Космос”. В нем он достиг вершин творчества. Когда печатался последний, пятый том, Гумбольдт обнаружил, что банковский счет его пуст. Все свои средства он истратил на то, чтобы проникнуть в тайны Космоса и тайны всепобеждающей Жизни. В этом он преуспел. Он сумел создать не только единую физическую картину мира на уровне своего времени, но и предвосхитить многие идеи, к которым человечество подошло через сто лет. А. Гумбольдт не просто выделил сферу жизни (лебенссферу). Он на этой основе создал целостное научное мировоззрение, первым уловив факт наступления планетной революции, связанной с появлением феномена человека. Все это позволяет считать А. Гумбольдта предтечей идей, которые потом легли в основу учения о биосфере. Но уровень науки первой половины XIX века, и в первую очередь химии, не позволил А. Гумбольдту выяснить, какую же именно играют роль живые существа в преобразовании сферы жизни, т. е. биогеохимическая функция живого вещества осталась для него неизвестной.

А. Гумбольдт не просто нарисовал картину Космоса, а создал концепцию эволюции Космоса, значение которой сохраняется до наших дней. Космос представлялся А. Гумбольдту бесконечным, а Вселенная образована **мировыми островами** (выделение Гумбольдта), к “одному из коих и мы принадлежим”; “острова удалены настолько друг от друга и от земного наблюдателя, что даже в далеком будущем ни один телескоп не достигнет “противоположного берега” Вселенной; стало быть, – бесконечность: Галактика, Метагалактика, иные Метагалактики” (Забелин, 1988, с. 388). Он предложил для известной части мироздания уникальную конусообразную модель космической эволюции в виде “четырёхмерного (геометрические параметры плюс время) эволюционного конуса. Основание конуса образует некая туманность, через звезды и планеты эволюционные линии сходятся на жизнесфере (биосфере), которая является основанием вершины конуса, образованной человечеством (антропосферой) и продуктами его творчества (техносферой и интеллектосферой). Стало быть, на острие физического эволюционного конуса – человек. Но человек – познающий космический субъект, и потому является отправной

точкой вторичного по происхождению, обратно направленного также эволюционного конуса познания; сфокусированный в человеке, конус этот стремительно расширяется в четырехмерном пространстве-времени, для нас разворачивается в бесконечности – границы его не видны и едва ли вообще существуют. ...Первый эволюционный конус – он как бы в прошлом, он история, чрезвычайно важная для понимания настоящего, но все же история. Второй конус – олицетворение **будущего** человечества и окружающего мира, и потому **ось** эволюции, **напряжение** эволюционного процесса исторически переместилось сейчас именно во второй конус. И, разумеется, “узел сцепления” конусов не мог при этом не испытать односторонней перегрузки, – отсюда и появление того феномена, который принято теперь называть напряженной экологической ситуацией” (Забелин, 1988, с. 402 – 403).

**Воплощение замысла В.И. Вернадским в учении о биосфере.** Для того чтобы понять, почему именно В.И. Вернадскому удалось блестяще реализовать свой замысел и создать учение о биосфере, надо проследить, как развивались его личностные качества, которые позволили ему не только прочувствовать необходимость создания новой научной картины мира, но и создать ее. Этому благоприятствовала социокультурная среда, сложившаяся в России в конце XIX – начале XX в. Не менее важно проследить связь творческой работы В.И. Вернадского с его общественной и общественно-политической деятельностью.

*Становление личности.* В.И. Вернадский родился в Петербурге в семье профессора экономики Александровского лицея и Технологического института. В этой семье дед со стороны отца “почитался как личность почти легендарная. Человек долга, большой сердечной доброты и истинной гуманности, он, бесспорно, оказал большое влияние на формирование семейных традиций и жизненных принципов своего сына Ивана, а впоследствии и внука Владимира” (Мочалов, 1982, с. 20). Дед, Василий Иванович, с детства мечтал стать врачом. Вопреки воле отца он поступил в Московский университет и, окончив его, стал военным врачом. В должности начальника госпиталя он принял участие в Альпийском походе А.В. Суворова. Перед своим знамени-

тым прорывом через Сент-Готард А.В. Суворов оставил лазарет под присмотром штабс-лекаря В.И. Вернадского. Госпиталь был захвачен французами, и тогда выяснилось, что помимо русских солдат и офицеров Вернадский кормил и лечил многих французов, итальянцев и австрийцев. Для врача они были не пленниками и врагами, а людьми, нуждающимися в помощи. За свое гуманное отношение к раненым он получил в Париже из рук Наполеона орден Почетного легиона.

В детские годы большое влияние на умственное развитие Володи оказал Е.М. Короленко, оригинальный и образованный человек, которого очень любили в семье Вернадских. В одном из писем своей жене В.И. Вернадский пишет следующее. “Никогда не забуду я того влияния и того значения, какое имел на меня этот старик в первые годы моей умственной жизни. И мне иногда кажется, что не только за себя, но и за него я должен работать, что не только моя, но и его жизнь останется даром прожитой, если я ничего не сделаю. Вспоминаются мне темные зимние, звездные вечера. Перед сном он любил гулять, и я, когда мог, ходил с ним. Я любил всегда небо, звезды, особенно Млечный путь поражал меня, и в эти вечера я любил слушать, когда он мне о них рассказывал. Я долго после не мог успокоиться. В моей фантазии бродили кометы через бесконечное мировое пространство; падающие звезды оживлялись; я не мирился с безжизненностью Луны и населял ее целым роем существ, созданных моим воображением. Такое огромное влияние имели эти простые рассказы на меня, что мне кажется, что и ныне я не свободен от них” (Цит. по Мочалову, 1982, с. 29 – 30). Не здесь ли кроются истоки постоянного интереса В.И. Вернадского к Космосу, космизма его трудов по биосфере?

Огромное влияние на развитие Владимира Ивановича в детские годы имел отец, который вносил в жизнь детей, особенно сыновей, высокий духовный настрой. “В семье, в которой с отцовской стороны были очень сильны духовные интересы, был культ науки, хотя, кроме отца, вся семья жила светской жизнью ... Благодаря отцу у Володи рано пробуждается интерес к политической экономии, истории, философии и другим гуманитарным наукам. Уже в 13- и 14-летнем возрасте со слов отца он знако-

мится с древнегреческой философией, любовь к которой сохранилась на всю жизнь. Умело, с большим тактом направлял И.В. Вернадский интересы сына, воспитывая его волю, настойчивость в преодолении трудностей, систематичность в чтении разнообразной литературы. “У него была странная манера влиять на меня. Он *стыдил* меня, когда я чего-нибудь не знал и говорил, что у меня, в моей воле, есть полная возможность знать, и я должен этой возможностью воспользоваться, а если я ею не пользовался, то виноват я, а не другие. Что другие этого не знают, как и я, несколько меня не должно оправдывать в моих глазах. А также не оправдывает и в его глазах” (Мочалов, 1982, с. 30–31).

Такой подход к воспитанию сына принес свои плоды. Хотя при поступлении в гимназию Володя Вернадский с головой окунулся в гимназический быт, но одновременно у него в характере окончательно закрепилась черта, которая была важна для всей последующей его жизни. Это “стремление Вернадского к **активному** усвоению прочитанного путем его критического анализа, систематизации и письменного конспективного изложения в виде планов, тезисов, цитат, хронологических таблиц и т. п. На этот счет в его архиве сохранились многочисленные свидетельства в виде тетрадей, записных книжек, отдельных заметок” (Мочалов, 1982, с. 36).

В гимназии, в 1876 – 1881 гг., свершился и **решиительный поворот** интересов Вернадского в сторону естествознания и естественнонаучного мышления. Вот как этот момент он описывает сам: “Станным образом стремление к естествознанию дала мне изуродованная классическая толстовская гимназия благодаря той внутренней, подпольной, не подозревавшейся жизни, какая в ней шла в тех случаях, когда в ее среду попадали живые, талантливые юноши – натуралисты. В таких случаях их влияние на окружающих могло быть очень сильно, так как они открывали перед товарищами новый живой мир, глубоко важный и чудный, перед которым совершенно бледнело сухое и изуродованное преподавание официальной школы. В нашем классе таким юношей-натуралистом был Краснов” (Цит. по Мочалову, 1982, с. 37). “Сын донского казака – генерала, ученого, писателя, Андрей Николаевич Краснов вырос в талантливейшего и очень своеобразно-

го натуралиста, ботаника, географа и путешественника, основателя знаменитого ботанического сада в Батуми. К сожалению, ввиду ранней смерти, он не успел раскрыть все свои способности и дарования. В 4-м и 5-м классах гимназии вокруг А.Н. Краснова сгруппировался небольшой кружок гимназистов, увлекавшихся естествознанием – Ремизов, Зайцев, Тюрин, Вернадский ... Это не было случайностью, так как в гимназическом классе именно Краснов являлся самым ярким носителем того духа точного наблюдения и любви к природе, который был совершенно выброшен официальной программой из преподавания. Человек своеобразного характера, с обширными познаниями, живой и общительный, Краснов, естественно, был душой гимназического класса, инициатором различных начинаний. Он с детства любил живую природу, увлекался ботаникой и энтомологией и увлекал других. Гимназисты под его руководством собрали коллекции и гербарии; весной, летом и осенью устраивали экскурсии в окрестности Петербурга. Одно время в классе издавался рукописный энтомологический журнал” (Мочалов, 1982, с. 37 – 38).

“Между семьей, с одной стороны, и петербургской гимназией – с другой, стихийно сложилось своеобразное “разделение труда”. В семье Вернадских общественно-политические и гуманитарные интересы занимали в целом доминирующее положение. Это не исключало, конечно, известного влияния на духовное развитие Вернадского семейной обстановки, зарождение у него некоторых естественнонаучных увлечений, в особенности благодаря беседам с Е.М. Короленко и отцом. Не будучи особенно эрудированным в области естественных наук, Иван Васильевич, однако, относился к ним с полным пониманием и сочувствием. Как экономист с широкими интересами, он хорошо понимал необходимость развития в России естествознания и его технических приложений, понимал роль естественных наук в формировании научного мировоззрения. ... В 1880 г., когда Вернадский переходил в последний класс гимназии, отец подарил ему книгу Ч. Дарвина “Происхождение видов” на английском языке. ... Таким образом, благодаря влиянию семьи, у В.И. Вернадского в детские и юношеские годы относительно четко определилась область его гуманитарных, социально-этических интересов, с одной

стороны, и были созданы вполне благоприятные возможности для направления его размышлений также в сферу естественно научных проблем – с другой. Годы учебы в Петербургской гимназии еще более укрепили его гуманитарные увлечения и окончательно сформировали интерес к естествознанию. ... В 1879 – 1881 гг. в круг интересов Вернадского входят сложные явления человеческой психики и сознания, которыми он продолжал интересоваться всю жизнь. ... В последних классах гимназии внимание Вернадского все более привлекают общие проблемы математики, стоящие на границе математики и философии. К этим вопросам он неоднократно возвращался впоследствии, особенно в 1920 – 1940 гг. (годы работы над учением о биосфере)” (Мочалов, 1988, с. 38 – 39).

В 1880-х годах в Петербургском университете был сосредоточен почти весь цвет русской научной мысли. Особенно огромное впечатление на первокурсника В.И. Вернадского произвели лекции Д.И. Менделеева, А.Н. Бекетова и В.В. Докучаева.

“Неизгладимый след оставил в жизни Вернадского великий естествоиспытатель Дмитрий Иванович Менделеев. Без преувеличения можно сказать, что космологические и космографические идеи, столь ярко воплотившиеся во всем научном творчестве Вернадского, были заронены в сознание начинающего исследователя, прежде всего, лекциями Менделеева” (Мочалов, 1982, с. 42). Эти идеи упали на подготовленную рассказами Е.М. Короленко почву и дали великолепные всходы. В том числе и учение о биосфере, в котором центральное место получает биогеохимическая функция живого вещества. А.Н. Бекетов, бывший в то время ректором Петербургского университета, плодотворно разрабатывал вопросы теории эволюции растений и ботанической географии, был горячим поклонником и пропагандистом в России работы Ч. Дарвина о происхождении видов. Его лекции пользовались среди студентов большой популярностью. Идеи, которые преподносили слушателям в своих лекциях Д.И. Менделеев и А.Н. Бекетов, своеобразно объединились в восприятии молодого В.И. Вернадского, породив мысль о химическом единении Жизни и той части Космоса, которой принадлежит наша планета.

Особую роль в становлении В.И. Вернадского как естествоиспытателя сыграл В.В. Докучаев. На этой неординарной личности остановимся более подробно. В.И. Вернадский оставил яркий и очень эмоциональный очерк о нем. В.В. Докучаев относился к тому типу, “который нередко выдвигался в русской истории из народной среды (он был сыном сельского священника Сычевского уезда Смоленской губернии). Энергичный работник, он умел *хотеть* и умел достигать своей цели путем личного колоссального труда и путем организации работы других. ... Как люди сильной воли, он слишком подавлял многих, имевших с ним дело. Но хотя с ним можно было во многом не соглашаться, многое могло в нем шокировать, ко многому в нем можно было относиться отрицательно, но одного нельзя было никогда у него отнять – умения группировать вокруг себя учеников, будить и возбуждать научную мысль, организовывать коллективную работу; нельзя было отрицать в нем постоянного стремления работать для общественного блага, а не для личных задач. В личных отношениях он представлял во многом self made man’s (человек, обязанный всем самому себе), прошедшего тяжелую школу нужды, выбившийся своим горбом и трудом. И он никогда не скрывал этого. Суровый, резкий и требовательный, он был таким не только к другим, но и к себе. И в то же время он являлся очень искренним во всех своих начинаниях; умел выслушивать правду или правильно относиться к резким отзывам близких ему людей, своих учеников. Этим объясняется то, что при всей властности своего характера, он сохранял неразрывными близкие связи с людьми, которые открыто и во многом с ним не соглашались” (Вернадский, 1988, с. 283). “Он сумел собрать вокруг себя живую и горячую молодежь, вызвать интерес к работам в соприкасающихся областях знаний, найти средства, нужные для систематических работ в новом направлении. Эти средства – десятки тысяч рублей – он нашел в русском обществе. Он привлек к почвенным работам внимание общественных сил – Вольного экономического общества и земств” (Вернадский, 1988, с. 277 – 288). Его ученику крупно повезло. “По складу своего ума Докучаев был одарен совершенно исключительной пластичностью воображения; по немногим деталям пейзажа он схватывал и рисовал целое в необы-

чайно блестящей и ясной форме. Каждый, кто имел случай начинать свои наблюдения в поле под его руководством, несомненно, испытывал то же самое чувство удивления, какое помню я, когда под его объяснениями мертвый и молчаливый рельеф вдруг оживлялся и давал многочисленные и ясные указания на генезис и на характер геологических процессов, совершающихся в скрытых его глубинах” (Вернадский, 1988, с. 276 – 277).

В.В. Докучаев читал лекции по кристаллографии и минералогии. “Обе науки очень увлекли Вернадского. Симпатии Докучаева были явно на стороне минералогии, вопросы которой нередко пересекались с проблемами почвоведения, над которыми он тогда усиленно работал. И все же, именно Докучаев впервые заронил в сознание Вернадского глубокий интерес к кристаллографическим вопросам, а от них – к философским проблемам строения материи, занявшем в его мировоззрении столь видное место. От Докучаева же берет начало прошедшая красной нитью через всю жизнь Вернадского проблема симметрии” (Мочалов, 1982, с. 4). К изучению чернозема и других почв В.В. Докучаев подошел в 1877 г. Тогда в пореформенное время в России очень остро стоял вопрос кадастровой оценки земель и повышения плодородия почв. В экспедиционные исследования почв, которые проводил В.В. Докучаев, включился и студент В.И. Вернадский. “Через все многочисленные и разнообразные работы Докучаева – над русским ли черноземом или черноземом Сибири, почвами Поволжья или Малороссии, севера или юга России – красной нитью проходят две идеи, которые постепенно и заметно входят в общее научное сознание. Они характеризуют всю деятельность, как Василия Васильевича, так и его учеников, выделяют в науке русскую школу почвоведения, прямо или косвенно связанную с научной мыслью и работой Докучаева. Это, во-первых, идея о географическом распределении почв в связи с их генезисом, т.е. география почв, и, во-вторых, идея о почве как особом естественном теле. В разъяснении этих идей, в их зарождении и упрочении в поколениях русских ученых заключается главная заслуга Докучаева” (Вернадский, 1988, с. 270). В основе этих обеих идей лежит синтез самых разных фактических данных из различных областей естествознания. На практике молодой студент Вернадский смог

убедиться в плодотворности широких обобщений. К этому же звали широкие обобщения лекций Д.И. Менделеева и А.Н. Бекетова. Так была освоена им еще одна ступенька на пути к созданию учения о биосфере. Развивая идею о естественных телах, незадолго до своей смерти В.В. Докучаев пришел к закону зональности. “Он понимал под этим именем совокупность различных явлений, находящихся между собой в связи, составляющих гармоничное целое и вместе подчиненных определенным широтным и высотным поясам (зонам) на земном шаре. Он соединял здесь как такие явления, зависимость которых от этих факторов давно уже ясно сознавалась и много раз указывалась, — данные зоогеографии, климатологии, ботанической географии, так и типы, и характер почв. В признании за условиями распространения и происхождения почв того же фактора, какой столь резко и глубоко проявляется в климате, в законах распространения и изменения организмов, заключается основная, оригинальная мысль Докучаева” (Вернадский, 1988, с. 271). Отсюда остался всего лишь один шаг до биосферы как естественного тела глобальной размерности. И этот шаг был сделан В.И. Вернадским — труды его учителей не оказались напрасными.

В декабре 1884 г. на одном из заседаний Научно-литературного общества студент Вернадский выступает с докладом “Об осадочных перепонках”. Из доклада отчетливо видно, что к этому времени он уже глубоко заинтересовался фундаментальными проблемами биологии. Его интересовала и сущность жизни, и соотношение живой и неживой материи, характер свойств живому веществу закономерностей и т.п. В докладе Вернадский подходит к поднятым проблемам с планетарной и космологической точек зрения. Уже тогда он четко провел идею о существовании особой геологической оболочки, в которой сосредоточено все живое вещество Земли. Эту идею, как известно, Вернадский впоследствии всесторонне развил в своем учении о биосфере. Идея биосферы формулируется Вернадским вполне самостоятельно и независимо как от Э. Реклю, так и от Э. Зюсса. Однако несомненна генетическая связь этой идеи с трудами В.В. Докучаева. Почва послужила базисным объектом для почвоведения Докучаева и для биогеохимии и учения о биосфере Вер-

надского. Почва → живое вещество → биосфера – суть естественные тела, которые стали объектом изучения специальных наук (Мочалов, 1988).

Итак, семейное воспитание, увлечения гимназической поры, такие профессора, как Д.И. Менделеев, А.Н. Бекетов, В.В. Докучаев – все это способствовало развитию тех черт личности Вернадского, которые позволили ему подойти к широким общенаучным обобщениям. Вместе с тем воспитание и полученный жизненный опыт определили его интерес к общественной и общественно-политической деятельности, которые были непосредственным продолжением его творческой мысли. В одном из писем к жене Наталье Егоровне, он написал в 1893 г. «Я не могу уйти в одну науку». В его работе на пользу общества воплощались его научные и мировоззренческие представления, их морально-нравственная составляющая. В этом В.И. Вернадский был не одинок. Еще в студенческие годы возник кружок единомышленников, который члены его называли Братством. Оно возникло в 1886 г. и сыграло в жизни Вернадского значительную роль. «Естественной его предпосылкой стал уже упоминавшийся студенческий кружок. Дружеские связи участников кружка, естественно, сохранялись и после окончания ими Петербургского университета ... Однако жизнь шла вперед, возникали новые интересы и задачи. Пути многих стали расходиться. Одни посвящали себя народному образованию (Ф.Ф. Ольденбург), другие – земской деятельности (Д.И. Шаховской), третьи – науке (С.Ф. Ольденбург, В.И. Вернадский, И.М. Гревс и др.) ... Но потребность в духовном общении не исчезла. Не хотелось, чтобы различия жизненных судеб отрицательно повлияли на сложившиеся в университете дружеские связи, которыми каждый так дорожил. Но для этого необходимо было трудно предвидимым и нередко деорганизующим жизненным влияниям и коллизиям противопоставить некое организующее начало. Так возникла идея Братства, встретившая у всех горячее сочувствие. Было решено поддерживать постоянные связи между собой путем дружеских встреч и переписки, а 30 декабря каждого года ... собираться, по возможности, всем вместе. Последнее “общее собрание” Братства состоялось 30 декабря 1921 г.» (Мочалов, 1982, с. 76).

Д.И. Шаховской сформулировал общие правила поведения членов Братства: “1) Работай как можно больше, 2) Потребляй (на себя) как можно меньше, 3) На чужие нужды смотри, как на свои” (Цит. по Аксенову, 1988, с. 87). “Члены братства очень остро осознавали свой личный долг и свою ответственность за все происходящее. Нет, и не может быть, никакой отдельной человеческой жизни, отдельных от общего дела целей и задач, а есть только отдельное, личное выполнение общих задач, личный способ осуществления общего дела. Тем самым, все остальные вопросы – политические, экономические, общественные – были переведены в область этики и оказались пронизаны личностным отношением, им было сообщено некое единство. ... Братство осталось редким опытом социальной жизни русской интеллигенции в конце XIX – начале XX вв. Не имея реального продолжения в жизни, братство отразилось в учении Вернадского о ноосфере” (Аксенов, 1988, с. 87, 93).

Об этой стороне жизни В.И. Вернадского и его друзей хорошо написал Г.П. Аксенов (1988). “Недаром утверждают, что вера без дел мертва, что дорога в ад вымощена благими намерениями. Тому тьма примеров, когда молодые мечтания о высоких идеалах служения человечеству от столкновения с действительностью разлетались в прах. Как часто бывшие идеалисты погружались в суету, меняли свои убеждения на “более взрослые”. Обыкновенной историей назвал такое превращение русский писатель И.А. Гончаров. С братством произошла история необыкновенная. Его идеалы устояли среди всех бурь, как политических, так и житейских. Их стремление жить для других не осталось пустой фразой и прекраснодушным намерением. Ненадуманным, а самым естественным делом стало для них народное просвещение. Друзья пришли к выводу, что деспотическое самодержавие, произвол, лихоимство бесчисленных чиновников, вся российская “азиатчина” возможны только, пока существуют темнота, нищета и несправедливость народных масс. Жизнь предлагала на выбор две стратегии для борьбы с существующим злом: сражаться или с властью тьмы или с тьмой власти. Обе возможности обсуждались. Братство выбрало первую. Просвещение народа – решили они, – достигая в сущности тех же целей, что и революционная борьба,

исключало насилие в действиях. Оно требовало не единовременного порыва, а “долгого дыхания” для большого дела. Ведь подлинно великое и совершается тихо и незаметно. Все члены братства могли бы взять своим девизом известную французскую поговорку “Положение обязывает!” Их положение: обеспеченность, блестящее домашнее воспитание, знание языков, возможность учиться и пользоваться всеми благами учености – все это, считали они, – *обязывало* их отдать все силы, способности, знания для повышения умственного, гражданского и политического развития народа” (с. 142 – 143).

Работа В.И. Вернадского на ниве народного образования началась рано, еще в стенах Петербургского университета, когда он вместе с другими будущими членами Братства организовал кружок. Целью этого кружка “было изучение народной литературы в прошлом и настоящем, составление общих и рекомендательных каталогов, переводы с иностранных языков, стилистическая переработка книг (в целях их большей доступности), создание народных библиотек и т.п. Кружок был тесно связан с Комитетом грамотности и издательством “Посредник” И.Д. Сытина” (Мочалов, 1982, с. 68). О характере его практических действий позволяет судить такой факт. В середине 80-х годов он продает железной дороге большую часть земли в Тамбовской губернии, полученной от отца в наследство. На оставшемся клочке земли на вырученные деньги он строит сельскую школу. Остаток денег кладет в банк. На проценты с этого капитала В.И. Вернадский содержал школу и платил стипендии при подготовке для нее учителей. Так вместо “разрушительного натиска” (революции) осуществлялось положительное строительство, в котором народное образование являлось краеугольным камнем.

Вторым направлением приложения сил в положительном строительстве была работа членов Братства в земствах. В.И. Вернадский работал в Тамбовском земстве, а его соратник по Братству Д.И. Шаховской в Ярославском земстве. Они много сделали для развития кооперативного движения среди крестьян, а в 1891 – 1892 гг. В.И. Вернадский стал одним из инициаторов в борьбе с голодом на Тамбовщине.

В начале 900-х годов В.И. Вернадский вместе с другими членами Братства участвует в создании партии конституционных демократов (кадетов), его избирают в члены Государственного совета от академической курии. Он входит как товарищ (заместитель) министра образования в состав Временного правительства в феврале 1917 г.

Семейное воспитание, гимназические товарищи, общение в университетские годы и постоянная напряженная личная работа – все это, вместе взятое, привело к тому, что полем деятельности В.И. Вернадского стала не одна нива науки, но и полнокровная жизнь российского общества в конце XIX и начале XX века. Такая широта интересов и деятельности сыграли решающую роль в формировании и реализации научных замыслов. Он хорошо знал не только передний край науки и ее историю, но и нужды родной страны.

*Создание учения о биосфере.* Обратите внимание на две даты: 1884 г. и 1926 г. В 1884 году В.И. Вернадский в своем студенческом докладе на заседании Научно-литературного общества впервые высказал идею о существовании особой геологической оболочки, в которой сосредоточены все живые организмы. 1926 г. – это год выхода его работы “Биосфера”. Между ними сорок два года, в которых тесно переплелись интенсивные научные исследования, общественная, просветительская и научно-организационная работа. Как сложилась в эти годы его жизнь и как протекала его работа?

Еще в гимназии Владимир Иванович вместе со своим другом А.Н. Красновым мечтали уехать в тропики, где буйно развивается живое вещество. И там начать исследования этой особой оболочки нашей планеты, о которой В.И. Вернадский докладывал на кружке в 1884 г. Напрашивается определенная параллель между стремлениями Краснова и Вернадского и действиями А. Гумбольдта, труды которого они хорошо знали. Эту мечту осуществил А.Н. Краснов. Он побывал во многих тропических и субтропических странах Азии, Африки и Океании. Судьба же В.И. Вернадского сложилась иначе. После окончания университета со степенью кандидата естественных наук он был по рекомендации В.В. Докучаева оставлен при Минералогическом каби-

нете в скромной должности его хранителя. “Соглашаясь остаться при Минералогическом кабинете, Вернадский рассматривал это как временный – и далеко не самый главный – момент своей жизни. В своем дневнике он писал: “Я мечтал ликвидировать Вернадовку (имение, доставшееся ему по наследству от отца. – *Б.В.П., О.В.Б.*) и уехать в тропические страны вокруг света, а затем уже в России начать жить, нисколько не сомневаясь в успехе, – уехать и прожить Вернадовку в несколько лет ... Думаю, что я это бы исполнил. Встреча с Натальей Егоровной Старицкой совершенно изменила мои, казалось, прочные планы”. Установившиеся между Натальей Егоровной и Владимиром Ивановичем дружеские отношения, общность духовных интересов, совместная деятельность на почве народного просвещения способствовали возникновению глубокого чувства. ... 3 сентября 1886 г. состоялось венчание» (Мочалов, 1982, с. 79 – 80).

Наряду с занятиями кристаллографией и минералогией в Минералогическом кабинете университета у В.И. Вернадского появилась и еще одна новая сфера научных интересов. Это – исследования в области истории научных знаний. “Интерес к истории науки не был случаен. Он был подготовлен, с одной стороны, условиями семейного воспитания (влияние, главным образом, со стороны отца) и ранними, еще в гимназические годы, размышлениями Вернадского над проблемами социальной истории и, с другой – глубоко генетическим подходом к объекту исследования, столь прочно привитому начинающему ученому в студенческие годы. ... Неожиданно для себя, Вернадский с некоторым удивлением обнаруживает, какое огромное значение в становлении и эволюции “безликих” имеет сугубо “личностный” элемент – ученый с его интересами и страстями, ученый – дитя своей нередко весьма пестрой и полной противоречий исторической эпохи ... Обнаруживается, что между историей науки и социальной историей нет непроходимой пропасти, так как в самой действительности наука и общество представляют связанные и взаимодействующие между собой стороны единой исторической реальности. Но тем самым сугубо конкретные и специальные, казалось бы, проблемы, поскольку они рассматривались во временном разрезе, закономерно трансформировались в сознании Вернад-

ского в более общие проблемы сменяемости и, одновременно, преемственности научных проблем, гипотез, теорий, за которыми стояли реальные исторические личности – ученые, жившие и действовавшие в реальной исторической обстановке... И чем более углублялся Вернадский в историю того или иного вопроса, ... тем все в большей степени преемственность и сменяемость идей представляла перед ним как преемственность и сменяемость поколений и тем все острее и глубже воспринимал он себя, как малую частицу того гармоничного, развертывающегося во времени великого и прекрасного целого, которое называется Наукой” (Мочалов, 1988, с. 74 – 75).

То, что В.И. Вернадский не поехал в тропики, а остался в Петербургском университете и начал заниматься кристаллографией и минералогией, было для Науки и Человечества – великое благо. Он шаг за шагом, в течение более чем сорока лет, постепенно поднимался в своих исследованиях от простых естественных тел к высокоорганизованным. В своих исследованиях он прошел все уровни организованности естественных тел. Именно это позволило ему, в конце концов, всесторонне развить учение о биосфере. На рис. 2.1 приведена схема развития научных идей В.И. Вернадского. Эта схема была составлена К.П. Флоренским (Аксенов, Неаполитанская, 1988, с. 236). Она дает наглядное представление о том, как последовательно в своих исследованиях В.И. Вернадский переходил от простейших естественных тел (кристалла и минерала) к все более сложным (горная порода) и далее к биосфере. Исследования кристаллов и минералов с химической точки зрения привели его к геохимии и к биогеохимии. Минералогия обогатила его знакомством с таким феноменом природы, как парагенезис минералов. Парагенезис – это совместное нахождение природных тел, не связанных генетически. (Обращаем ваше внимание, что это не прямая причинно-следственная связь, а опосредованная).

На этом пути все его работы объединяет пять основополагающих идей.

**Первая** – единение с Космосом. Биосфера как естественное тело планетарной размерности находится под непосредственным и всесторонним воздействием Космоса. Понять процессы, проис-

ходящие в ней, можно только учитывая это воздействие. Именно через биосферу распространяется воздействие Космоса на все естественные тела, слагающие ее. В свою очередь и сама биосфера оказывает такое же влияние на естественные тела, входящие в ее состав.

**Вторая** – атомистический подход, лежащий в основе химического анализа строения вещества. Химизм тесно переплетается с космизмом в таких понятиях, которые В. И. Вернадский широко использовал в своих работах – космохимия, геохимия, биогеохимия.



Рис. 2.1. Развитие научных идей В.И. Вернадского по К.П. Флоренскому (из книги Г.П. Аксенова, В.С. Неаполитанской, 1988)

**Третья** – явления симметрии, т. е. законы композиции естественных тел низшего ранга в тела более высокого уровня организации. Глубокое проникновение в явления симметрии у В. И. Вернадского дали его занятия кристаллографией и знакомство с работами П. Кюри. Понять форму естественных тел разной размерности без такого явления, как симметрия, невозможно.

**Четвертая** – живое вещество играет важнейшую роль в поддержании биогеохимических равновесий в биосфере.

**Пятая** – научная мысль как планетное явление. К этой идее В.И. Вернадского привели Братство и занятия историей науки, а также та нравственная координата всей его деятельности, которая сформировалась под влиянием семейного воспитания и окружающей его социокультурной среды. Эта идея, в конечном счете, стала важнейшей для понимания процесса перехода биосферы в ноосферу. Для В. И. Вернадского в истории развития биосферы две точки имели принципиальнейшее значение. Это момент появления на нашей планете живого вещества который знаменует начало становления биосферы, и тот момент, когда в результате эволюции живого вещества, возникла научная мысль, ставшая с течением времени планетным явлением. Сложное переплетение и взаимовлияние перечисленных выше идей, и то, что в своих исследованиях В.И. Вернадский прошел, не пропуская ни одной ступеньки, весь путь от простейших естественных тел к такому сложнейшему образованию, как биосфера, и позволило ему создать свое учение о ней. Это учение наполнило новым содержанием модель Космоса А. Гумбольдта (в виде двух конусов).

Опыт организационной деятельности, полученный в общественной и политической работе на рубеже XIX и XX веков, В.И. Вернадский блестяще использует в своей научно-организационной деятельности. Она начинается в 1892 г. с такого скромного по виду дела, как организация минералогического кабинета при Московском университете. Ее расцвет приходится на последние 35 лет жизни. Таблица 2.1, составленная по данным В.С. Неаполитанской и Б.Л. Личкова, дает представление лишь о его прямых инициативах. Такой впечатляющий результат – 27 научных организаций, к созданию которых В.И. Вернадский приложил руку, объясняется просто – все они создавались для

сбора эмпирического материала и разработки отдельных частей его учения о биосфере. Иными словами, его работа над учением о биосфере непосредственно продолжалась и перетекала в его научно-организационной деятельности, фундаментом которой было это учение.

Таблица 2.1

**Результаты научно-организационной работы  
и научных исследований В.И. Вернадского**

(составлена по данным В.С. Неаполитанской и Б.Л. Личкова  
из работы Г.П. Аксенова, В.С. Неаполитанской, 1988)

Результаты научно-организационной работы	Результаты научных исследований
<b>Космос</b>	
Метеоритный отдел Минералогического и геологического музея АН 1921 г.	Метеоритика 8* (1,3%**)
<b>Ноосфера</b>	
Комиссия по минеральным водам 1940 г. Комиссия по исследованию, использованию и охране подземных вод, 1938 г. Институт истории науки и техники 1932 г. Совет по производительным силам 1930 г. Комиссия по истории знаний 1926 г. Украинская АН 1918 г. Комиссия по изучению производительных сил России 1915 г.	Публицистика 82 (13,4%) Организация науки 42 (6,9%) История науки 68 (11,1%) Философские вопросы естествознания 19 (3,1%)  Всего 211 (34,5%)
<b>Биосфера (биогеохимия)</b>	
Биогеохимическая лаборатория АН СССР 1928 г. Отдел живого вещества КЕПС 1921 г.	Биосфера и ноосфера 28 (4,6%) Биогеохимия и живое вещество 61 (10%)  Всего 89 (14,6%)
<b>Планета (радиогеология)</b>	
Комиссия по проблеме урана 1940 г. Международная комиссия по определению геологического времени радиоактивными методами 1937 г. Комиссия по изучению изотопов 1939 г. Комиссия по тяжелой воде 1934 г. Государственный радиевый институт 1921 г.	Радиогеология и радиоактив- ность 35 (5,8%) Изотопия 5 (0,8%)  Всего 40 (6,6%)

Радиологическая лаборатория 1911 г. Радиевая экспедиция 1911 г.	
<b>Земная кора (геохимия)</b>	
Лаборатория геохимических проблем 1943 г. Комиссия по спектроскопии земной коры 1932 г. Гидрогеологический институт 1918 г. Почвенный институт 1918 г. Платиновый институт 1918 г. Институт физико-химического анализа 1917 г.	Геохимия и геология 79 (12,9%) Гидрохимия 18 (2,9%) Почвоведение 15 (2,5%) <hr/> Всего 112 (18,3%)
<b>Кристаллы (кристаллография) и минералы (минералогия)</b>	
Минералогическое отделение геологического музея АН 1912 г. Минералогический кабинет МГУ 1892 г.	Минералогия 89 (14,6%) Кристаллография 62 (10,1%) <hr/> Всего 112 (24,7%)

\* Число публикаций, \*\*% от общего числа публикаций

Но, кроме всего этого, были еще три важнейших момента, которые способствовали созданию учения о биосфере. На них обратила внимание дочь Владимира Ивановича Н.В. Вернадская-Толль (2000). «У него было глубокое благоговение и бережность к животным. ... Он так любил все живое – зверей, цветы, лес, ковыль, степи, небо и звезды. ... Он постоянно учил меня любить и быть осторожной со всем живым» (с. 158 – 159). «Друзья были из Братства ... Это был громадный мир, связанный взаимной верой, любовью и чувств ответственности перед жизнью» (с. 154). «Она (Наталья Егоровна, жена Владимира Ивановича. – *Б.В.П., О.В.Б.*) была его гением, его хранителем и его совестью и с увлечением разделяла его вдохновение. ... Она была совершенно необыкновенная женщина, громадной силы духа и любви, чем дольше я живу, тем более понимаю ее роль в их жизни. ... все его книги печатала и переводила мама – все его работы проходили через ее руки» (с. 160).

Итак, история создания учения о биосфере подводит к мысли, что это учение – закономерный продукт той социокультурной среды, которая сформировалась в России в XIX и начале XX века. В свою очередь эта социокультурная среда есть закономерный

результат исторического развития нашего народа. В недрах этой социокультурной среды выкристаллизовались семейные традиции Вернадских и то окружение молодого Владимира Ивановича, которое помогло ему реализовать потенциальные возможности, заложенные семьей. Однако это было не пассивное следование семейным традициям. Приведенные факты наглядно показали, как В.И. Вернадский своей общественной и научно-организационной деятельностью активно преобразовывал окружающую его среду, развивая все лучшее, что было им воспринято.

Если подойти к работам В.И. Вернадского по биосфере 20 – 30-х годов с позиций современного уровня знаний, то можно сказать, что нет у него никакого полного изложения учения о биосфере. Так, отдельные мысли, наброски. Но его гений как раз и заключался в том, что он смог нарисовать целостную картину, исходя из этих отрывочных материалов, которые сумел собрать к середине 20-х годов. Выявил на ней белые пятна и поставил исследования в совершенно новых направлениях. Для этого ему пришлось организовать 27 (!) новых различных научных учреждений (см. табл. 2.1). Все это показывает, что В.И. Вернадский гениально осуществил системный синтез огромного фактического материала, накопленного наукой. В то время системных представлений еще не было. Они в начале XX века, как будет показано далее, еще только зарождались, и научная мысль еще была далека от таких эпохальных открытий, как синергетика и теория самоорганизации. Все это появится в науке через 50 лет после смерти ученого. Поражает то, как В.И. Вернадский в своем учении о биосфере не только дал новую научную картину мира, но и предвосхитил многие открытия, которые будут сделаны только к концу XX века.

## **Семинар 2.1**

### **Вопросы для обсуждения**

1. История возникновения термина «биосфера» в контексте истории естествознания в целом.

2. Путь становления понятия «биосфера», роль геологии.

3. Личность А. Гумбольта. В чем Вы видите наиболее существенные моменты его работы «Космос»?

4. Объясните, как Вы понимаете конусообразную модель Космоса по А. Гумбольдту.

5. К какому периоду естествознания относятся работы Ж.Б. Ламарка, Э. Зюсса, А. Гумбольдта?

### **Литература**

Забелин И.М., 1988.

## **Семинар 2.2**

### **Вопросы для обсуждения**

1. Какие наблюдения и собственные результаты подвели В.И. Вернадского к учению о биосфере?

2. Роль социокультурной среды в формировании личности В.И. Вернадского.

3. Отличие «биосфер» Ламарка, Зюсса, «лебенсферы» Гумбольдта от «биосферы» в учении В.И. Вернадского.

4. Основополагающие идеи Вернадского.

### **Доклады**

1. Некоторые моменты биографии В.И. Вернадского в детские и юношеские годы, способствовавшие становлению его личности естествоиспытателя.

2. Научная мысль в Санкт-Петербургском университете в конце XIX века. Роль учителей в становлении личности ученого-естествоиспытателя В.И. Вернадского.

3. Роль студенческого Братства в становлении личности В.И. Вернадского как общественно-политического деятеля и гуманиста.

### **Литература**

Аксенов Г.П., 1988 а, б; Аксенов Г.П., Неаполитанская В.С., 1988; Вернадский В.И., 1960, 1988 а, б; Мочалов И.И., 1982; Флоренский К.П., 2000.

### 3. Сведения о системном анализе и синергетике

*Системой является то, что мы хотим  
рассматривать как систему.  
В. Гейнс*

*Система есть форма представления  
предмета научного познания.  
Е.Б. Агошкова, Б.В. Ахлибинский*

*Картина мира, рисуемая классическим  
разумом, – это мир, жестко связанный  
причинно-следственными связями...  
Синергетика учит видеть мир по-другому...  
Она демонстрирует нам, каким образом  
и почему хаос может выступать  
в качестве созидającego начала,  
конструктивного механизма эволюции,  
как из хаоса собственными силами  
может развиваться новая организация.  
Е.И. Князев, С.П. Курдюмов*

Вернадский в учении о биосфере предвосхитил многие открытия второй половины XX столетия. Задолго до создания общей теории систем и появления науки синергетики он, осуществив системный анализ огромного фактического материала из разных областей знаний, дал всестороннее описание биосферы как открытой, динамичной, неравновесной, нелинейной системы. В настоящее время воспринимать учение о биосфере мы должны с позиций современной общей теории систем и синергетики. Поэтому ниже кратко пояснены узловые моменты общей теории

систем и синергетики, которые использованы при изложении основ учения о биосфере.

Понятие "система" с середины XX века стало одним из ключевых понятий в науке и философии. Сейчас в самых разных исследованиях широко используются системный и системно-структурный подходы. Понятия "система", "системный и системно-структурный подходы" – это разработанные человеком методы анализа и обобщения результатов исследования. Это форма представления знаний о действительности. Конечная цель получения любых знаний – построение новой деятельности человека. Эффективность будущей деятельности зависит не только от полноты наших знаний, но и от того, в какой форме представлены большие массивы информации. Они должны быть наглядны и удобны для пользования.

Первые опыты применения системного подхода оказались весьма плодотворными. Поэтому, исходя из полученных результатов, начали строить общую теорию систем, которая к настоящему времени включает около 40 больших разделов. Общая теория систем успешно применяется в самых разных отраслях науки и техники, философии и культуре. Без нее не обходится ни одно серьезное научное исследование. Она широко используется при решении практических задач в самых разных сферах нашей жизни, в частности в экономике и социологии.

Синергетика – новое междисциплинарное научное направление системных исследований. Оно с конца XX века вошло во все традиционные сферы знаний: философию, физику, химию, биологию, психологию, геологию, географию, экономику, социологию. В этих науках стали изучать открытые, нелинейные, неравновесные системы. Но пальма первенства обобщения с этих позиций огромного фактического материала принадлежит В.И. Вернадскому.

## **Краткие сведения о системах**

*История изучения.* Развитие взглядов о системе имеет длинную историю: с античности и до наших дней. В переводе с грече-

ского языка слово **система** означает целое, составленное из частей. Это свидетельствует о том, что первое, что научились делать, – это выделять в некоторой целостности составляющие элементы. Примером может служить систематика живых организмов, предложенная в XVIII веке К. Линнеем. Примером также может быть наша Солнечная система, состоящая из Солнца и планет, обращающихся вокруг него. Со второй половины XIX века понятие системы все шире начинает применяться во многих естественных науках: в биологии (Ч. Дарвин и др.), физике (А. Эйнштейн и др.), геологии (В.В. Докучаев), кристаллографии (Е.С. Федоров).

Системные исследования объединяют в себе два направления – анализ и синтез (обобщение). В разное время отдавалось предпочтение одному из них. В древней Греции преобладало нерасчлененное знание: природа рассматривалась в общем, как единое целое. Связи между явлениями природы не анализировались, они созерцались. В Средние века, при преобладании метафизического способа мышления, анализ стал преобладать над синтезом. В те времена господствовало стремление расчленить природу на ее отдельные части и углубленно изучать каждую из этих частей, как бы разложить ее по отдельным полочкам. В частности все глубже исследовать внутреннее строение живых организмов, их анатомию и физиологию. Все это предопределило те исполинские успехи, которые были достигнуты в познании природы за последние четыреста лет. Но этот способ исследования, при котором все внимание уделяется анализу, привил исследователям привычку рассматривать тела и процессы вне их связи между собой, вне их изменчивости (в неподвижном состоянии, как вечно неизменные, не живые, а мертвые тела). Сами исследователи, которых тогда называли метафизиками, ощущали незавершенность аналитического знания, видели возможность и необходимость синтеза, но считали его деятельностью того ума, который не имеет отношения к природе. Именно против такого одностороннего применения аналитического способа познания действительности и восставал А. Гумбольдт (см. выше).

В начале XX века, как мы уже говорили, произошла смена научной картины мира. В результате начали все больше внимания уделять не только анализу, но и синтезу. Именно в это время

была сделана первая попытка создания общей теории систем. Ее предпринял наш соотечественник А.А. Богданов. По образованию он был медиком, но увлеченно занимался и философией, создал свою теорию эмпириомонизм, которую резко и совершенно необоснованно критиковал В.И. Ленин в своей работе "Материализм и эмпириокритицизм". Первый том книги А.А. Богданова "Тектология. Всеобщая организационная наука" вышел в 1911 г., а последний, третий том – в 1925 г. Слово "тектология" составное. На латинском языке *texo* означает сеть, ткань, т.е. целостность, состоящая из отдельных нитей, а *логос* – наука. В начале XX века его труд не был понят и оценен по достоинству. Это произошло потому, что у нас в стране он замалчивался, из-за критики В.И. Ленина. Спустя 70 лет, в 90-е годы XX века, работы А.А. Богданова привлекли к себе пристальное внимание. В 1995 г. в Университете Восточной Англии состоялась специальная международная конференция «Истоки и развитие организационной теории в России», посвященная тектологии Богданова. На конференции было подчеркнуто, что он был первым, кто утверждал подобие физических, биологических и социальных законов. В начале XX века такое утверждение было, мягко говоря, очень не привычным, а в нашей стране тот, кто высказал такую «ересь», мог жестоко поплатиться. Словом «Всеобщая» А.А. Богданов подчеркивал, что организационная наука одинаково пригодна для всех типов систем: неорганических, биологических, социальных. Его тектологию сейчас рассматривают как науку о самых общих системных законах. В системах А.А. Богданова в первую очередь интересовали связи между элементами, и он утверждал, что свойства системы зависят от ее структуры и связей.

Среди элементов системы он различал два типа: одни он называл управляющими, другие – управляемыми. Особое внимание он уделял анализу связи между управляющими и управляемыми элементами. А.А. Богданов первый ввел понятие "прямые и обратные связи" (см. ниже). Он был первым, кто рассматривал динамику систем под действием внутренних и внешних сил и перенес этот прием в обществоведение. А.А. Богданов ввел понятие "кризис" при изучении развития систем. Этим термином он обо-

значал быструю перестройку всей системы. Сейчас это явление называют термином «бифуркация» (см. ниже). Он первый подчеркнул роль моделирования и математики при решении задач, связанных с развитием систем. Сейчас это общепризнанный метод. А.А. Богданов был увлекающимся человеком. Он полагал, что всеобщая организационная наука – это альтернатива философии и в будущем она станет стержнем всех научных дисциплин и разумной деятельности. Но все это в тектологии разглядели только сейчас, а современники его работу не поняли.

После революции А.А. Богданов вошел в состав Коммунистической Академии, преподавал политическую экономию. Затем он создал и возглавил первый в мире Институт переливания крови, в котором начал проверять свою теорию применительно к кровеносной системе. Один из опытов, который он проводил на себе, закончился трагично, он погиб.

Вновь к созданию теории систем вернулись в середине XX века, когда возникла необходимость построения сложных технических систем, в основном военного назначения. Благодаря этому стали выделяться достаточно большие средства, а следовательно, появились и результаты. В 1948 г. вышла книга Н. Винера "Кибернетика". В ней основное внимание уделялось внутрисистемным связям. Это понятно, так как его работы были связаны с совершенствованием систем связи. Эта книга мгновенно стала бестселлером. Примерно в эти же годы общую теорию систем пытался создать австрийский биолог Л. Берталанфи. Как сейчас считают, он был достаточно хорошо знаком с работами А.А. Богданова, и они оказали на него определенное влияние. Основной труд Л. Берталанфи "Общая теория систем" вышел в 1950 г. В основу своих построений он положил структурное сходство законов строения различных научных дисциплин. Много нового Л. Берталанфи внес в познание открытых систем. Он изучал обмен системы со своей внешней средой веществом, энергией и информацией и показал, что в открытой системе устанавливается динамическое равновесие. Оно направлено вопреки второму закону термодинамики в сторону усложнения организации за счет ввода извне информации и энергии.

После работ Н. Винера и Л. Берталанфи во всем мире началось системное движение. В СССР создали Всесоюзный научно-исследовательский институт системных исследований. С 1968 г. в нашей стране начал издаваться ежегодный методологический сборник «Системные исследования». Так системный подход вошел в арсенал важнейших методов современной науки.

Дальнейшее развитие теории систем связано с исследованиями известного бельгийского ученого И.Р. Пригожина, лауреата Нобелевской премии 1977 г. Родился Илья Романович в Москве, в 1917 году. В младенческом возрасте эмигрировал вместе с родителями в Бельгию. С 1942 он преподавал в Брюссельском университете физику, а с 1962 г. – директор Международного института физики. Исследуя термодинамику неравновесных физических систем, И.Р. Пригожин понял, что обнаруженные закономерности самоорганизации могут быть распространены на системы любой природы, которым присущи свойства открытости и неравновесности. Его работы по открытым неравновесным нелинейным системам положили начало новой науки – синергетике (см. ниже). Сейчас понятия "система", "системный подход" и "синергетика" прочно вошли в современную науку.

Итак, понятие "система", появившись еще в античности, постепенно уточнялось, усложнялось и развилось в XX веке в современную общую теорию систем. В ней считается, что системой является все, что мы хотим рассматривать как систему, конечно, соблюдая определенные правила выделения систем (см. ниже).

*Выделение систем.* Исходный смысл термина "система" передается простым предложением: **"целое – составленное из частей"**. Наиболее краткое и выразительное определение дано В.Н. Садовским (1989, с. 610): "Система – совокупность элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которая образует определенную целостность, единство". Очень важно понять, что мы не можем назвать системой то, что выделено случайно, наугад. Представить какой-либо объект в виде **системы** значит:

- Определить, с какой целью мы выделяем систему.
- Установить границы системы и критерии их проведения.

– Выделить элементы системы ("первичные элементы" целого), которые рассматриваются на данном уровне анализа как "неделимые".

– Определить связи между элементами.

– Выяснить законы композиции, т. е. те условия, подчиняясь которым связи реализуются, а элементы объединяются в целостность.

Особо подчеркнем важность того, что выделение системы начинается с определения цели. Это **принципиально важно** потому, что изучать и описать совокупность элементов, представляющих единое целое, можно множеством способов. И для того чтобы из этого множества выбрать один-единственный, надо поставить цель, и тем самым четко, однозначно определить, что мы хотим получить в конкретном случае от применения системного подхода.

Как уже говорилось, существует множество систем, выделяемых для анализа действительности. Различают, классифицируют и описывают выделенные системы по трем группам признаков. Первая группа отражает особенности самих элементов, входящих в систему. По ним выделяют разные **виды систем**. Для определения второй группы признаков введем два дополнительных понятия. Условимся все, что лежит внутри границы системы, называть ее внутренней средой, а что вне ее границ – внешней средой. Вторая группа признаков описывает характер взаимоотношений внутренней среды системы с ее внешней средой, что служит основанием для выделения **типов систем**. Третья группа признаков отражает характер связей между элементами. Различия в характере взаимосвязей между элементами называют **свойствами систем**.

**Виды систем.** Элементы, входящие в систему, могут различаться по разным признакам. Рассмотрим из множества признаков элементов только те, которые нам потребуются в дальнейшем. Системы называются **однородными**, если входящие в них элементы однородные. Мрамор состоит из однородных кристаллов кальцита; популяция состоит из особей одного вида (если исследуем ее на уровне организмов). Системы называются **разнородными**, если входящие в них элементы разнородны, например

гранит, в котором есть набор самых разных минералов. Разнородна экосистема, состоящая из разных видов, и почва, состоящая из различных минералов, разных беспозвоночных животных, микроорганизмов и продуктов их жизнедеятельности.

В зависимости от вещества элементов однородные и разнообразные системы могут быть неорганическими, биологическими и комплексными. К **неорганическим системам** относятся те, у которых элементы, входящие в их состав, сложены неорганическим веществом. Пример – любая магматическая горная порода. Системы могут быть **биологическим**, если в качестве ее элементов выступают живые организмы. Примером таких систем является вид, популяция, экосистема и т.д. Системы могут быть **комплексными**, если в их состав входят в качестве элементов как живые организмы, так и неорганические тела. Пример – почва, ландшафт, биосфера. Системы могут быть **природными**, если в них в качестве элементов входят естественные тела; или же **искусственными**, если в них в качестве элементов входят тела, созданные человеком (паровоз, автомобиль, электроутюг и т.д.). Системы могут быть простыми и сложными. Если элементы системы не могут быть в свою очередь представлены в виде системы, то такие системы называют **простыми**. Многие искусственные системы являются простыми.

**Сложные системы** имеют иерархическую структуру, при которой элементы первого уровня могут быть в свою очередь представлены как системы, состоящие из более мелких элементов, а последние – опять как системы и так далее. Примером сложной иерархической системы может служить горная порода, которая состоит из минералов, а те в свою очередь из молекул, молекулы – из химических элементов. Как правило, все природные системы имеют сложное иерархическое строение. В сложных системах, которым свойственна иерархическая структура, различают уровни организации, т.е. сколько раз мы применили процедуру представления элементов в качестве систем. В примере с горной породой – три уровня организации. Для живых организмов пример такой иерархичности приводит И.И. Шмальгаузен (1968).

Вот как он описывает структурные уровни живого вещества (снизу вверх): "Простейшей живой системой является клетка..., наиболее высокоорганизованную и целостную (интегрированную) систему представляет собой отдельная особь... Сами особи объединяются между собой в различные системы, называемые населением или популяцией... Популяции разных видов объединяются в систему, называемую биоценозом".

В системах, имеющих сложную иерархическую структуру, действует правило несводимости и возникновения. Для его иллюстрации рассмотрим системность знаний в иерархии наук и живых организмах:

- экология,
- биология организмов,
- химия,
- физика.

В этой иерархии наук каждая из них в определенном смысле представляет собой частный случай находящейся ниже. Поэтому любое утверждение для каждой из этих наук "истинное" или "имеющее смысл" истинно и имеет смысл для тех, что находятся в списке выше. Все, что внизу, – верно для верха, тогда как для вышестоящих наук могут быть и свои законы, которые не проявляются на более низких уровнях. Особенно ярко проявилась системность подхода к научному знанию при развитии такой биологической науки, как экология, которая дала мощный импульс не только биологии в целом, но и общей теории систем.

Обычно в сложных системах выделяют до 5 – 7 уровней организации. Почему именно 5 – 7? Это объясняется возможностями мыслительной деятельности человека. Наш мозг устроен так, что он может одновременно оперировать не более чем 5 – 7 элементами. Уровни организации можно представить себе в виде полочек этажерки, на которые раскладывается поступающая в мозг информация. Число полочек колеблется от 2 – 3 до 5 – 7, в зависимости от степени развитости и тренированности мозга индивида.

*Типы систем.* По характеру взаимодействия между внутренней и внешней средами различают системы закрытые, открытые, открытые полуизолированные. У **закрытых систем** внутренняя

среда полностью изолирована от внешней. Между ними нет никаких взаимодействий. Обычно многие искусственные системы являются практически закрытыми. Но сразу необходимо оговориться, что полностью закрытых систем в реальной действительности не существует. Понятие "закрытая система" было введено в классическом естествознании как методический прием, облегчающий изучение объекта. В частности при изучении законов, которым подчиняются газы. Вспомните из школьного курса физики: «Представим газ идеальным, т.е. его молекулы не соударяются со стенками сосуда и не происходит передачи энергии во вне». Реально нет ни такого газа, ни такого сосуда. Этот методический прием идеализации оказался очень плодотворным для развития классического естествознания: он помог понять основные закономерности, на которых построены такие науки, как математика, классическая термодинамика, физическая химия и т.д. Физики считают, что даже Вселенную можно представить в виде закрытой системы. Но с позиций новой научной картины мира, которая пришла на смену классическому естествознанию, вопрос, является ли Вселенная закрытой системой, не решен однозначно.

У **открытых систем** существует взаимодействие между внутренней и внешней средой, в процессе которого происходит обмен энергией, веществом или информацией. Природные системы, как правило, относятся к открытым. В частности к ним относятся все биологические, а также и наша биосфера, поскольку она получает потоки солнечной энергии космического вещества и сама, в свою очередь, отдает в космическое пространство ряд легких газов, а также излучает тепловые волны. Иногда говорят о **полузамкнутых системах**, когда хотят подчеркнуть некоторую изолированность открытых систем от внешней среды. Биосфера, скорее всего, относится к полузамкнутым системам, она в определенной степени изолирована от влияния Космоса (см. ниже).

**Свойства системы.** Они определяются характером взаимосвязей между ее элементами. Такое свойство, как **управляемость**, проявляется при наличии корректировки взаимодействий между элементами. Управление – это есть переработка информации в сигналы, которые корректируют взаимодействия между

элементами для того, чтобы поставленная цель была достигнута. По характеру взаимодействий среди элементов системы различают *управляющие* и *управляемые* элементы. Связь управляющих элементов с управляемыми называют *прямой связью*. А связь управляемых элементов с управляющими – *обратной связью*.

Когда лектор читает лекцию, то осуществляется прямая связь между ним и слушателями. Когда лектору слушатель задает вопрос, то между ними возникает обратная связь.

Систему называют *устойчивой*, если характер связей между ее элементами не претерпевает существенных изменений при внутренних и внешних воздействиях. Систему называют *неустойчивой*, если характер связей между ее элементами изменяется под влиянием внешних или внутренних воздействий. Вообще для каждой системы есть свой *порог устойчивости*, т. е. тот предел, до которого она может гасить внутренние и внешние воздействия, не меняя характера сложившихся связей. Когда же этот порог устойчивости перейден, то систем скачкообразно переходит в новое состояние. (В биологии порогу устойчивости отвечает понятие *гомеостаза*). Такие скачкообразные изменения состояния системы наиболее наглядны при фазовых переходах. Вам хорошо знакомы фазовые переходы из одного агрегатного состояния вещества в другое, к примеру, из жидкости в газ (вода и пар) или из твердого тела в жидкость (лед – вода). Для осуществления таких фазовых переходов необходимо затратить некоторую энергию (например, для таяния льда). Когда же переход произошел, то его результаты сохраняются при определенных условиях, и дальнейший приток энергии уже не нужен. Такие фазовые переходы из одного устойчивого состояния в другое совершаются при наличии термодинамического равновесия и называются *равновесными*. Существуют еще и *неравновесные фазовые переходы*. От равновесных они отличаются тем, что новое состояние достижимо и устойчиво только при **постоянном подводе извне энергии**. Это объясняется тем, что в неравновесных системах происходит постоянное рассеяние (диссипация) энергии. В природе широко развиты именно *неустойчивые неравновесные системы*. К примеру, живые организмы (любое растение, животное или человек)

представляют собой пример разнородной, открытой, неравновесной химической системы, которая находится в неустойчивом равновесии. Эта неустойчивость наиболее ярко проявляется в момент смерти. К таким системам относится и наша биосфера. Для исследования этих открытых неустойчивых неравновесных систем в конце XX века была создана специальная наука – синергетика (см. ниже).

## Краткие сведения о синергетике

Это новое направление в науке появилось в последней четверти XX века. В переводе с греческого языка *синергетика* означает *совместно действующие*. Это наука о совместных действиях элементов в открытых неравновесных и нелинейных системах, об эволюции таких систем.

*Зарождение и развитие синергетики.* Человечество всегда интересовало, как и в результате чего появляются новые природные тела? Как возникает любая природная система? Путь к этому пониманию был извилист и долог. Начало его теряется в глубинах истории человечества. На протяжении многих столетий человечество овладевало умением находить разницу между объектами биосферы, выявлять и описывать их характерные черты и особенности. Такая инвентаризация и положила начало всем естественным наукам.

Первыми в поле зрения исследователей попали крупные тела, которые окружают нас со всех сторон. Около 300 лет тому назад И. Ньютон впервые для описания взаимодействия природных макротел применил математические модели в виде системы дифференциальных уравнений. С его работ начался тот период в развитии науки, который получил название классического. Математические модели, созданные классической наукой, хорошо выражали закономерности развития ряда сторон окружающего нас мира и помогали прогнозировать будущие состояния, исходя из знания тенденций прошлых изменений. Переменные величины, которые входили в состав этих уравнений, были, как правило, в первой степени. На графиках, построенных на основании реше-

ния таких уравнений, закономерности выглядели в виде прямых линий. Откуда и пошло название уравнений – линейные. Физический смысл взаимодействий при развитии явлений, которое описывается системой линейных уравнений, заключается в следующем. Каждое приращение независимой переменной вызывает адекватное увеличение (или уменьшение) зависимой переменной. К примеру, чем большей величины сила прилагается к телу, тем большее ускорение это тело получит. Математические модели классической физики, знакомые со школы, достаточно хорошо описывают поведение макроэлементов в определенном типе систем, названных стационарными (постоянными). Пример – ход маятника механических часов. В окружающем нас мире много таких стационарных систем.

В классическом естествознании один из разделов физики называется термодинамикой. В нем исследуют закономерности теплового движения и влияние теплового движения на свойства тел. Развитию этой науки способствовала удачно найденная модель для изучения – закрытый сосуд, наполненный каким-то газом. В идеальном виде эту модель можно представить в виде закрытой системы. Развитию термодинамики способствовало и то, что полученные в ней результаты имели большое практическое значение для совершенствования паровых машин и двигателей внутреннего сгорания.

В результате этих исследований в XIX веке были сформулированы два основных закона (начала термодинамики). Первый гласит, что энергия не рождается и не исчезает, а только переходит из одной формы в другую. «Энергия мира постоянна», как утверждал Р. Клаузиус. Второе начало термодинамики рассматривает, как осуществляется переход энергии. Многочисленные опыты показали, что не вся внутренняя энергия замкнутой системы может быть использована (не вся она может перейти в механическую работу). Ту часть внутренней энергии замкнутой системы, которая не может быть использована, называли энтропией. (В переходе с греческого языка энтропия означает поворот, превращение). Второе начало термодинамики гласит: в замкнутых системах при необратимых процессах энтропия возрастает, а при обратимых – остается неизменной. «Энтропия мира стремится к

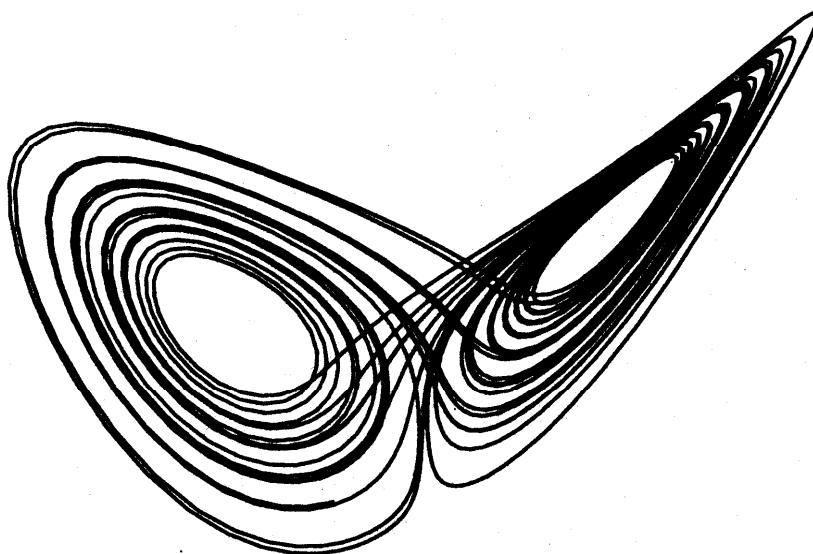
максимуму» (Р. Клаузиус). Процесс рассеивания («потери» полезной энергии) называли диссипацией (на латинском языке диссипация означает рассеивание). Стремление к более хаотическому состоянию закрытых систем И.Р. Пригожин определил так: «Законы природы разрешает только смерть» (Пригожин и др., 1986).

Когда открывают новые законы, то их действие всегда стремятся распространить далеко за пределы проведенных экспериментов. Так было и с началами термодинамики. Считая нашу Вселенную закрытой системой, начали говорить, что энтропия в ней возрастает, а по сему ей угрожает так называемая «тепловая смерть», поскольку из-за диссипации не останется энергии для совершения полезной работы. Долгое время считали, что вся природа живет по законам классической науки. Но системы, которые были исследованы классическим естествознанием, представлялись закрытыми лишь умозрительно. В реальном мире закрытых систем не существует. До сих пор не решен вопрос, является ли Вселенная закрытой системой.

В начале XX века наука проникла в мир атомов и микрочастиц. Очень быстро выяснилось, что математические модели классической физики не подходят для описания взаимодействия микрочастиц. Потребовалось разработать новый математический аппарат, который был создан на основании теории вероятностей и новых подходов квантовой физики. Это пришлось сделать потому, что исследования в микромире показали: поведение в нем частиц при их взаимодействии не строго определено, а подчиняется вероятностным законам, из-за того, что эти частицы находятся под влиянием множества случайных факторов. Поэтому будущее поведение микрочастиц можно определить только с определенной степенью вероятности.

С 20-х годов XX столетия стала бурно развиваться неклассическая квантовая физика микромира и отдельные разделы химии, основанные на новых, вероятностных математических моделях. Среди уравнений, входящих в эти математические модели, появились и так называемые нелинейные. Они названы так потому, что в уравнениях переменные величины стали иметь разные степенные показатели, отличные от 1. На графиках решения этих

нелинейных дифференциальных уравнений выглядели в виде сложных кривых линий (рис. 3.1). Физический смысл таких нелинейных уравнений заключается в том, что они описывают взаимодействия, при которых очень малые изменения независимых переменных могут приводить к весьма значительному конечному эффекту, и наоборот – очень большие изменения к мизерному результату.



*Рис. 3.1. Аттрактор Лоренца (Кроновер, 2000)*

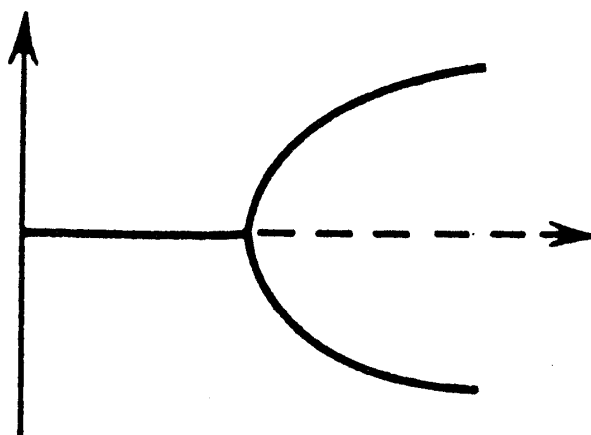
Экспериментальная модель Бака и Чена (Bak, Chen) – конические кучи сухого песка. Падение единственной песчинки на песчаный конус, находящийся в критическом состоянии, может вызвать обвал, катастрофу. В критическом состоянии падение отдельных скатывающихся песчинок, фиксируемое в эксперименте как «шум мерцания», оказывается предвестником катастрофы; можно выявить подобные предвестники природных и социальных катастроф. Кучи песка, по словам авторов, это не просто экспериментальная модель, это новый взгляд на мир, метафора кооперативного поведения многих частиц, неустойчивого равновесия, непредсказуемости. Это холистическая концепция: глобальные характеристики и эволюцию системы нельзя понять, анализируя составляющие ее части.

Или другой пример такого нелинейного процесса – снежная лавина, залегающая на вершине гор. Достаточно очень небольшого усилия (сотрясения воздуха, вызванного громким криком), чтобы огромная масса снега пришла в движение, сметая все на своем пути.

Одновременно появление упорядоченных в пространстве и времени структур в открытых нелинейных системах (спонтанное возникновение порядка из хаоса), изучалось в Бельгии физиком и философом русского происхождения Ильей Пригожиным. Выяснилось, что эволюция открытых неравновесных систем включает две фазы. Первая – фаза детерминированного развития, в этот период можно предсказать поведение системы, так как она сохраняет свой гомеостаз, остается целостной. Случайные внешние воздействия на нее в этот период переживаются как несущественные. Со временем внутренние и внешние воздействия на систему приводят ее в состояние повышенной хаотизации, возникают флуктуации, зашкаливание значений за пределы гомеостаза. Отдельные флуктуации или их сочетания, усиливаясь, вызывают разрушение прежнего состояния системы. В этом состоянии возможна вторая фаза – точка бифуркации. Система становится непредсказуемой, нелинейной. Термин «*бифуркация*» (раздвоение, образование вилки) означает качественную перестройку систем, изменение параметров (рис. 3.2). Случайные воздействия в момент перелома (в точке бифуркации) могут подтолкнуть систему на новый путь развития. После выбора одного из возможных путей развитие системы становится предсказуемым до следующей точки бифуркации. Так случайность и необходимость дополняют друг друга.

Система имеет одно решение, одно значение в каждой точке – до точки бифуркации (первая фаза), после чего появляется выбор между двумя возможными решениями (вторая фаза – бифуркация). В точке бифуркации у системы появляется «выбор», в котором неизбежно присутствует элемент случайности: невозможно предсказать выбор траектории ее дальнейшей эволюции. Каскад следующих одна за другой бифуркаций существенно изменяет саму систему. Вероятность обратного хода событий крайне низка, эволюция системы становится необратимой. Необратимость, однонаправленность процессов эволюции и онтогенеза хорошо известна биологам. Возникает новая интерпретация второго закона термодинамики: энтропия – не просто безостановочное соскальзывание к однородному состоянию, лишенному орга-

низации; энтропия может порождать порядок (Пригожин, Стенгерс, 1986). В неравновесных условиях вблизи точки бифуркации система очень чувствительна к внешним воздействиям, и малое по силе внешнее воздействие может вызвать значительный отклик, неожиданный эффект. В математике этот эффект известен как “эффект крыла бабочки”.



**Рис. 3.2. Графическое представление бифуркации**

Суть идеи прекрасно раскрыта в рассказе Рея Брэдбери "И грянул гром". Одна из компаний устраивает с помощью машины времени для своих клиентов сафари – охоту на доисторических животных. Компания тщательно выбирает животных для отстрела и специальные маршруты передвижения охотников, чтобы происшедшее практически не имело последствий. Однако, по случайности, герой рассказа во время неудачной охоты сошел с маршрута и раздавил золотистую бабочку. Возвратившись в свое время, он осознает, как драматически повлияла судьба бабочки на дальнейший ход событий. Неуловимо изменился химический состав воздуха, оттенки цветов, изменились правила правописания и, наконец, результаты последних выборов. К власти пришел режим, жестоко расправившийся со своими противниками. В свой последний миг герой рассказа понимает – гибель бабочки нарушила хрупкое равновесие.

Возможность предсказаний считалась одной из основных целей науки. Полагали, что сбор и обработка достаточно большого объема информации может обеспечить точность долгосрочного прогнозирования погоды. Теперь представление об однозначной детерминированности сменилось пониманием принципиальной непредсказуемости поведения многих систем на достаточно

большом отрезке времени, выяснились ограничения прогностических моделей, предсказуемая непредсказуемость динамики поведения сложных систем. Прогноз возможен на уровне вероятности события. При наличии нескольких вариантов путей развития системы, в соответствии с решением нелинейных дифференциальных уравнений состояния, у нее есть приоритетные пути развития, зависящие от свойств надсистем, названных аттракторами. **Аттрактор** – понятие, близкое к понятию цель. Относительно устойчивое состояние системы как бы притягивает все множество траекторий движения системы. Если система попадает в конус аттрактора, то она неизбежно эволюционирует к этому относительно устойчивому состоянию. Аттрактором может оказаться точка, предельный цикл или хаотический "аттрактор". На рис. 3.1 как раз изображен такой хаотический – "странный аттрактор" американского метеоролога Э. Лоренца. Он осуществил в компьютерном моделировании решение системы дифференциальных уравнений термоконвекции и турбулентности в атмосфере. Странные аттракторы структурированы и могут иметь весьма сложные и необычные конфигурации в трехмерном пространстве. Прогноз, построенный по ним, отвечает более реальным событиям.

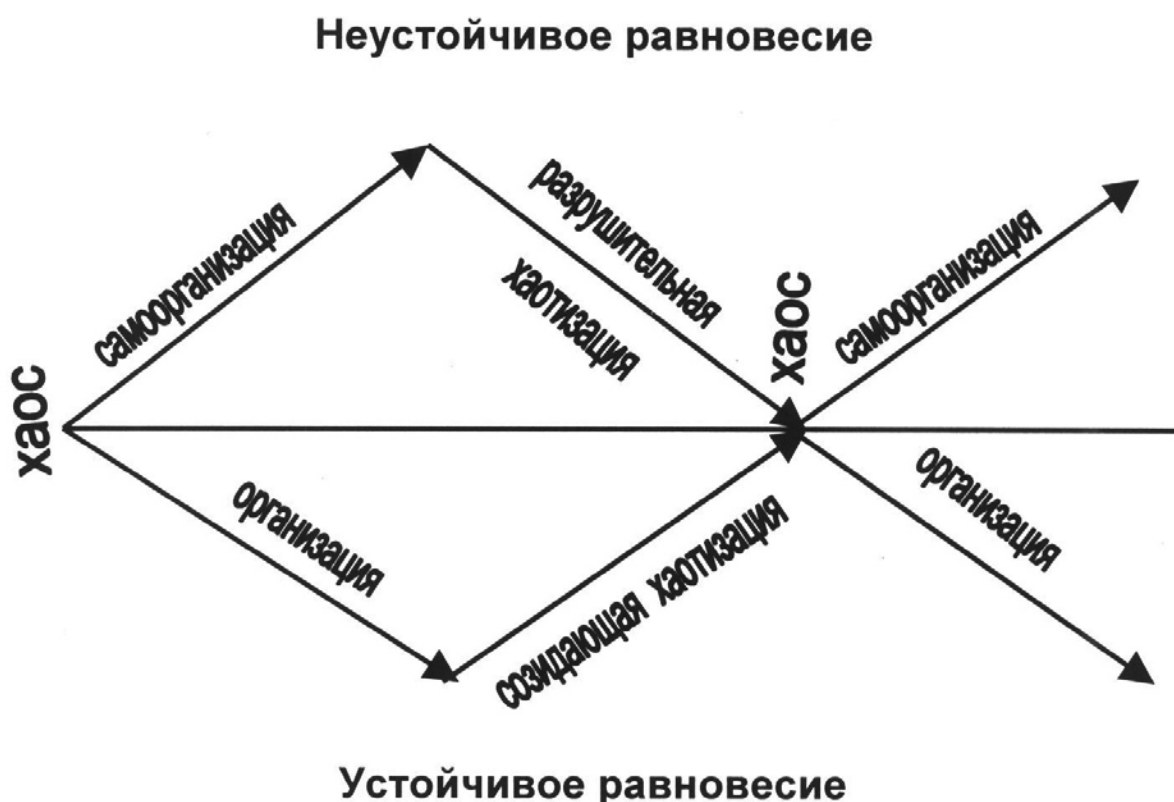
Экскурс в изучение микромира с помощью вероятностных математических моделей показывает, насколько сложен и трудоемок процесс его исследования. Особенно дорогостоящи эксперименты, которые требуют сложнейшего оборудования. Однако благодаря применению этого подхода к изучению микромира человечество узнало, что в природе существуют совершенно новые типы природных систем – **открытые нелинейные неравновесные системы**, о которых классическая наука не имела никаких представлений. Это был колоссальный прорыв в неведанное.

Началось интенсивное исследование этого нового типа систем, особенно в физике и химии. В физике – при изучении процессов в газах, строения атомов, плазмы, термоядерного синтеза и т.д. В химии – процессов катализа, эволюционной химии и т.д. Это был период развития так называемой неклассической науки, охвативший весь XX век. В физике и химии появлялись совершенно новые области исследований, совершенствовались новые

методы математического моделирования. В результате к концу XX века были достаточно подробно исследованы открытые нелинейные системы, особенно неравновесные. Для их описания был предложен ряд новых понятий. Ниже поясним только некоторые из них, без которых нельзя понять суть различий между процессами, совершающимися в биосфере. Самое главное – был установлен новый тип систем, не известный классической науке: открытые нелинейные неравновесные системы. Исследование таких систем сродни искусству: для того чтобы выявить свойства этих систем, понять их сущность, нужно было умело расположить «места малых уколов» и точно определить силу воздействия. Как всегда бывает в науке при появлении нового перспективного направления, начался бум исследований, синергетический бум, сопровождаемый шквалом публикаций. Он не прошел до сих пор.

*Основные результаты, полученные синергетикой.* Самое главное достижение синергетики: она выявила свойства совершенно нового типа природных систем (открытых, нелинейных, неравновесных систем), которые ускользали из поля зрения классической науки. Предельно кратко синергетикой выявлено следующее.

1. Открытым нелинейным неравновесным системам свойственно три принципиально разных состояния. Первое состояние было названо **хаосом**, и для него характерно отсутствие упорядоченности, поскольку связи между элементами рвутся. Хаосу свойственно непредсказуемое поведение элементов системы. Два других состояния, на которые может выйти открытая нелинейная неравновесная система, находящаяся в хаосе, были названы соответственно **состояние равновесной упорядоченности** и **состояние неравновесной упорядоченности** (рис. 3.3).



**Рис. 3.3. Принципиальная схема развития открытых нелинейных неравновесных систем (по А.П. Руденко, 2000)**

2. Процесс перехода от хаоса к равновесной упорядоченности назвали **организацией**, а процесс перехода от хаоса к неравновесной упорядоченности – **самоорганизацией**. Организация и самоорганизация – два принципиально разных процесса, имеющие единое начало (хаос), но приводящие к двум принципиально разным результатам. Сущность самоорганизации в том, что структура системы возникает без внешнего давления (какого-либо влияния со стороны). При организации осуществляется внешнее воздействие. Организация преобразует хаос в состояние равновесной упорядоченности, что свойственно стационарным системам. Самоорганизация преобразует хаос в состояние неравновесной упорядоченности. Момент перехода от хаоса к самоорганизации назвали точкой бифуркации. От этих двух новых состояний открытая нелинейная система может снова перейти

ти к хаосу (рис. 3.3). Процесс перехода от равновесной упорядоченности к хаосу называли *созидательной хаотизацией*. Эпитет «созидательная» подчеркивает, что после хаотизации может начаться процесс самоорганизации, а это открывает новые возможности в будущем. Процесс перехода от неравновесной упорядоченности к хаосу называли *разрушительной хаотизацией*, приводящей к распаду возникших при самоорганизации неоднородностей (переход от конструктивной работы к хаосу). При процессах самоорганизации в системе развиты *нелинейные положительные обратные связи*, которые усиливают воздействие управляющего элемента и удаляют систему от состояния равновесия, увеличивают темп ее развития, ускоряют синтез сложного. При этом в системе накапливается потенциальная энергия (**энтропия сокращается**). Устанавливается *режим  $LS$* , для которого характерен рост потенциальной энергии (в частности увеличение  $t^0$ ), усиление интенсивности процесса, сдвигание его от точки равновесия, усложнение неоднородностей. Имеет место и развитие *режимов с обострением*, т.е. сверхбыстрых процессов, при которых характерные величины (например, температура, энергия, концентрации чего-либо – веществ или энергии) неограниченно возрастают в течение конечного времени (за время обострения). При процессах организации в системе преобладают *нелинейные отрицательные обратные связи*, уменьшающие воздействие управляющего элемента. Это придает системе устойчивость, постоянство, стабильность, выводит ее на стационарный режим развития. Происходит рассеяние энергии, **энтропия возрастает**. Устанавливается *режим  $HS$* , для которого характерно рассеяние энергии (падение  $t^0$ ), снижение интенсивности процесса, неоднородности начинают объединяться (по старым следам, «по памяти»), и система из сложной вырождается в простую, но равновесную, устойчивую.

3. Самое интересное, что при процессах самоорганизации возникают новые относительно устойчивые неоднородности (структуры как элементы новых систем). Они неизбежно появляются при эволюции открытых нелинейных неравновесных систем, когда у них устанавливается режим с обострением, режим  *$LS$*  вследствие развития положительных обратных связей. Был

выявлен механизм формирования этих новообразованных неоднородностей (структур, элементов). Как было установлено, в основе их возникновения лежит принцип кооперации тех самых частиц, которые находились в состоянии хаоса. Способы объединения частиц при кооперировании не произвольны, а зависят от нелинейных свойств самих частиц и среды (системы и ее окружения). В основе кооперации лежит **перекрывание** каких-то **сродственных участков**. Так, при объединении атомов в молекулы происходит перекрывание их электронных оболочек. Это перекрывание может иметь разную пространственную конфигурацию, как говорят, разную стереометрию. В результате получаются разные молекулы с разными свойствами. К примеру, графит и алмаз (в основе и того и другого лежат атомы углерода, но пространственное перекрывание одних и тех же атомов у графита и алмаза разное). Перекрываться могут и места локализации тепловых структур у кооперируемых элементов. Примером может быть ячеистая структура, которая образуется в жидкости при наличии конвективных токов между двумя горизонтальными пластинами, когда нижняя нагрета сильнее верхней. Пока разность температур двух плоскостей мала, движущиеся частицы жидкости распределены хаотично. Однако при определенной разности температур возникает ячеистая структура, напоминающая пчелиные соты. Эта возникшая ячеистая структура называется неустойчивостью Бернара. Произошло невероятное – вопреки второму закону термодинамики тепловое, хаотичное движение молекул привело не к рассеиванию энергии, а к работе. В результате этой работы возникла новая структура, более сложная по сравнению с предшествующим состоянием. Существование таких диссипативных структур поддерживается только благодаря достаточному притоку энергии извне, т.е. оно возможно только в открытых системах. В общественных системах при кооперировании личностей в различные сообщества перекрывания охватывают либо их интересы, либо те или иные потребности и т. д.

4. Установлены два пути возникновения новых структур. Первый путь – это путь случайных вариаций кооперирования индивидуальных элементов при жесткой конкуренции возникающих структур между собой. Конкуренция и отбор идет по прин-

ципу экономии вещества и энергии, а также ускорения эволюции появившихся неоднородностей. Выживают из них только самые экономные и способные к ускоренной эволюции. Этим как бы задается цель саморазвития: потребляй меньше, изменяйся (эволюционируй) быстрее. Второй путь, когда кооперирование идет не индивидуально, а за счет кооперирования сразу ряда множеств индивидуальных элементов, упорядоченных определенным образом. Этот путь был назван матричным дублированием (строительством по образцу). Именно так составлена генетическая программа у живых организмов. Он еще именуется **резонансным возбуждением**. Это самый быстрый переход от простого к сложному. Конечно, и на этом пути тоже идет конкуренция и жесточайший отбор. Примером может быть каталитический процесс в химии, при котором поверхность кристалла катализатора помогает расположить атомы в определенном порядке и тем самым убыстрить процесс. Или же механизм штамповки типа редупликации ДНК, действующий в живых организмах. Н.А. Бульенков (1991) считает, что структура воды лежит в основе конфигурации многих сложных форм у живых и неживых тел.

5. В реальных открытых нелинейных неравновесных системах одновременно сосуществуют как нелинейные положительные обратные связи, так и нелинейные отрицательные обратные связи. Поэтому в этих системах присутствуют элементы как организации, так и самоорганизации. При явном преобладании организации открытая нелинейная неравновесная система вырождается в стационарную, для которой свойственен процесс развития. При преобладании элементов самоорганизации в открытой нелинейной неравновесной системе начинается процесс саморазвития.

6. Эволюция открытой нелинейной неравновесной системы идет непрерывно-прерывисто: от одного состояния хаоса до другого (см. рис. 3.3). Точку перехода от хаоса к той или иной упорядоченности называют точкой бифуркации. На самом деле это не точка, а очень короткий промежуток времени, в котором влияние случайных факторов на выбор пути развития чрезвычайно велик. Поэтому нельзя предсказать, спрогнозировать, как будет эволюционировать система после точки бифуркации.

7. В трактовке физической сущности феномена саморазвития еще нет единого мнения. Существует два подхода: первый высказал И. Пригожин, второй позднее А.П. Руденко (табл. 3.1). Подход А.П. Руденко (2000) нам представляется более эвристичным.

8. В настоящее время установлено, что открытые нелинейные неравновесные системы присущи не только микромиру, но они широко распространены в окружающем нас мире. Они свойственны и неживой природе, и живому веществу во всех его проявлениях, в том числе и экономической и социальной сферам жизни общества. Просто долгое время их не замечали. После того, как они были открыты и исследованы на объектах микромира, пелена с наших глаз спала: мы увидели окружающий нас мир совершенно по-новому, и по-новому стали его воспринимать. **Самое главное – благодаря результатам, уже полученным синергетикой, поняли, что весь окружающий нас мир един, он построен на одних и тех же основаниях и принципах.** Отпала необходимость возводить барьер между законами, по которым эволюционирует природа, и законами, по которым живет общество. Во времена господства классической науки интуитивно чувствовали, что общество развивается не по законам классической науки, но по каким – не знали. Теперь известно, что законы классической науки – это всего лишь небольшой частный случай в окружающей нас действительности, а вся она представляет собой открытую нелинейную систему, находящуюся в неустойчивом равновесии.

Таблица 3.1

**Сравнение подходов к трактовке  
физической сущности феномена саморазвития**  
(составлена по данным работы А.П. Руденко, 2000)

Параметры	И. Пригожин (1985)	А.П.Руденко (2000)
Конструктивная роль в возникновении саморазвития	Необратимость	Условие неравновесности
Причина	Диссипация	Внутренняя полезная работа против равнове-

		сия
Движущая сила	Отрицательная энтропия, поступающая в систему из внешней среды	Часть потока свободной энергии обменного процесса с внешней средой

9. Синергетика представляет собой новое междисциплинарное направление современной науки. Оно стало быстро охватывать все традиционные сферы знания: философию, физику, химию, биологию, психологию, геологию, географию, экономику, социологию. Наместились два основных направления, по которым стали применять новые знания, полученные синергетикой.

**Первое направление** связано с применением вероятностных нелинейных математических моделей при исследованиях в самых разных областях знаний: в биологии, геологии, геохимии, экономике, социологии. При этом проявилась одна любопытная закономерность – эти новые для себя и синергетики области стали осваивать в основном физики и химики. С новыми методами они вторгаются в сферу экономики и социологии. Это происходит потому, что именно они владеют методами построения и исследования математических моделей, используемых неклассической физикой и химией. Причина такого положения кроется в большой инерционности и консервативности нашей системы образования. В учебных планах и программах многих специальностей предусмотрено только изучение таких разделов высшей математики, как дифференциальное и интегральное исчисление (только математических методов классической науки). А то, что необходимо для построения математических моделей открытых нелинейных неравновесных систем, не входит в учебные планы и программы всех специальностей, за исключением физико-математических и химических.

**Второе направление** предусматривает применение нового понятийного аппарата, полученного синергетикой, для осмысления явлений конкретных областей исследований, будь то психология, экономика, социология, геохимия, биология и т.д. Такое приложение данных синергетикой помогает понять многие явления, проникнуть в их сущность, найти интересные пути эффек-

тивного применения конкретных естественнонаучных и общественных знаний в практической деятельности. Ниже будут указаны некоторые возможности этого подхода к пониманию того феномена, который мы именуем биосфера.

\* \* \*

Итак, краткое рассмотрение понятия "система" показало, что оно есть не что иное, как специфический способ организации наших знаний о реальности. Мы познакомились с правилами выделения систем, особо отметили, что, когда приступают к выделению системы, в первую очередь важно четко определить цель, которая преследуется при ее установлении, определить границы системы и критерии их проведения, выяснить взаимодействие системы с ее внешней средой, выделить внутри нее элементы и выяснить характер связи между ними.

Было показано, как постепенно шло понимание свойств отдельных систем из того великого множества, можно сказать, созвездия самых разных систем, которое окружает нас в реальной действительности. Вначале познавали свойства самых простых линейных стационарных систем, затем постепенно открывались свойства все более сложных природных систем. К концу XX века выяснили и свойства открытых нелинейных неравновесных систем. Стало ясно, что в природе, наряду с процессом развития, существует и саморазвитие, в результате которого возникают новые, все более сложные элементы, дающие начало новым системам. Так стали постигать механизм саморазвития, существующий в Природе. При изложении основ учения о биосфере будем придерживаться системной организации научных знаний, изложенной выше.

## **Семинар 3.1**

### **Вопросы к контрольной работе**

#### **1. Правила выделения систем (пять пунктов)**

2. Объясните название работы А.А. Богданова «Тектология. Всеобщая организационная наука».

3. Для каких систем Л. Берталанти создал свою теорию, каково название его основного труда?

4. Каковы заслуги И.Р. Пригожина в создании общей теории систем?

5. Дайте определение системы по В.Н. Садовскому.

6. Приведите пример неорганической однородной системы.

7. Приведите пример биологической однородной системы.

8. Приведите пример неорганической разнородной системы.

9. Приведите пример биологической разнородной системы.

10. Что такое сложная система?

11. Поясните правило несводимости и возникновения в сложных системах.

12. Дайте определение закрытой системы.

13. Дайте определение открытой системы.

14. По какому принципу выделяют управляемые и управляющие элементы в сложных системах?

15. Раскройте понятие порога устойчивости.

16. Чем характеризуются равновесные фазовые переходы?

17. Чем характеризуются неравновесные фазовые переходы?

### **Самостоятельная работа**

По группам (5 – 6 человек) представьте какую – либо систему как объект системных исследований.

### **Вопросы для обсуждения**

Проанализируйте свой пример по схеме:

1. Виды систем.

2. Типы систем.

3. Свойства систем.

## **Семинар 3.2**

**Темы для самостоятельной работы в группах (обсуждение на семинаре)**

1. Второй закон термодинамики, возрастание энтропии в закрытых системах.
2. Прямые и обратные, положительные и отрицательные связи в неравновесных открытых системах.
3. Что представляют собой диссипативные структуры по И.Р. Пригожину? Где и при каких условиях они возникают?
4. Понятие хаоса в синергетике. Роль конструктивной случайности.
5. Механизмы организации и самоорганизации, присущие неравновесным открытым системам. Как вы понимаете суть организации и самоорганизации в разных видах систем?
6. Самоорганизация в живых системах. Уменьшение энтропии при эволюции живых систем.
7. Синергетика – новое направление междисциплинарного синтеза. Основные моменты самоорганизации неравновесных открытых систем в химии, физике, биологии, обществоведении.

### **Литература**

Алексеев Г.Н., 1985; Абалкин Л.И., 1995; Агошкова Е.Б., Ахлибинский Б.В., 1998; Горелов А.А., 1997; 1999; Заварзин Г.А., 1999; Князев Е.Н., Курдюмов С.П., 1994; Маргалев Р., 1992; Моисеев Н.Н., 1995; Николас Г., Пригожин И., 1979; Руденко А.П., 2000; Синергетическая парадигма: многообразие поисков и подходов, 2000.

## 4. Выделение биосферы как сложной природной системы

*Я ясно стал осознавать, что мне суждено  
сказать человечеству новое  
в том учении о живом веществе,  
которое я создаю, и что это  
мое призвание, моя обязанность,  
наложенная на меня, которую я должен  
проводить в жизнь, – как пророк,  
чувствующий внутри себя голос,  
призывающий к деятельности.*  
**В.И. Вернадский**

*В земном поле устойчивости жизни  
надо отличать, во-первых,  
область временного проникновения –  
без быстрой гибели – живых организмов,  
во-вторых, область длительного их существования,  
неизбежно связанного с проявлением размножения.*  
**В.И. Вернадский**

Биосфера представляет собой сложную природную систему глобальной размерности, и при ее изучении мы будем придерживаться той последовательности, которая была намечена в предшествующем разделе.

**Цель выделения биосферы.** О цели, которую ставил перед собой В.И. Вернадский, он говорил так: «описать геологические проявления жизни, дать картину совершающегося вокруг нас планетного процесса» (1960, с. 7). Почему он именно так определил цель? Это становится ясным, если посмотреть на круг вопро-

сов, которые тогда изучала геология. «В общем, в геологии, в явлениях, связанных с жизнью, изучаются частности. Изучение отвечающего им механизма не ставится как задача научного исследования. И когда она не ставится и ее существование не осознается, исследователь неизбежно проходит мимо ее проявлений, окружающих нас на каждом шагу» (Вернадский, 1960, с. 7). Иными словами, геологи изучали *гео* без *био*. Точно так же, как биологи исследовали *био* без *гео* (см. раздел 1). Такая разобщенность не устраивала В.И. Вернадского, он как геохимик на каждом шагу сталкивался с проявлениями геохимической функции живого вещества на протяжении всей геологической истории Земли. И он понял, что надо изучать Жизнь на Земле (*био* вместе с *гео*). Поэтому он и поставил перед собой цель – всесторонне рассмотреть биогеохимическую функцию живого вещества как планетного явления, т.е. сущность взаимодействия, которое связывает *био* в единое целое с *гео*.

Цель поставлена. Теперь надо последовательно идти по пути, ведущему к ее достижению. Первый шаг – надо четко определить объект исследования, исходя из поставленной цели. Для этого В.И. Вернадскому пришлось выделить особое естественное тело планетарной размерности и назвать его биосферой. Понятие *естественное тело* он перенял от своего учителя В.В. Докучаева, который этим понятием обозначал всякий *логически* отграниченный от окружающего предмет, образовавшийся в результате природных процессов.

Любые логические рассуждения опираются на основания, отталкиваясь от которых строят цепь логических умозаключений. В геометрии в качестве таких оснований выступают постулаты (аксиомы). В основе работы нашего мозга лежат два типа познания: логическое и внелогическое. Логический тип познания лежит в основе любого раздела математики, многие из которых вам знакомы со школы. Внелогическая компонента нашего сознания возникла в процессе биологической эволюции, как способность подсознательно производить гармонизацию хаотической массы впечатлений. При такой гармонизации важную роль играет критерий, который иногда называют чувством красоты. Вот эта гармонизированная масса впечатлений выступает в виде тех аксиом

и постулатов, на которые опирается логическая компонента сознания. Таким образом, весь процесс работы познания состоит из постоянного чередования логической и внелогической компонент (Раушенбах, 1997).

В естественных науках эта гармонизация массы установленных фактов выступает в виде эмпирических обобщений, играющих огромную роль в науке и вообще в познании. Они представляют собой результаты внелогического типа познания, которые лежат в основе всех дальнейших логических рассуждений. Это понятие В.И. Вернадский определяет так: “Эмпирическое обобщение опирается на факты, индуктивным путем собранные, не выходя за их пределы и не заботясь о согласии или несогласии полученного вывода с другими существующими представлениями о природе” (1960, с. 19).

Эмпирические обобщения, лежащие в основе учения о биосфере:

1. В течение всех геологических периодов не было и нет никаких следов абиогенеза (т.е. непосредственного создания живого организма из мертвой, косной материи).

2. Никогда в течение всего геологического времени не наблюдались азойные (т.е. лишенные жизни) геологические эпохи.

3. Отсюда следует, что, во-первых, современное живое вещество генетически связано с живым веществом всех прошлых геологических эпох и, во-вторых, в течение всего этого времени условия земной среды были доступны для его существования, т.е. непрерывно были близки современным.

4. В течение всего этого геологического времени не было резкого изменения в какую-нибудь сторону в химическом влиянии живого вещества на окружающую его среду; все время на земной поверхности шли те же процессы выветривания, т.е. в общем наблюдался тот же средний химический состав живого вещества и земной коры, какой мы и ныне наблюдаем.

5. Из неизменности процессов выветривания вытекает и неизменность количества атомов, захваченных жизнью, т.е. не было больших изменений в количестве живого вещества (есть только признаки небольших колебаний около некоторого среднего).

6. В чем бы явления жизни ни состояли, энергия, выделяемая организмами, есть в главной своей части, а может быть и целиком, лучистая энергия Солнца. Через посредство организмов она регулирует химическое проявление земной коры (1960, с. 19 – 20).

К этим эмпирическим обобщениям В.И. Вернадский пришел, когда прошел весь путь исследования от кристалла до земной коры в целом. Обратите внимание на логическую цепь рассуждений, которая ведет от этих эмпирических обобщений к выделению биосферы как особого природного тела. *Живое вещество происходит только от живого, и оно в течение геологического времени всегда занимало определенную часть земного пространства, которому было свойственно сохранение определенных условий, пригодных для существования живого вещества. Среди этих условий главнейшим было непрерывное поступление в эту часть земного пространства лучистой энергии солнца, за счет которого, главным образом, и развивалось живое вещество. Если мы хотим познать Жизнь на Земле, то нам сферу жизни (био вместе с гео) надо выделить в качестве объекта своего исследования.*

С этих позиций биосфера – это особая, резко обособленная на нашей планете земная оболочка. Она охватывает частично или полностью ряд концентрических, всю Землю охватывающих, соприкасающихся образований, называемых геосферами. К ним относятся атмосфера, гидросфера и литосфера. Биосфера обладает совершенно определенным строением, которое существовало таким на протяжении миллиардов лет. Строение это связано с активным участием в нем жизни, существование которой поддерживалось за счет лучистой энергии Солнца. Благодаря наличию живого вещества для биосферы характерны динамические, подвижные, устойчивые и геологически длительные равновесия (Вернадский, 1977).

В.И. Вернадский считает, что биосфера и есть основная область научного знания, хотя только теперь мы подходим к научному выделению ее из окружающей нас реальности. Биосфера, подчеркивал он, отвечает тому, что в мышлении натуралистов и в большинстве рассуждений философов обозначается Природой в

обычном понимании, в тех случаях, когда они не касались Космоса в целом, оставаясь в пределах Земли. Но эта Природа не аморфна и не бесформенна, как это веками считалось. Она имеет определенное строение. Следующие его слова отражают понимание им сущности этого планетарного естественного тела. *“Наши знания о биосфере и о ее содержимом резко отличаются от всякого другого знания, так как мы живем в биосфере и ощущаем ее всем своим существом. Все передается нам через биосферу. Выше и ниже ее человек может проникать только логическим путем, разумом. Через нее он охватывает космический мир, преломленный в биосфере. И также преломленными в биосфере он может изучать глубины планеты, лежащие ниже земной коры. В сущности человек, являясь частью биосферы, только по сравнению с наблюдаемыми на ней явлениями, может судить о мироздании. Он висит в тонкой пленке биосферы и лишь мыслью проникает вверх и вниз”* (Вернадский, 1980, с. 19 - 20)

Итак, для реализации поставленной перед собой цели (описать геологическое проявление жизни) В.И. Вернадский выделил естественное тело глобальной размерности, которое назвал биосферой. Это позволило ему дать системное представление наших знаний о непосредственном окружении человека, о той самой Природе, частичкой которой является сам человек и с которой он связан тысячами нитей. В первую очередь дыханием и питанием. В соответствии с поставленной целью он определил объект исследования – земное пространство, занятое живым веществом. Это естественное тело планетарной размерности, логически замкнутое, он и назвал биосферой.

**Границы биосферы.** Определение их В.И. Вернадский начал с установления поля устойчивости жизни, последовательно выделяя следующие факторы: температуру, давление, фазу среды, химизм среды, лучистую энергию.

*Температурный фактор.* Самая высокая температура, которую выдерживают некоторые гетеротрофные существа без смерти организма, приближается к 140°C, а самая низкая –253°C. Интервал в 393 градуса – это предельное тепловое поле, в котором могут некоторое время находиться без гибели и разрушения не-

которые организмы. Для зеленых растений оно сокращается до  $140^{\circ}$  (от  $80^{\circ}$  до  $-60^{\circ}$  C).

*Давление.* Его пределы изменяются в очень больших пределах. Жизнь дрожжей сохраняется и при 8 000 атмосфер давления, а семена и споры могут сохраняться при давлениях, равных тысячным долям атмосферы.

*Фаза среды.* Некоторые формы жизни (семена и споры) могут находиться без гибели в среде, лишенной воды, абсолютно сухой. Но вода в капельножидком и газообразном состоянии нужна для роста и размножения организмов. Им для полного развития своих функций необходима возможность газового обмена (дыхания) и устойчивость коллоидных систем, из которых построен организм. Жидкая среда (раствор или коллоид), которая лишена газов, не может быть областью жизни.

*Химизм среды.* Область химических изменений, которые могут выдерживать организмы, очень большая. Развитие зеленых организмов требует присутствия свободного кислорода, а анаэробные организмы могут существовать без свободного кислорода. Автотрофные организмы живут и без готовых органических соединений, на одном минеральном питании. Известны организмы, живущие в горячих борных источниках, в средах с 10% серной кислотой, в крепких растворах различных солей, насыщенных растворах купороса, селитры, “жизнь может существовать только в известных пределах ионизации, от  $10^{-6}\%$  до  $10^{-10}\%$   $H^{+}$ ” (Вернадский, 1960, с. 75).

*Лучистая энергия.* Для развития зеленых растений необходима лучистая энергия определенной длины волны. Гетеротрофные организмы и автотрофные бактерии могут жить в полной темноте, при отсутствии видимой части спектра света, но для них важны длинные инфракрасные волны. Хорошо известен предел всякой жизни в области коротких волн: безжизненна среда, в которой распространяются ультрафиолетовые лучи с длиной волны меньше 0,3 микрона. Исходя из этих параметров устойчивости поля жизни, и проводят границы биосферы.

*Верхняя граница биосферы.* Ее положение определяется наличием той лучистой энергии, присутствие которой исключает возможность жизни. Эта граница проводится по озоновому слою,

который задерживает большую часть жесткого ультрафиолетового излучения с длиной волны менее 0,3 микрона. Этот озоновый слой располагается на высотах от 10 до 50 км, максимальная концентрация озона (до 30%) наблюдается на высотах 20 – 25 км. Роль этого слоя для биосферы велика. Именно озоновый экран сверху ограничивает поле устойчивости жизни. “Жизнь, создавая в земной коре свободный кислород, тем самым, создает озон и предохраняет биосферу от губительных коротковолновых излучений небесных светил” (Вернадский, 1960, с. 78). Однако только редкие организмы в своем распространении достигают этой верхней границы. Живыми существами переполнен лишь тонкий приземной слой атмосферы, толщиной всего первые десятки метров.

*Нижняя граница биосферы.* Ее положение определяется температурным фактором. В.И. Вернадский считал, что верхний температурный предел для существования живого вещества составляет порядка 100° – 140°С. Современные микробиологические исследования нефтяных скважин, а также глубоких и сверхглубоких параметрических скважин показали следующее. На глубинах 5 – 7 км найдены термофильные микроорганизмы, живущие при температурах 230°С. На этих глубинах располагается так называемый углекисло-водородный микробный “фильтр”. Там обитают ультратермофильные хемолитотрофы, которые ассимилируют мантийный водород и углекислоту. В результате получается первичное органическое вещество и метан. Этот процесс называется нафтилобиоз, при котором осуществляется микробиологический синтез газообразных и жидких углеводородов, предшественников углеводородов нефти и газа. Этот процесс наиболее активно идет в зонах, где из недр поднимаются глубинные мантийные растворы (Оборин и др., 2001; Селезнев, 2001; Шеховцова, 2001).

Нижняя граница биосферы располагается в 8 км ниже от дневной поверхности. О нижних пределах распространения ультратермофильных микроорганизмов пока фактических данных нет. Считается, что на глубинах порядка 25 км термодинамические условия исключают нахождение воды как химического соединения. Поэтому полагают, что нижняя граница биосферы не

может опускаться глубже 25 км. На каком уровне в диапазоне 8 – 25 км располагается нижняя граница биосферы, покажут дальнейшие исследования.

В настоящее время пространство биосферы начали делить на различные слои, каждый из которых получил свое название. Таких подразделений пространства биосферы, выделенных по разным основаниям, насчитывается более 50. Упомянем два из них. **Эубиосфера** охватывает то пространство биосферы, в котором идет наиболее активная жизнь, происходит деление клеток и размножение организмов. Границы эубиосферы проводят, исходя из температурного фактора. Нижняя граница проводится по температуре кипения воды, т.к. у большинства организмов при температуре выше  $100^{\circ}\text{C}$  белки сворачиваются. В глубь недр Земли температура увеличивается, но повышается и давление, а с увеличением давления растет и температура кипения воды. Поэтому на глубинах в несколько километров при давлении в несколько сот атмосфер и при температуре выше  $100^{\circ}\text{C}$  обнаружены сообщества живых микроорганизмов. Верхнюю границу эубиосферы проводят по изотерме  $0^{\circ}\text{C}$ , поскольку ниже этой температуры прекращается деятельность ферментов. Эубиосфера представляет собой очень тонкую пленку, толщиной около 12 – 17 км, и в ней сосредоточена основная масса живого вещества биосферы. Масса этого живого вещества по сравнению с занятым им пространством чрезвычайно мала. Если сконцентрировать все живое в ней в данный момент, смешав траву, бактерий, слонов и всех остальных, и нас в том числе, и распределить это живое вещество ровным слоем по поверхности Земли, то получится слой всего в 2 см толщиной. Но, несмотря на такие малые размеры, живое вещество производит колоссальную работу на нашей планете. Масса земной коры составляет около  $2 \cdot 10^{19}$  т. Сухое вещество всей современной биомассы по Н.И. Базелевич равно  $2,4 \cdot 10^{12}$  т. Это всего 0,00001% от массы земной коры. Ежегодная продукция живого вещества составляет в сухом весе  $2,32 \cdot 10^{11}$  т. За последний млрд. лет это продукция практически не изменилась. За 1 млрд. лет живое вещество произвело массу в  $2,32 \cdot 10^{20}$  т, что в десять раз превышает массу земной коры! Это объясняется тем, что живое вещество чрезвычайно «активно», его роль в геохимии нашей планеты гран-

диозна. По существу, биосфера представляет собой гигантский «химический комбинат», в котором эубиосфера – ее основной цех. На этом «химическом комбинате» из разнообразных смесей веществ, представленных различными магматическими породами, морской и пресной водой и т.д., получают простые и сравнительно чистые соединения (известняки, фосфориты, кремнистые породы, угли, железные и алюминиевые руды и т.д.). В биосфере, и особенно в ее «главном цехе» – эубиосфере, происходит преобразование солнечной энергии и эндогенного теплового потока в энергию геохимических процессов, при которых происходит дифференциация химических элементов, рост разнообразия соединений, особенно органических, накопление информации и уменьшение энтропии.

**Мегабиосфера** включает эубиосферу и прилегающее к ней сверху и снизу пространство биосферы, в котором нет постоянных живых обитателей, но которое испытывает прямое или косвенное влияние живого вещества эубиосферы. Это пространство случайного попадания жизни сверху ограничено озоновым экраном, а снизу подошвой гранитного слоя Земли. При таком определении границ пространство мегабиосферы совпадает с таковым биосферы и термин "мегабиосфера" излишен.

Итак, верхняя граница биосферы проводится по озоновому слою, на высотах от 10 до 50 км, чаще в интервале 20 – 25 км. Достоверно известно, что в глубь литосферы поле развития жизни опускается до 7 – 8 км, а теоретически может опускаться до 25 км. Максимальная толщина биосферы не более 75 км, а реальная в два раза меньше (примерно 30 км). Основная масса живого вещества сосредоточена в эубиосфере, толщина которой порядка 12 – 17 км.

## Семинар 4.

### Вопросы для обсуждения

1. Расскажите о своем восприятии биосферы как системы.
  - Почему, с Вашей точки зрения, В.И. Вернадский поставил именно такую цель при создании учения о биосфере?
  - Чем он руководствовался при определении объекта исследования?

– Почему он выбрал именно такие критерии проведения границ биосферы?

2. Проанализируйте эмпирические обобщения, лежащие в основе учения о биосфере. В чем Вы видите их важность для учения о биосфере?

3. Границы биосферы. Как понятие поля устойчивости жизни по В.И. Вернадскому согласуется с законом минимума Либиха? Сформулируйте определение «поля устойчивости жизни» на основании этого закона.

4. Соберите все сведения о минимальных и максимальных показателях параметров среды, где отмечены живые существа.

### **Литература**

Вернадский В.И., 1960, 1988а, 1988б; Кондакова Г.В., 2001; Шеховцова Н.В., 2001; Селезнев И.А., 2001; Лапо А.В., 1979; Ястребов М.В., 2001; Маргалев Р. 1992.

## 5. Основные свойства биосферы как системы

*В.И. Вернадский «воспринимал Землю ...  
как одну из планет Солнечной системы,  
находящуюся в непрерывном материально-  
энергетическом взаимодействии с Космосом.  
А.В. Лано*

Основные свойства биосферы как системы (открытость, полузамкнутость, динамичность, неравновесность, нелинейность) определяются ее взаимодействием с окружающей средой (Космосом и недрами Земли) и характером внутренних взаимодействий составляющих ее элементов.

### Открытость

Характер взаимодействия биосферы с внешней средой определяется потоками энергии и вещества, сложившимися между ними.

**Потоки энергии.** Энергетически биосфера взаимодействует с Космосом и недрами Земли: через ее верхнюю и нижнюю границы постоянно проходят потоки экзогенной и эндогенной энергии, причем поток экзогенной энергии на два порядка превосходит эндогенный. Поскольку температура биосферы остается постоянной, то это означает, что в свою очередь из биосферы тоже идут потоки энергии в Космос и недра Земли. Иными словами, между Космосом, биосферой и недрами Земли совершается ряд круговоротов энергии.

**Экзогенный поток энергии.** Генератором этого потока является Солнце (космическое излучение на несколько порядков

меньше лучистой энергии Солнца). На внешнюю границу атмосферы (магнитопаузу) каждую секунду на  $1 \text{ см}^2$  приходится  $13,95 \cdot 10^5$  эрг лучистой энергии. Три четверти этой энергии идет на нагревание верхней атмосферы, и после ряда преобразований она рассеивается в мировом пространстве. До биосферы доходит лишь  $3,49 \cdot 10^5$  эрг лучистой энергии. С поступившей в биосферу экзогенной энергией происходит целый ряд превращений. Возникает длинная цепочка переходов одного вида энергии в другой (см. раздел 8).

*Тепловое излучение Земли.* На земную поверхность падает коротковолновая радиация Солнца. Земля, поглотив ее, излучает уже длинные волны. Образно говоря, земной шар представляет собой огромный трансформатор, преобразующий волны малой длины в волны большой длины. (Из физики известно, что длина излучаемых волн зависит от температуры нагретого тела: чем ниже температура, тем длиннее излучаемые волны.) Вычислено, что тепловое излучение Земли в сутки в среднем составляет 0,58 кал. в минуту с  $1 \text{ см}^2$  поверхности, т.е. 840 кал. в сутки, иными словами 120% солнечной радиации за тот же период. В мировое пространство уходит всего 8%, остальное количество (112%) поглощается атмосферой, преимущественно содержащимися в ней водяным паром и  $\text{CO}_2$ . Не будь атмосферы, тепловое излучение земли целиком уходило бы в мировое пространство, и средняя температура земной поверхности вряд ли превышала бы  $-19^\circ$ . На земной поверхности благодаря полученной энергии осуществляется фотосинтез зелеными растениями. В среднем в биосфере на фотосинтез используется лишь 0,1 – 0,2% годовой солнечной радиации (Колчинский, 1990).

Живое вещество принимает самое непосредственное участие в круговоротах экзогенной энергии в биосфере. Оно нашло способ удлинять цикл трансформации энергии в биосфере и концентрировать солнечную энергию, запасая ее впрок на сотни миллионов лет. “С энергетической точки зрения появление и развитие биосферы на Земле следует рассматривать как возникновение грандиозного процесса постоянного накопления запаса превратимой энергии в поверхностной оболочке Земли и тем самым направленного процесса уменьшения "производства" непре-

вратимых форм энергии в земной природе” (Хильми, 1966, с. 271). Это и есть замечательный механизм замедления энтропии в биосфере, созданный живым веществом.

Такая концентрация и накопление запаса солнечной энергии происходит за счет фотосинтеза, при котором создается большая растительная масса, часть которой захороняется в виде торфа и углей. Кроме того, в зоне выветривания горных пород из слюды и полевых шпатов образуются при участии живого вещества глинистые минералы. Этот процесс идет с поглощением тепла. Тем самым происходит консервация и накапливание солнечной энергии в толще осадочных пород в виде геохимической энергии. Круговорот воды в биосфере приводит к появлению текучих вод. Они дробят горные породы. При дроблении кинетическая энергия падающей воды переходит в поверхностную энергию песчинок и дисперсных частиц. Так еще часть солнечной энергии консервируется в обломочных породах. В целом всеми способами в недрах Земли консервируется примерно около 1% экзогенной энергии. В дальнейшем в недрах Земли при процессах метаморфизма запасенная впрок солнечная энергия выделяется. Такой перенос солнечной энергии в недра Земли и включение его в энергетику эндогенных процессов был назван *большим круговоротом солнечной энергии* (Белов, Лебедев, 1964; Синицын, 1972; Колчинский, 1990).

*Эндогенный поток энергии.* Генератором его является мантия. Значение теплового потока из недр Земли на ее поверхность очень изменчиво: от 38,47 эрг/см<sup>2</sup>с до  $3,5 \cdot 10^5$  эрг/см<sup>2</sup>с. В среднем на суше – 59,8 эрг/см<sup>2</sup>с, в вулканических областях – 90,33 эрг/см<sup>2</sup>с, а на море – 66,91 эрг/см<sup>2</sup>с. Эндогенная тепловая энергия происходит из разных источников: гравитационная энергия, полученная при образовании Земли и дальнейших ее преобразованиях; та геохимическая энергия, которая выделяется при метаморфизме осадочных пород в недрах Земли, когда глинистые минералы и обломочные породы вновь переходят в полевые шпаты и слюды с выделением тепла; энергия, получившаяся при распаде радиоактивных элементов; ротационная энергия, выделенная при изменении скорости вращения Земли (Шипунов, 1980). Кроме того, в недрах Земли, в подземной биосфере, также проис-

ходит концентрация и консервация энергии. Этот процесс идет благодаря жизнедеятельности термофильных микроорганизмов, конечными продуктами которой становятся газообразные и жидкие углеводороды.

Отмеченные процессы концентрации и консервации экзогенной и эндогенной энергии еще находятся в начальной стадии изучения. “Однако сама попытка связать процессы эволюции живого с геологическими процессами осадкообразования, тектогенеза, орогенеза и магматизма может оказаться перспективной для познания основных тенденций в эволюции биосферы и прилегающих к ней других поверхностных оболочек Земли” (Колчинский, 1990, с. 161). Самое главное – через нижнюю границу биосферы в нее непрерывно идет из недр земли тепловой поток, а из биосферы в недра земли поступает в законсервированном виде солнечная энергия (см. выше).

Итак, биосфера через верхнюю и нижнюю границы непрерывно обменивается потоками энергии с Космосом и недрами Земли.

**Потоки вещества.** Потоки вещества постоянно идут через верхнюю и нижнюю границы биосферы. Через верхнюю границу в биосферу поступает космическое вещество в виде космической пыли и метеоритов (ежегодно около  $2,56 \cdot 10^6$  т). Конечно, по сравнению с массой Земли ( $5,976 \cdot 10^{21}$  т), это количество поступающего космического вещества невелико. Но в известной мере оно сглаживает потери наиболее легких газов (водорода и гелия), которые через верхнюю границу улетучиваются в космическое пространство. Эти легкие газы не может удержать земное притяжение. Поэтому в составе воздушных масс биосферы и наблюдается малое содержание этих двух наиболее распространенных в Космосе газов. Гелий получается при радиоактивном распаде элементов, а водород в верхних слоях атмосферы освобождается из молекул воды под влиянием ультрафиолетового излучения.

*Через нижнюю границу* биосферы проходят более мощные потоки вещества. Из недр земли по тектоническим разломам идут газы, жидкие флюиды, а в вулканически активных зонах извергаются массы расплавленных горных пород. Образование этих восходящих потоков связывают с *глубинной дифференциацией*

вещества нашей планеты. Ведущую роль в ней играет особый природный механизм, названный А.П. Виноградовым зонной плавкой. Он так описывает этот процесс. Первоначально “материалом мантии земли было вещество, отвечающее по составу каменным метеоритам. Это первичное холодное вещество планеты подвергалось вторичному разогреванию благодаря энергии сжатия – гравитационной, и главным образом под влиянием тепла, генерируемого радиоактивными элементами – U, Th, K<sup>40</sup>, которых около  $4,5 \cdot 10^9$  лет назад было на Земле в 8 – 9 раз больше, чем теперь. Под влиянием этого разогревания Земли происходил односторонний, направленный процесс дифференциации ее вещества на оболочки. Механизм этого грандиозного процесса выплавления и дегазации мантии Земли был воспроизведен экспериментально ... при помощи так называемого зонного плавления. Если мы, например, возьмем цилиндр из вещества каменного метеорита и будем его плавить в узкой зоне печкой и медленно ее передвигать в одном направлении, то из материала цилиндра выплавится конус легкоплавкого вещества. Силикатное вещество метеоритов (или планеты) при подобном процессе разделится на две главные фазы: легкоплавкую, которая выплавляется из вещества мантии и по составу и структуре отвечает базальтическому стеклу, т.е. базальтам земной коры, и тугоплавкую, представляющую собой остаток от выплавления силикатной части метеоритов и по составу отвечающую дунитам и перидотитам – породам мантии Земли. Образование легкоплавкой фазы сопровождается дегазацией, прежде всего воды, H<sub>2</sub>S, HCl, HF, NH<sub>3</sub> и др., т.е. веществ, образовавших позже океан и атмосферу. Все химические элементы при подобном зонном проплавлении вещества распределяются закономерно. Вещества, повышающие температуру плавления – Mg, Fe, Ni, Co, Cr и др., – остаются по преимуществу в тугоплавкой фазе (в породах мантии). Щелочи, щелочноземельные, литофильные элементы – U, Th, TR и т.д. – переходят в легкоплавкую фазу, в базальтическое вещество земной коры. ... Легколетучая фракция, выделяющаяся при выплавлении и дегазации мантии Земли, содержит космические, радиогенные и другие газы. Основную массу их составляет H<sub>2</sub>O и не только потому, что распространенность H<sub>2</sub>O при фор-

мировании вещества Земли была очень высокая. Это объясняется еще и тем, что  $\text{H}_2\text{O}$  при прочих равных условиях больше поглощается силикатным расплавом, чем другие пары и газы, например,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ . Поэтому  $\text{H}_2\text{O}$  при дегазации мантии отделяется преимущественно. Газы, богатые  $\text{H}_2\text{O}$ , подвергаются фракционированию как в процессе дегазации на разных уровнях мантии, до выноса на поверхность Земли, так и на поверхности Земли. В последнем случае это происходит благодаря конденсации воды при ее охлаждении, когда вместе с  $\text{H}_2\text{O}$  конденсируются и многие газы, растворяющиеся в воде, а именно:  $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{HBr}$ ,  $\text{HI}$ ,  $\text{B}(\text{OH})_3$ ?  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ , а также частично соединения серы. Они все вместе образуют таким путем океанический раствор (гидросферу). Следовательно, образование океанической воды происходит за счет выделения  $\text{H}_2\text{O}$  из глубоких недр Земли. Другая часть газов, не растворяющаяся или слабо растворяющаяся в воде, не конденсируется с  $\text{H}_2\text{O}$ , подобно всем инертным газам –  $\text{He}$ ,  $\text{Ar}$ ,  $\text{Ne}$ ,  $\text{Kr}$ ,  $\text{Xe}$ ,  $\text{N}_2$ , а также  $\text{CH}_4$ , частично  $\text{CO}_2$  и другие, и вследствие этого они сохраняются в газовой оболочке Земли, Так образуется газовая оболочка” (Виноградов, 1967, с. 11 – 13).

Вся гидросфера ( $1,6 \cdot 10^{24}$  г) по отношению ко всем горным породам земной коры ( $2,4 \cdot 10^{25}$  г) составляет 6,7%. При вулканических извержениях базальтов выделяется от 3 – 5% до 8% воды от массы излившихся базальтов. Именно за счет этих восходящих из недр Земли потоков, образовавшихся при глубинной дифференциации вещества планеты в процессе зонной плавки, возникли водная и газовая оболочки нашей планеты. Так были созданы благоприятные условия для появления биосферы. Можно сказать, что отдаленным последствием глубинной дифференциации мантийного вещества нашей планеты было возникновение биосферы.

С появлением биосферы этот процесс зонной плавки не прекратился, а усложнился за счет потоков вещества, идущих из биосферы в недра Земли. Излившиеся на земной поверхности базальты в наземных условиях стали подвергаться выветриванию и разрушаться текучими водами суши. Когда из первичной атмосферы исчезли такие компоненты, как  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , и появился свободный кислород, то в биосфере начался процесс *осадочной дифференциации* продуктов разрушения этих базальтов. Суще-

ность его состоит в том, что при образовании осадочных пород в присутствии кислорода происходит пространственное разделение  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$  от  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ . Благодаря такой сепарации в конечных водоемах стока стали образовываться осадочные породы, богатые кремнеземом. Когда эти осадочные породы, обогащенные кремнеземом, нисходящими тектоническими движениями опустились в недра Земли, то и они подверглись глубинной дифференциации вещества. Но поскольку у них был иной химический состав, чем у мантийного вещества, то в результате зонной плавки этих осадочных пород образовалась не базальтовая, а гранитная магма. Эта гранитная магма в виде лавовых потоков, струй газа и флюидов вернулась в биосферу. Этот процесс повторялся много раз. В результате сформировался в земной коре, кроме базальтового слоя и слоя осадочных пород, еще один слой – гранитный. В конечном счете, этот гранитный слой земной коры есть результат совместного действия двух грандиозных природных процессов – глубинной дифференциации вещества и осадочной дифференциации вещества, в которой велика роль живых существ.

Итак, через свою нижнюю и верхнюю границу биосфера непрерывно обменивается потоками вещества с Космосом и недрами Земли. При этом если с Космосом биосфера в основном обменивается потоками энергии, то с недрами земли, главным образом, потоками вещества. Системы, которые обмениваются со своей внешней средой потоками вещества и энергии, принято называть открытыми. Следовательно, биосфера относится к открытым системам.

## Полуизолированность

Частичная изолированность биосферы от непосредственного влияния Космоса возникла под влиянием магнитного поля Земли. Это поле по своей структуре и динамическим свойствам подразделяется на постоянное (основное) и переменное. Постоянным называют такое магнитное поле, которое освобождено от всех кратких вариаций (с периодом до года). Оно, конечно, тоже ме-

няется, но период изменений у него очень большой – миллионы лет.

Причин появления постоянного магнитного поля Земли несколько. Во-первых, оно возникает в результате вихревых токов в расплавленном ядре Земли на границе его с мантией. Кроме того, определенный вклад вносят неоднородности распределения в глубоких слоях земного шара магнитных минералов. Величина переменного поля не превышает 2% величины постоянного магнитного поля, но оно оказывает большее влияние на живое вещество, о чем будет сказано в одном из следующих разделов. Значение геомагнитного поля земли для биосферы заключается в том, что именно оно, взаимодействуя с высокими слоями атмосферы, образует сложный своеобразный фильтр, защищающий живое вещество от губительного влияния Космоса. Именно благодаря геомагнитному полю образовались внешние защитные уровни биосферы, которые превратили ее в полузамкнутую от космического пространства систему. К ним относятся:

– 1-й защитный уровень – магнитопауза. Ее верхняя граница расположена на расстоянии 1 млн. км от центра Земли. Ширина этой зоны около 200 км. От Солнца к Земле идет так называемый солнечный ветер – поток элементарных частиц и плазмы, несущих огромное количество электромагнитной энергии. При встрече с магнитным полем Земли с солнечной стороны образуется фронтальная ударная волна, а на ночной – шлейф солнечного ветра протянулся примерно на 1000 земных радиусов. Благодаря магнитным силовым линиям солнечный ветер как бы обтекает магнитопаузу, и биосфера Земли защищена от непосредственного воздействия потока солнечной высокотемпературной плазмы. Луна и Марс не имеют собственного магнитного поля и потому их поверхность подвержена сильному воздействию солнечного ветра (установлено, что на Луне поверхностный слой пыли под его влиянием спекся в губчатую массу).

– 2-й и 3-й защитные уровни – внешний (на высоте около 15 000 км) и внутренний (12 000 – 1500 км) радиационные пояса. В местах больших магнитных аномалий геомагнитного поля внешний радиационный пояс может опускаться до 1 000 км, а внутренний до 320 км. Эти пояса задерживают ту часть корпус-

кулярного излучения Солнца, которая проникла через магнитопаузу у геомагнитных полюсов Земли. Внешний радиационный пояс задерживает электроны, а внутренний – протоны.

– 4-й защитный уровень, расположенный у нижней границы протоносферы (около 1200 км), задерживает жесткое, гамма- и рентгеновское излучение Солнца.

– 5-й защитный уровень – ионосфера (1200 – 100 км) – поглощает жесткое ультрафиолетовое излучение.

– 6-й защитный уровень – мезопауза (100 – 85 км) – поглощает ионизирующее излучение благодаря разложению молекулярного кислорода и водорода на атомарный.

– 7-й защитный уровень – озоновый экран (50 – 10 км) поглощает мягкое ультрафиолетовое излучение.

– 8-й защитный уровень располагается у верхней границы тропосферы на высотах 8 – 9 км, где пары воды и углекислый газ задерживают длинноволновое тепловое излучение, идущее от поверхности Земли. Этот защитный уровень не дает переохладиться биосфере.

Итак, сложный фильтр, состоящий из 8 защитных уровней, пропускает в биосферу из всего спектра солнечного и космического излучения только ту видимую часть спектра, которая важна для фотосинтеза растений и поддерживает температуру в биосфере в строго определенных рамках. Этим, несмотря на открытый характер системы биосферы, создается ее определенная изолированность от непосредственного влияния Космоса. Собственно этим и были созданы условия для появления и развития живого вещества. Оно, в свою очередь, создало механизм замедления энтропии. В результате в биосфере стали удлиняться циклы трансформации энергии, происходить локальная концентрация солнечной и эндогенной энергии, что позволило создавать запасы ее впрок на десятки и сотни миллионов лет. В процессе эволюции живого вещества появился своеобразный “усилитель мощности”, в качестве которого выступает человеческий труд (Подолинский, 1991).

## Динамичность, неравновесность и нелинейность

В первой трети XX века в научный обиход еще не вошли такие понятия, как неравновесные нелинейные системы. Не была еще и создана наука синергетика, изучающая такие системы. Поэтому для описания свойств, присущих им, В.И. Вернадский предложил термин "организованность". **Организованность** не есть механизм. Организованность резко отличается от механизма тем, что она находится непрерывно в становлении, в движении всех ее самых мельчайших материальных и энергетических частиц. В ходе времени – в обобщениях механики и упрощенной модели – мы можем выразить организованность так, что никогда ни одна из ее точек (материальная и энергетическая) не возвращается закономерно, не попадает в то же место. В ту же точку биосферы, в какой когда-нибудь была раньше. Она может в нее вернуться лишь в порядке математической случайности, очень малой вероятности. ... Организованность биосферы – живого вещества – должна рассматриваться как равновесия подвижные, все время колеблющиеся в историческом геологическом времени около точно выражаемого среднего. Смещения или колебания этого среднего непрерывно проявляются не в историческом, а в геологическом времени. В течение геологического времени в круговых процессах, которые характерны для биогеохимической организованности, никогда какая-нибудь точка (например, атом или химический элемент) не возвращается ... тождественно к прежнему положению” (Вернадский, 1977, с. 15).

Для системы, которой присуща организованность, можно предложить такой художественный образ. Вы летите на самолете, управляемым автопилотом. Если понаблюдать за курсом корабля, то можно заметить, что нос корабля все время чуть-чуть отклоняется то вверх, то вниз. И каждый раз автопилот возвращает нос самолета к тому курсу, который ему был задан. Роль “автопилота” в поддержании организованности, которая присуща биосфере, выполняет живое вещество.

## Семинар 5.

### Вопросы для обсуждения

1. Расскажите о характере трансформаций лучистой энергии в биосфере. Какую роль в этих трансформациях играет атмосфера, живое вещество?
2. В чем заключается механизм уменьшения энтропии в биосфере?
3. В чем заключается механизм зонной плавки, в результате которого происходит преобразование космического вещества в косное в недрах нашей планеты?
4. В чем, с Вашей точки зрения, разница между глубинной дифференциацией вещества в недрах Земли и экзогенной дифференциации вещества, происходящей в биосфере.
5. Нарисуйте 8 защитных уровней в виде таблицы

№№ пп	Природа уровня	Расстояние от Земли	Роль в защите биосферы

6. Каким образом магнитное поле Земли определяет полужамкнутость биосферы и формирует ее защитные уровни?

### Литература

Белов Н.В., Лебедев В.И., 1964; Вернадский В.И., 1960б; 1988а; 1988б; Виноградов А.П., 1967; Колчинский Э.И., 1990; Лапо А.П., 1979; Маргалеф Р., 1992.

## **6. Общие особенности биосферы, возникшие под внешним влиянием**

*Представление о биосфере  
как земном и космическом механизме.  
В.И. Вернадский*

На биосферу непрерывно влияют самые разные внешние факторы. Они предопределяют траектории развития любых биосферных процессов. Среди этих внешних влияний, играющих роль аттракторов, различают влияния:

- обусловленные особенностями Земли как планеты,
- вызванные небесной механикой,
- связанные с процессами, происходящими на Солнце.

### **Влияния, обусловленные особенностями Земли как планеты**

Биосфера в первую очередь находится под влиянием формы и размеров нашей планеты.

*Влияние формы Земли.* По своей форме наша планета в первом приближении представляет собой непрозрачный шар, который не может быть сразу весь освещен одним источником света, Солнцем. Поэтому неизбежно поверхность шара делится на освещенную часть и лишенную света. День и ночь – результат шарообразности Земли. Чередование дня и ночи самым прямым образом отражается на всех процессах в биосфере, связанных с приходом и расходом солнечной энергии (физиологические функции растений, изменение атмосферного давления, движение воздуха, испарение воды, сгущение водяного пара, его перенос и

т.д.). Лучи Солнца идут к Земле параллельно. Если бы они падали на плоскую поверхность, то угол падения везде был бы один и тот же. Но с шарообразной поверхностью лучи встречаются под разными углами. У полюсов этот угол будет наименьший (около нуля, а у экватора – наибольший, почти  $90^\circ$ ). Поэтому нагревание поверхности Земли совершается с разной интенсивностью (у экватора оно наибольшее, а у полюсов – наименьшее). Отсюда неравномерность распределения тепла в биосфере. Форма Земли – самый мощный климатообразующий фактор.

*Размеры Земли.* Фактическая поверхность Земли из-за неровностей рельефа больше, чем высчитанная ее математическая поверхность (больше 510 млн. км<sup>2</sup>). Конечные формы Земли не допускают беспредельного расширения ареала жизни в биосфере. Поэтому мы наблюдаем многоярусность в распределении живого вещества (сгущения его на поверхности океана и у его дна, на поверхности суши, внутри почвы и т.д.). Эта многоярусность свидетельствует, что размеры нашей планеты уже оказали тормозящее воздействие на распределение живого вещества в биосфере.

*Гравитационное поле Земли* – это особый феномен, отражающий планетные свойства Земли, обусловленный одним из четырех главных взаимодействий в нашей Вселенной – силой гравитации. Особенность этого феномена в том, что мы не можем его зримо воспринять как рельеф, растительность, горные породы. Отсюда и сложность его изучения: изменчивость гравитационного поля устанавливается только по показаниям приборов. Влияние этого феномена на биосферу и живое вещество огромно. Размеры планеты и плотность вещества определяют величину массы Земли –  $598 \times 10^{25}$  г. Эта масса и определяет напряженность гравитационного поля Земли. Сила тяжести не остается постоянной: она уменьшается от полюса к экватору с 978 галл до 983 галл. Именно гравитационным полем была создана шарообразная фигура Земли. И под его непрерывным воздействием находятся все процессы, идущие в биосфере. Благодаря гравитационному полю вокруг Земли не только удерживается газовая оболочка, но и формируется ее газовый состав. Легкие элементы (водород и гелий) постоянно улетучиваются из атмосферы в кос-

мическое пространство. Поэтому в земной атмосфере их доля около  $5 \times 10^{-4}\%$ , тогда как во вселенной – 93%.

Благодаря атмосфере на земле существует гидросфера, поскольку именно давление воздушного столба обеспечивает возможность нахождения у земной поверхности воды в жидкой фазе. Наличие гидросферы в свою очередь обуславливает взаимодействие в биосфере двух мощных рельефообразующих факторов – эндогенного и экзогенного. Эндогенный фактор – создание рельефа тектоническими движениями, а экзогенный – геологическая деятельность текучих вод и ветра. С наличием гравитационного поля связано явление изостазии, которое в известной мере гасит глубинные вертикальные движения в литосфере и тем самым смягчает их воздействие на биосферу.

Гравитационное поле накладывает ограничения на размеры живых организмов, находящихся под его воздействием. Если размеры какого-нибудь живого организма увеличить в 10 раз, то его поверхность увеличится в 100 раз, а масса в 1000 раз. При этом надо отметить, что воздействие гравитационного поля зависит от среды: в воздушной среде оно больше, чем в водной. Поэтому размеры водных организмов могут быть больше наземных, что и наблюдается в действительности. Все млекопитающие в период внутриутробного развития находятся в “гипогравитационных условиях”, близких к состоянию невесомости, а при рождении сразу попадают в гравитационное поле Земли. Шаровая форма гравитационного поля Земли определяет две формы симметрии пространства биосферы – коническую и билатеральную. Если тело в биосфере растет вверх (или вниз), то оно приобретает коническую форму. Например, горные вершины, вулканические конуса, карстовые воронки, деревья и т. д. Если тело растет в горизонтальном направлении, то сила тяжести делает его листообразным. К примеру, дельты рек, аллювиальные равнины, поверхности выравнивания, листья, пласты горных пород и т.д. Напряженность гравитационного поля, в конечном счете, определяет верхний предел гор: они не могут быть выше 9 км.

## **Влияния, возникающие в связи с небесной механикой**

Земля как планета совершает одновременно множество движений в соответствии с законами небесной механики. Для биосферы и процессов, протекающих в ней, наибольшее значение имеют следующие движения:

- вращение Земли вокруг своей оси,
- обращение Земли вокруг Солнца,
- изменение взаимного расположения Земли, Луны и Солнца,
- вращение солнечной системы вокруг центра инерции галактики.

Поскольку все эти движения совершаются периодически, то именно с ними связана периодичность многих биосферных процессов.

*Вращение Земли вокруг своей оси.* Суточное вращение Земли происходит вокруг оси, которая в силу гироскопического эффекта стремится сохранить постоянное положение в пространстве. Вращение Земли происходит против часовой стрелки, если смотреть с северного полюса. Ось вращения наклонена к плоскости экватора под углом  $23^{\circ}30'$ . Скорость вращения постепенно замедляется, что сказывается на продолжительности суток. Вековое увеличение суток составляет всего 0,0016 с/век. Для жизни человека это ничтожное значение. Если же рассматривать историю биосферы, то это замедление уже нельзя не учитывать (около полусуток за 3 млрд. лет).

Вращение Земли приводит к смене дня и ночи, что обуславливает самую короткую ритмику биосферных процессов, связанную с суточным ритмом солнечной радиации. Суточное вращение Земли создает особый ритм в процессах биосферы. Днем в почве поток тепла направлен от поверхности вглубь, ночью – из глубины к поверхности. Температура воздуха обладает ясно выраженным ходом, с максимумом в середине дня и минимумом незадолго до восхода солнца. Зимой (т.е. ночью) в полярных странах температура за сутки почти совсем не испытывает колебаний. Сменой дня и ночи объясняется ход абсолютной влажно-

сти (наибольшее значение – в самое теплое время дня), а также суточный ход относительной влажности (противоположный предыдущему) (Калесник, 1947).

Вращение Земли вызывает появление в биосфере так называемой силы Кориолиса (поворотной силы). Эти силы действуют только на движущиеся тела. Она зависит от их массы и скорости, а также от географической широты, на которой расположено движущееся тело. Сила Кориолиса вызывает отклонение движущегося тела в Северном полушарии вправо, а в Южном – влево. Это имеет значение для движения водных и воздушных масс, создавая систему постоянных круговых течений в гидросфере и атмосфере. Вращение Земли вызывает вихри в атмосфере – циклоны и антициклоны. Они тоже участвуют в переносе тепла и влаги в биосфере. В циклонах в Северном полушарии вихревое движение происходит против часовой стрелки, а в антициклонах – по часовой стрелке, если смотреть с северного полюса.

*Обращение Земли вокруг Солнца.* Земля вокруг Солнца движется по эллиптической орбите (эксцентриситет земной орбиты  $e = 0,017$ ). Солнце расположено в одном из фокусов эллиптической орбиты Земли, вследствие чего расстояние между Землей и Солнцем в течение года меняется от 147,117 млн. км (в перигелии) до 152,083 млн. км (в афелии). Под действием притяжения других планет положение плоскости земной орбиты, а также ее форма медленно изменяются: наклон эклиптики – от 0 до  $2,9^\circ$ , а эксцентриситет – от 0 до 0,067. Земная ось наклонена по отношению к плоскости орбиты и образует с ней угол в  $66^\circ 33'$ . Движение Земли вокруг Солнца обуславливает чередование времен года. Период обращения Земли вокруг Солнца называется годом. Средние солнечные сутки не укладываются целое число раз в год. Год составляет 365,2422 суток. Угол наклона земной оси к плоскости орбиты не остается постоянным: он меняется с периодом около 40 000 лет. От угла наклона оси зависит контрастность времен года. Чем меньше этот угол, тем больше контрастность, а с увеличением этого угла уменьшается и выраженность сезонов года.

*Возникновение приливов и отливов.* Изменения взаимного расположения Земли, Луны и Солнца приводят к образованию в земных оболочках (литосфере и гидросфере) приливных дефор-

маций (выпуклостей). Так как взаимное расположение Земли, Луны и Солнца все время меняется, то изменяется и величина солнечных и лунных приливов. Они могут складываться или вычитаться. Высота приливных волн в гидросфере может достигать первых десятков метров, а в литосфере 0,4 м. Вертикальные движения в литосфере, вызванные приливной волной, приводят к выделению тепловой энергии, обусловленной внутренним трением вязкого вещества Земли. Приливные явления за длительные промежутки времени (десятки миллионов лет) могут приводить к заметным последствиям: удлинению суток, уменьшению силы Кориолиса и т. д.

*Вращение Солнечной системы вокруг центра инерции Галактики.* Солнечная система находится на периферии нашей галактики и медленно вращается вокруг ее центра инерции. Это движение Солнечной системы приводит к периодическим изменениям в биосфере, продолжительность которых составляет 200 – 250 млн. лет. За это время Солнечная система совершает полный оборот вокруг центра инерции галактики и осуществляется большой ядерный цикл Солнца. Периодические изменения продолжительностью 40 – 60 млн. лет представляют своего рода сезоны галактического года. Они связаны с перемещением Солнечной системы в те области галактики, которые обладают несколько иными условиями космической среды. Эти изменения климата 2-го порядка находят свое отражение в характере литогенеза (аридный или гумидный) в кризисах и расцветах флоры, в вымирании ранее господствовавших групп морской и континентальной фауны, в коренном переустройстве всей природной зональности (Синицын, 1967).

Таким образом, движения Земли и разнообразные влияния Космоса на эти движения порождают разнопорядковую ритмику биосферных процессов (длительностью от суток до 200 – 250 млн. лет).

## **Влияния процессов, происходящих на Солнце**

Система электрических токов в ионосфере Солнца и в окружающем Землю космическом пространстве наводит переменную составляющую магнитного поля Земли. Среди вариаций этого переменного магнитного поля различают:

– Солнечно-суточные вариации с периодом 27 дней. Максимумы эти вариации достигают в период летнего солнцестояния, минимума – в период зимнего солнцестояния. При солнечной активности они могут возрастать на 100%.

– Лунно-суточные вариации. Их интенсивности меньше солнечно-суточных (не более 10 – 15%). У них в сутках два максимума и два минимума и интенсивность зависит от расстояния от Луны до Земли.

– Магнитные бури на Солнце связаны с изменением количества пятен на Солнце, так называемых чисел Вольфа. Колебания солнечной активности имеют период 2000 – 1800 лет, 600 – 400 лет, 90 – 60 лет, 22 – 11 лет.

Переменное магнитное поле Земли создает периодичность процессов в биосфере. Оно влияет на все процессы, происходящие на Земле и в биосфере. Это влияние колебаний переменного магнитного поля Земли на живое вещество было установлено работами А.Л. Чижевского. Одна из его работ весьма символично названа “Земное эхо солнечных бурь” (Чижевский, 1976). Такое влияние на живое вещество прослеживается в сопряженности изменений переменного магнитного поля Земли и ряда биологических явлений (например, колебаний численности животных, насекомых; повторяемости эпидемий и эпизоотий; массовых внесезонных миграций животных и насекомых). Изменения геомагнитного поля приводят к нарушениям ритмики внутренних процессов у человека. С повышением геомагнитного поля возрастает число случаев заболеваний оспой, дифтеритом, коклюшем, полиомиелитом, сердечно-сосудистыми заболеваниями.

## О пространстве-времени биосферы

Наиболее общие представления о структуре биосферы передают наши взгляды о характере ее пространства-времени. Этому вопросу В.И. Вернадский уделял большое внимание. По существу пространственно-временные свойства биосферы следует рассматривать как своеобразные аттракторы (приоритетные пути развития), возникающие, скорее всего, под влиянием многих факторов, обусловленных наиболее общими особенностями строения Вселенной.

В первой половине XX века, когда создавалось учение о биосфере, в науке происходила смена физических картин мира. Прежняя была создана гением И. Ньютона. Он развивал идею об абсолютном времени, началом которого был момент божественного сотворения мира, и об абсолютном изотропном (однородном) трехмерном пространстве. Геометрическим образом его взглядов была евклидова геометрия. В начале XX века на смену физической картины мира И. Ньютона пришла новая, которая основывалась на последних достижениях физики и математики. Новая физическая картина мира учитывала то, что в природе, помимо энтропии, есть и другие необратимые процессы. Кроме того, стало ясно, что евклидова геометрия – это всего лишь частный случай геометрического отражения мира. Появились геометрия Лобачевского, геометрия Римана. Ядром новой физической картины мира стали взгляды о четырехмерном анизотропном (неоднородном) пространстве-времени. В качестве четвертой координаты, в дополнение к трем пространственным, ввели время. Одновременно утверждались взгляды об относительности времени, которое не имеет границ.

На первый взгляд трудно представить четырехмерное пространство. На самом деле в повседневной жизни мы постоянно пользуемся им. К примеру, когда назначаем свидание, то всегда оговариваем **место** и **время** встречи, т.е. указываем четыре координаты (три пространственных и одну временную).

В своих работах о пространстве и времени В.И. Вернадский показал, что огромный накопленный эмпирический материал од-

нозначно свидетельствует о том, что пространственно-временная структура биосферы полностью соответствует новой физической картине мира. Биосфере присуще четырехмерное, анизотропное (неоднородное) пространство-время, в котором время имеет необратимый характер.

*Явления симметрии.* Мы хорошо знаем очертания знакомых с детства деревьев, животных, гор, камней, усвоили, что каждому из этих тел присуща своя особая форма. Поэтому при изучении окружающего мира в первую очередь обращают внимание на форму тел. К изучению содержания, которое заключено в эту форму, обычно приступают несколько позднее. По форме мы не только распознаем тела, но и классифицируем их. В науке существует целый ряд дисциплин, которые изучают форму тех или иных групп тел. Это морфология растений, морфология беспозвоночных и позвоночных, кристалломорфология, геоморфология и т.д. Таким образом, мы можем сделать ***первый вывод – в познании мира исследование формы имеет первостепенное значение.***

Изучая формы разных тел в быту и науке, люди заметили, что в форме многих тел есть определенная соразмерность. Эта соразмерность выражается в закономерном повторении отдельных элементов их фигуры. Они видели особую красоту в этой соразмерности. В знакомом всем цветке ромашки много раз повторяется лепесток определенной формы, создавая характерный облик. Или в морской звезде пять раз повторяется луч, придавая ей запоминающийся облик. Или кристалл, на котором видна закономерная повторяемость его граней, ребер и вершин. Эту соразмерность в форме тел древние греки и называли симметрией.

Наука о симметрии прошла длинный путь развития. Постепенно выявлялись геометрические законы симметрии, которым подчиняются все естественные тела при своем формировании. Ведущая роль в развитии науки о симметрии принадлежит кристаллографии и нашему соотечественнику знаменитому кристаллографу Е.С. Федорову (1853 – 1919). То, что именно кристаллографии принадлежит ведущая роль в изучении симметрии, вполне закономерно. У нее замечательный объект исследования – кристаллы. Они, по образному выражению Е.С. Федорова, прямо

“брызжут своей симметрией”. **Вывод второй** – *при своем образовании естественные тела приобретают строго определенную форму в соответствии с геометрическими законами симметрии.*

О законах симметрии и особенностях их проявления в природе написана книга И.И. Шафрановского (1985). Она читается с интересом, написана легко и доступно для широких кругов читателей. “Фигура называется симметричной, если она состоит из равных, закономерно повторяющихся частей” (Шафрановский, 1985, с. 19). В этом определении два словосочетания требуют пояснения. Первое – *равенство фигур*. “Две фигуры называются взаимно равными, если для каждой точки одной фигуры обязательно найдется соответственная точка другой фигуры, причем расстояние между любыми двумя точками одной фигуры равно расстоянию между двумя соответствующими точками другой” (Там же, с. 19).

Из геометрии мы знаем, что при наложении двух равных фигур они совпадают всеми своими точками. Пример – две левые или две правые перчатки. Но существует и другой род равных фигур, которые относятся друг к другу как предмет и его зеркальное отражение. Пример – левая и правая перчатки. Значит, в природе существуют равные и зеркально равные фигуры. Но на этом количество типов равных фигур не кончается. Есть еще симметрия подобия. В ней равными фигурами считаются не только все действительно равные и зеркально равные, но и все подобные им, т.е. все фигуры одной и той же формы. Наглядный пример симметрии подобия – это известная всем игрушка – матрешка. Такая симметрия подобия проявляется в природе у всех тел, которые растут. Особенно это свойственно живым организмам, а также кристаллам.

Есть и такое понятие, как антисимметрия. В нем различают еще антиравные фигуры. Примером их могут быть какая-нибудь медаль и слепок с нее или же позитивное и негативное фотоизображения любого предмета, капелька воды в воздухе и пузырек воздуха в воде. **Вывод третий** – *в учении о симметрии есть много типов равенства фигур.*

Второе словосочетание, требующее пояснений, – *закономерное повторение*. Для начала рассмотрим плоскость, которая делит (рассекает или разрезает) фигуру на две зеркально равные части. Эту плоскость называют плоскостью симметрии и обозначают буквой Р. Плоскость симметрии – это основной элемент симметрии. Второй основной элемент симметрии – ось симметрии, обозначаемая буквой L. Ею называется прямая линия, вокруг которой несколько раз повторяются равные части симметричной фигуры. При повороте на определенный угол вокруг оси симметрии фигура занимает в пространстве то же положение, которое оно занимало до поворота, но на месте одних ее частей оказались другие равные им части. Число самосовмещений, которые возникают при повороте фигуры на  $360^\circ$  вокруг оси симметрии, называется порядком оси. К примеру, у морской звезды ось симметрии 5-го порядка. Порядок осей может быть от 1 до  $\infty$ . Так, у равностороннего треугольника через его центр проходит ось 3-го порядка, квадрата – 4-го порядка, через центр круга проходит  $L_\infty$ .

Следующий элемент симметрии – это особая точка, называемая центром симметрии, который обозначается буквой С. Центр симметрии – особая точка внутри фигуры, для которой характерно то, что любая проведенная через эту точку прямая по обе стороны от нее и на равных расстояниях встречает одинаковые (соответственные) точки фигуры. Наглядным примером центра симметрии будет центр круга, шара. Есть центр симметрии в параллелограмме, в параллелепипеде, а в пирамиде такого центра симметрии нет.

Мы рассматривали оси симметрии в виде прямых линий, а плоскости симметрии – в виде плоских поверхностей. Но, оказывается, это всего лишь частный случай для симметрии как природного феномена. В 1925 г. геолог и палеонтолог академик Д.В. Наливкин (1889 – 1982 гг.) ввел понятие криволинейной симметрии (ее еще называют гомологией). Эта криволинейная симметрия возникает тогда, когда мы берем не плоское зеркало, а криволинейное, а ось симметрии не прямая линия, а кривая. Д.В. Наливкин подчеркнул, что “кристаллы обладают прямолинейной симметрией, а организмы – криволинейной симметрией”. В обыденной жизни часто полагают, что искривленные фигуры

не обладают симметрией. На самом деле им присуща не прямолинейная, а криволинейная симметрия. И оси симметрии могут быть не прямыми линиями, а, например, винтовыми, которые свойственны деревьям. Ветви у дерева располагаются по винтовой линии симметрии и являются равноподобными, поскольку вверх по дереву ветви становятся меньше, но сохраняют свою форму. У них проявляется симметрия подобия.

Изучение симметрии какого-нибудь тела заключается в выявлении у него элементов симметрии. Это важные диагностические признаки, особенно в мире минералов. Исследования симметрии не выходили за рамки кристаллографии и минералогии, пока в конце XIX века не было сделано два фундаментальных открытия. Первое принадлежит Л. Пастеру. До него было известно, что в молекулах атомы располагаются по винтовой спирали, которая может быть как правой, так и левой. В мире кристаллов есть и правые, и левые формы, причем они встречаются в соотношении 50:50. Л. Пастер в 80-е годы XIX столетия установил, что в отличие от кристаллов, среди которых есть и правые и левые формы, у белковых тел преобладают правые. Именно это отличие помогло провести В.И. Вернадскому грань между живой и неживой материей, между косными телами и живыми организмами.

Второе открытие сделал в 1894 г. П. Кюри (1859 – 1906 гг.). Он в статье “О симметрии физических явлений; симметрия электрического и магнитного полей” сформулировал положение об универсальной роли симметрии. “Больше 40 лет назад Пьер Кюри ... впервые указал, что принцип симметрии является основным для всех физических явлений. Новым в науке явилось не выявление принципа симметрии, а выявление его всеобщности” (Вернадский, 1975, с. 3–24). П. Кюри сформулировал 2-й принцип симметрии, который впоследствии стал носить его имя. “Симметрия порождающей среды как бы накладывается на симметрию тела, образующегося в этой среде. Получившаяся в результате форма тела сохраняет только те элементы своей собственной симметрии, которые совпадают с наложенными на него элементами симметрии среды” (Шафрановский, 1985, с. 50). Это, скорее всего, происходит из-за следующего. От окружающей среды к

формирующемуся телу идут потоки энергии, равно как и от тела к окружающей его среде. Но потоки от среды к телу значительно превышают те, что идут от тела к среде. Поэтому среда как бы диктует свои “правила игры”. После работ П. Кюри в руках ученых появился мощный инструмент для исследования особенностей пространства, поскольку эти особенности запечатлены в симметрии фигур, формирующихся в этом пространстве. Одним из первых по достоинству оценил этот инструмент В.И. Вернадский.

Современные взгляды на пространственно-временную структуру окружающего нас мира, с учетом явлений симметрии, наиболее полно изложены в работе И.И. Шафрановского (1985). Важнейшая особенность Вселенной состоит в том, что она неоднородна (анизотропна) в малых масштабах и однородна (изотропна) в масштабах сверхграндиозных. Ее можно представить в виде бесконечно протяженной сферы, которая имеет формулу симметрии  $\infty L_{\infty} \infty PC$ . Центр этой бесконечно протяженной сферы находится повсеместно в любой точке, в которой расположен наблюдатель.

На симметрию земного шара накладывает свой отпечаток симметрия Вселенной и те силы, что действуют на нашей планете (в первую очередь сила тяготения и сила, возникающая при вращении Земли вокруг своей оси, а также силы, возникающие при других движениях планеты). В результате получается фигура, имеющая формулу симметрии  $L_{\infty} PC$ . Этому виду симметрии подчиняется форма геоида, климатическая, почвенная зональность, а также распределение типов литогенеза. Как только мы переходим к анализу рельефа земной поверхности в виде распределения суши и моря, мы вынуждены от симметрии переходить к антисимметрии и формула антисимметрии будет выглядеть следующим образом –  $L_{\infty}^{PC}$ . Для распределения материков и океанов на земной поверхности характерно следующее. “1. В Северном полушарии преобладают материки, в Южном – океаны. 2. Формы основных материков и океанов отвечают треугольникам. Треугольники материков основаниями обращены к северу, а суживающимися концами к югу, тогда как океанические треугольники обращены широкой стороной к югу и суживаются к северу. 3. Прямая линия,

проходящая через центр Земли и повстречавшая по одну сторону от центра сушу, в подавляющем большинстве случаев по другую сторону от центра встретит воду. Если катить глобус по столу, то когда на вершине катящегося глобуса находится суша, прикасающаяся к столу точка почти всегда оказывается «под водой». Каждый материк противолежит какому-нибудь океану” (Шафрановский, 1985, с. 152 – 153). В чем причина такой антисимметрии в распределении континентов и океанов, наука пока не знает. Не исключено, что это связано с первичной пространственной неоднородностью протопланетного вещества, слагающего мантию Земли.

Когда мы от естественных тел глобальной размерности переходим к слагающим их телам, то увидим, что на их форму решающее влияние оказывает сила тяжести. Под ее влиянием у неподвижных тел внешняя форма приобретает форму конуса с такими элементами симметрии –  $L_{\infty} \propto P$ . Такая симметрия присуща и цветку ромашки, и вулканическому конусу. Движущиеся тела приобретают форму с билатеральной симметрией, которой свойственна лишь одна плоскость симметрии. В мире кристаллов их формы подчиняются законам евклидовой геометрии. Совсем другое мы увидим, когда перейдем к формам живых организмов. Пространство живых организмов не может быть евклидовым хотя бы потому, что в нем нет тождественности правизны и левизны, неизбежной для евклидоваго трехмерного пространства. В.И. Вернадский считал, что в них проявляются свойства пространства Римана.

В конце XX века была создана еще одна, новая система геометрии, которая получила название фрактальной геометрии. Термин фрактал<sup>1</sup> ввел Б. Мандельброт. Он дал такое определение: фракталом называется структура, состоящая из частей, которые в каком-то смысле подобны целому. Пока строгого определения фракталов не существует (Исаева, 2003). «Фрактальная структура образуется путем бесконечного повторения (итерации) какой-либо исходной формы во все уменьшающемся (или увеличивающемся) масштабе по определенному алгоритму, т.е. в соответствии с определенной процедурой. Этот несложный процесс с об-

---

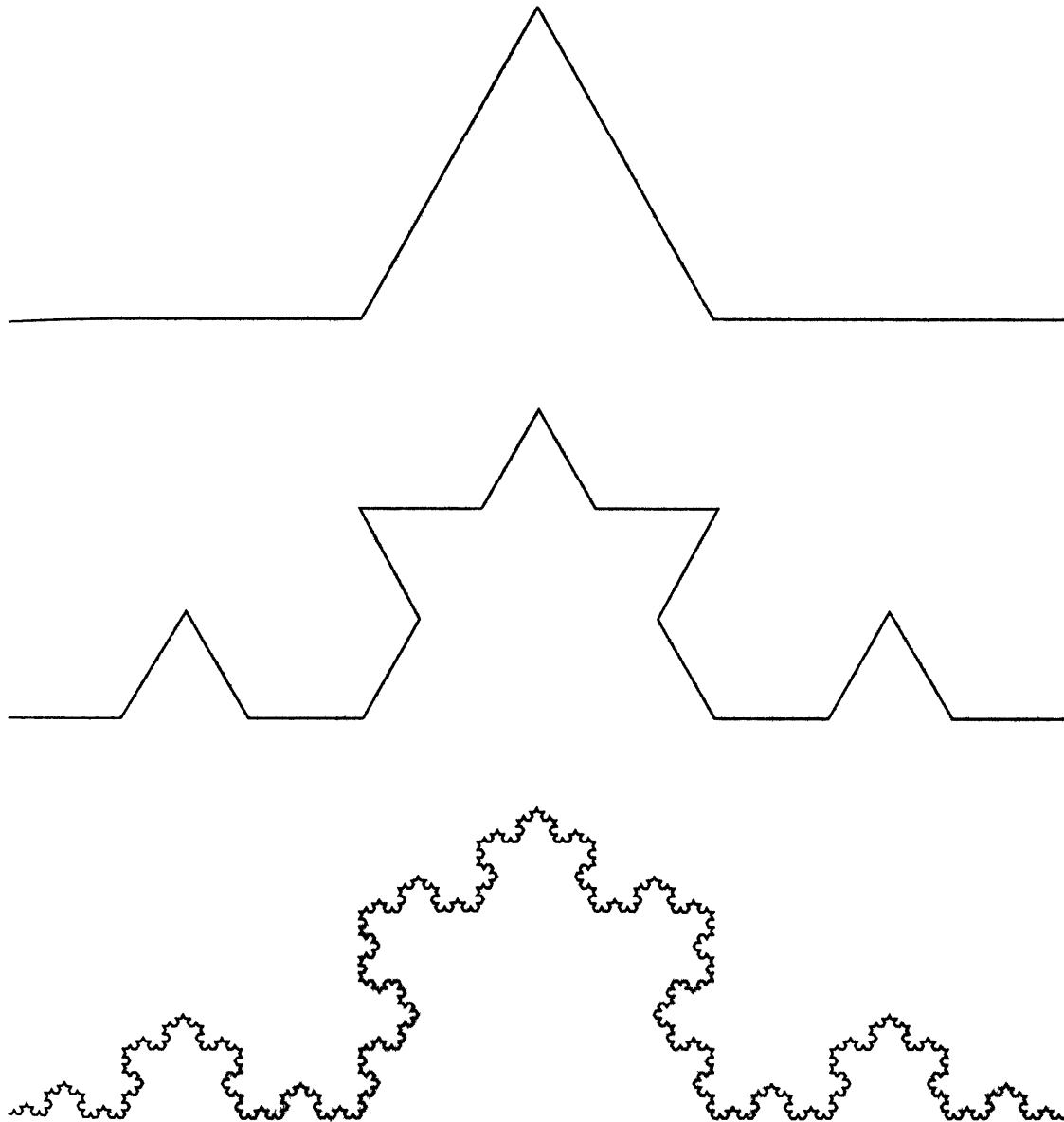
<sup>1</sup> От лат. fractare – дробить, ломать; англ. Fractal – дробный.

ратной связью дает поразительно многообразный морфогенез, нередко подобный созданию природных форм. Таким образом, фракталы характеризуются самоподобием, или масштабной инвариантностью, т.е. единообразием в широком диапазоне масштабов» (Исаева, 2003, с. 27).

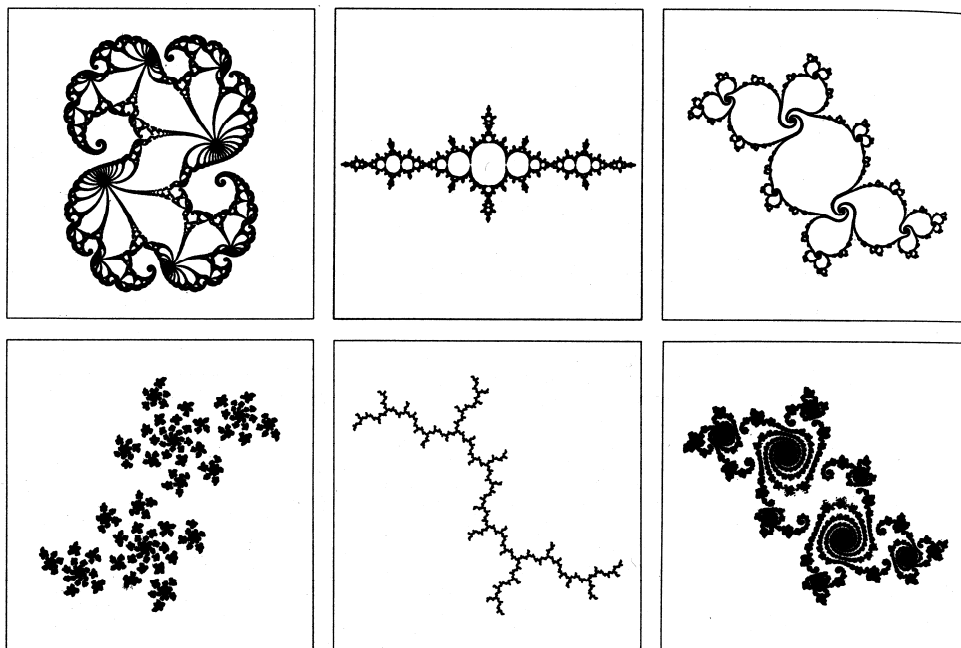
Исследования фракталов были в начале связаны с практической задачей измерения изрезанности береговой линии (рис. 6.1). При дальнейших исследованиях фрактальными (точнее квазифрактальными) оказались и многие другие природные явления: реки с их притоками, молнии, поверхности гор и облаков, естественные ландшафты, распределение галактик и т.д. Недаром одна из книг Б. Мандельброта названа «Фрактальная геометрия природы» (Mandelbrot, 1983). С использованием фрактального подхода были построены множества Жюлиа, которые демонстрируют нам графический образ нелинейных дифференциальных уравнений (рис. 6.2). Они напоминают нам элементы ландшафта, формы живых организмов (рис. 6.3). Действительно, самоподобные фигуры повсюду окружают нас в повседневной жизни. «Фрактальная геометрия дала возможность сжатого математического анализа биологических структур и процессов, недоступных описанию языком геометрии Эвклида. ... Общая черта фрактальных ветвящихся структур в живой природе – увеличение площади раздела фаз, максимальное заполнение пространства, что обеспечивает живым организмам максимизацию площади обмена с окружающей средой и соответствующую интенсификацию метаболизма при минимизации общего объема (принцип минимакса). В этом – биологическая функция фрактальных структур, создающих огромное разнообразие биологической формы и функции. Именно фрактальная размерность представляет собой показатель, меру заполнения пространства фрактальной структурой» (Исаева, 2003, с. 86 – 87).

Итак, анизотропность биосферы В.И. Вернадский (1975, с. 64) видел в первую очередь в том, что в ней в пространства евклидовой трехмерной геометрии косных естественных тел дисперсно включены бесчисленные мелкие римановские пространства живого вещества. Связь между ними поддерживается только непрерывным биогенным током атомов. В настоящее время ис-

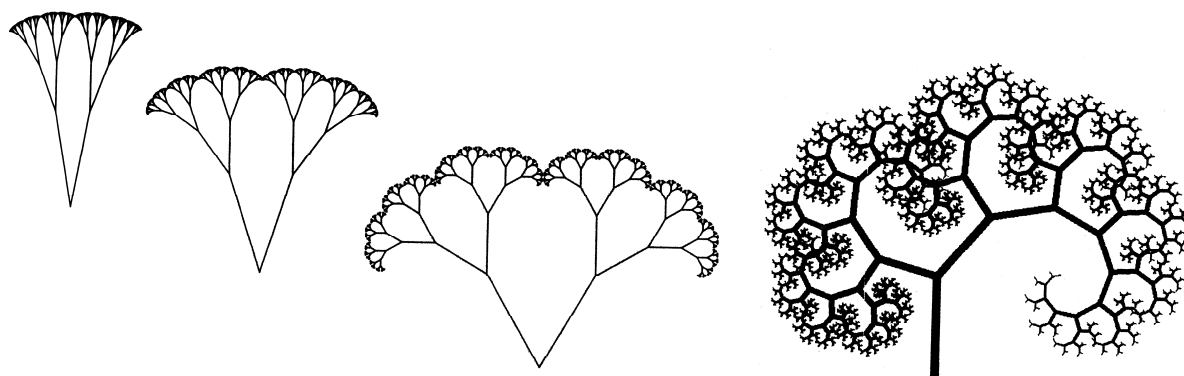
следования фракталов и хаоса в биологии охватывают все новые уровни организации живого вещества (от молекул до экосистем), раскрывая нам все новые и новые горизонты в проявлениях симметрии в косной и живой природе, помогая понять присущую ее организованность.



*Рис. 6.1. Построение кривой Коха*



**Рис. 6.2. Примеры множеств Жюлиа**  
(Исаева, 2003)



**Рис. 6.3. Асимметричное фрактальное дерево**  
(Mandelbrot, 1983)

*Изучение времени.* Влияния внешней среды, о которых говорилось выше, определяют сложную ритмику биосферных процессов. В результате каждый элемент биосферы как бы живет в своем собственном времени. Это позволило В.И. Вернадскому (1975) говорить о множественности времен, что, на первый

взгляд, создает трудности в исследовании этой четвертой координаты (времени). Эти трудности происходят из-за того, что отсутствуют объективные критерии для выбора из этого множества времен той «привилегированной системы отсчета», по которой можно было бы проводить сопоставление временных характеристик любых объектов. Однако эта трудность преодолевается, если в анализ включить, помимо объекта, и субъекта познания, (человека с его практической деятельностью в качестве единого основания для сопоставления временных характеристик любых объектов). Это и сделал А. Эйнштейн в начале XX века: он ввел в физическую картину мира «наблюдателя». Этим он ввел понятие об эталонных процессах для измерения физического времени и установил правила сопоставления с ними временных характеристик объектов. Эталонные процессы должны выбираться в соответствии с условиями деятельности субъекта познания. Они должны быть легкодоступными для него в любой части пространственно-временного поля его деятельности. К примеру, для обыденной повседневной жизни людей в качестве эталонных процессов измерения времени выбраны астрономические процессы (чередование дня и ночи и времен года). Временные характеристики эталонных процессов должны однозначно подразделяться на операционные единицы, соразмерные с временными характеристиками объектов и процессов, включаемых в поле возможных действий. В нашей обыденной жизни такими операционными единицами измерения времени являются год, месяц, сутки, час, минута, секунда. Их нам вполне достаточно, чтобы сопоставлять временные характеристики тех объектов и процессов, с которыми мы сталкиваемся в нашей повседневной жизни. Для быстротекущих процессов, длительность которых измеряется тысячными долями секунды, эти операционные единицы не подходят. Там нужны иные единицы измерения времени. Так же, когда мы имеем дело с очень длительными процессами. Длительность геологических процессов измеряется десятками и даже сотнями миллионов лет. Именно поэтому геологам пришлось разработать специальную геохронологическую шкалу.

Измерение геологического времени существенно отличается от астрономического исчисления, на котором построена та систе-

ма временных единиц (год, месяц, сутки, час, минута, секунда), которая используется в повседневной жизни. Для исчисления геологического времени длительных биосферных процессов А.Е. Ферсман и В.И. Вернадский (Вернадский, 1974, с. 132) указали следующие планетные процессы: геологические, геофизические, геохимические, радиоактивные, магнитные, культурно-исторические; эволюционный процесс изменения видов организмов. Смена поколений организмов – самый основной и первоначальный метод измерения времени в человеческом обществе и в мире живых организмов.

Некоторые из этих процессов использованы для построения хронологических шкал, широко применяющиеся при изучении длительных биосферных процессов. Среди наиболее известных и широко применяемых относительная геохронологическая шкала, в основе которой лежит смена видов в эволюционном процессе; абсолютная геохронология, базирующаяся на радиоактивных процессах; магнитостратиграфия, основанная на изменении магнитного поля земли. Палеогеографический метод в стратиграфии построен на изучении изменений физико-географических условий прошлого.

Итак, введению в современную научную картину мира человека («наблюдателя» по А. Эйнштейну) позволяет благодаря его деятельности создать единые шкалы физического и геологического времени для сопоставления через них временных характеристик естественных тел биосферы.

## **Семинар 6.1**

### **Вопросы для обсуждения**

1. Придумайте формы таблиц, в которых были бы отражены:  
– Все внешние влияния на биосферу;

– Влияния, обусловленные особенностями Земли как планеты.

Заполните ее.

2. В чем Вы видите воздействие сил гравитации на формирование естественных тел в биосфере и на характер протекающих в ней процессов?

## Семинар 6.2

### Вопросы к контрольной работе

1. Что такое симметрия?
2. Кто является родоначальником кристаллографии в России?
3. Дайте определение симметричной фигуры.
4. Приведите примеры равной и зеркальной симметрии.
5. Что понимается под симметрией подобия?
6. Что такое антисимметрия?
7. Что такое плоскость и ось симметрии?
8. Что такое порядок оси симметрии?
9. Что такое центр симметрии?
10. Что такое криволинейная симметрия?
11. Что означает правило нарушения зеркальной симметрии в мире живого, установленное Л. Пастером?
12. Сформулируйте 2-й принцип симметрии, носящий имя П. Кюри.
13. В чем проявляется принцип антисимметрии в образовании рельефа земной поверхности?
14. Какие два вида симметрии встречаются на нашей планете чаще всего, почему?
15. Особенности фрактальной симметрии, применение ее в естествознании.

### Вопросы для обсуждения

1. Что послужило основанием для В.И. Вернадского считать пространство, свойственное живому веществу, римановским?
2. Почему, с Вашей точки зрения, именно у живого вещества проявляется диссимметрия?

**Тематика докладов.**

**Обсуждение в группах на семинаре**

1. О книге А.Л. Чижевского «Земное эхо солнечных бурь». М.: Мысль, 1976. 366 с.
2. О книге К. Шмидт-Ниельсен «Размеры животных: почему они так важны?» М.: Мысль, 1987. 259 с.
3. О книге И.И. Шафрановского «Симметрия в природе». Л.: Недра, 1985. 167 с. (Явления симметрии вокруг нас и зачем нам важно исследовать явления симметрии).

**Литература**

Виноградов А.П., 1967; Чижевский А.Л., 1976; Колчинский Э.И., 1990; Шафрановский И.И., 1985; Шмидт-Ниелсен К., 1987; Урманцев Ю.А., 1974.

## 7. Внутреннее строение биосферы

*Биосфера не случайна,  
(она) имеет определенное строение,  
сопряженное с явлениями жизни.  
В.И. Вернадский*

После рассмотрения системы в целом переходят к анализу ее внутренней структуры. Вначале устанавливается иерархия составляющих ее элементов. Далее рассматривают каждый элемент и выявляют характер связей между ними. В иерархии элементов биосферы намечается следующая последовательность.

**Химические элементы → химические соединения → вещества  
→ естественные тела**

Для понимания внутреннего строения биосферы нам достаточно рассмотреть уровень вещества и уровень естественных тел.

### **Вещества, слагающие биосферу**

В.И. Вернадский показал, что в биосфере присутствует семь типов вещества, которые различаются своим происхождением.

**Космическое вещество** с момента формирования нашей планеты слагает ее каменное тело. Это вещество образовалось в условиях, чуждых нашей планете, и после ее образования попадает в биосферу в виде космической пыли и метеоритов. Химический состав мантии земли и каменных метеоритов практически одинаков.

**Радиоактивное вещество**, т.е. находящееся в радиоактивном распаде. Именно за счет распада радиоактивного вещества формируется естественный фон радиации в биосфере.

**Рассеянные атомы**, которые непрерывно создаются под влиянием космических излучений, в виде отдельных изотопов. Ими пронизано все вещество биосферы.

**Косное вещество** возникло из космического вещества мантии Земли в тех земных процессах (глубинная дифференциация), в которых живое вещество не участвовало.

**Живое вещество** – это совокупность всех живых организмов. По своим свойствам оно резко отличается от всех других типов вещества биосферы. В первую очередь различие проявляется в явлениях симметрии (см. раздел 6), создавая непроходимую грань между косным и живым веществом. Важнейшая особенность живого вещества состоит в том, что только ему присущи три процесса. *Регуляторная функция* – непрестанно увеличивающееся его воздействие на косное вещество биосферы. Живые организмы с момента своего появления на нашей планете не только адаптировались к условиям, существовавшим в те далекие времена на Земле, но и стали оказывать мощное влияние на среду своего существования. Они не только приспособлялись к среде своего существования, но и стали приспособлять ее к себе, изменяя и регулируя все существенные для себя параметры биосферы – физические и химические характеристики климата, атмосферы, почвы, поверхностных вод и Мирового океана. Свои регуляторные функции в биосфере живое вещество осуществляет благодаря изменению потоков биогенов (химических веществ, участвующих в биогеохимических процессах, лежащих в основе жизнедеятельности всех живых организмов). Это позволяет обеспечивать высокую точность регулирования всех параметров биосферы. Для осуществления таких регуляторных функций живое вещество должно обладать определенной, весьма стабильной, внутренней структурой (распределением общей массы, потоков энергии и биогенов по группам живых организмов). Геологическая история биосферы свидетельствует, что эта стабильность внутренней структуры живого вещества сохраняется на протяжении многих десятков и сотен миллионов лет. Когда эта стабиль-

ность нарушается, то происходит кардинальная перестройка всей системы (биосферы в целом), названная бифуркацией. *Процесс эволюции* (постоянное и резкое изменение самих живых тел) присущ только живому веществу. В эволюции реализуется один из принципов (конкуренция), лежащих в основе биогеохимического процесса. Его впервые подметил Т. Мальтус, а Ч. Дарвин гениально использовал эту находку при создании теории происхождения видов путем естественного отбора. *Непрерывная территориальная экспансия живого вещества*, стремление расширить поле жизни. Этому способствуют фрактальные структуры, присущие живому веществу (см. раздел 3). Благодаря этому им заселен не только океан, но и поверхность суши, а также огромные пространства внутри земной коры (подземная биосфера). Такое расширение ареала обитания А.Н. Северцов рассматривал в качестве одного из признаков биологического прогресса.

**Биогенное вещество** – это вещество, которое создается и перерабатывается жизнью. После его создания живые организмы в нем мало деятельны. К этому типу вещества относится торф, каменный уголь, органогенные известняки, радиоляриты.

**Биокосное вещество** создается одновременно живыми организмами и косными процессами. Им слагается атмосфера, почти все океанические и другие воды биосферы, почва, кора выветривания, да и сама биосфера в целом является биокосным естественным телом. Характерно, что в биокосном веществе, благодаря участию в его создании живого вещества, может изменяться изотопный состав химических элементов, по сравнению с соотношениями тех же изотопов в косном веществе.

Итак, рассмотренные семь типов вещества биосферы различаются геохимической историей атомов, слагающих их, массой и той ролью, которую они играют в биосфере. **Косное, биокосное и биогенное вещества** слагают основной каркас естественных тел биосферы, на их долю приходится наибольшая масса. **Живое вещество** в каждый данный момент по весу составляет всего десятые доли процента от общей массы биосферы. Но его роль чрезвычайно велика. При его участии созданы огромные массы биокосного и биогенного вещества, слагающих основную часть биосферы. Только живое вещество обладает способностью пре-

вращать лучистую энергию солнца (а в подземной биосфере – и другие виды энергии) в биогеохимическую, концентрируя и создавая запасы превратимой энергии впрок. Это ведет к уменьшению энтропии в биосфере и обуславливает ее необратимую эволюцию. **Радиоактивное вещество** по своей массе значительно меньше живого вещества. Но оно создает тот естественный фон радиации в биосфере, вариации которого порождают изменчивость живого вещества, предпосылку для эволюции живых организмов, а в конечном счете и всей биосферы.

Наряду с семью типами вещества, В.И. Вернадский различает и четыре разных формы нахождения химических элементов, через которые они проходят в течение хода времени и которые определяют их историю.

1. Горные породы и минералы, среди которых преобладают стойкие и неподвижные молекулы и кристаллы.

2. Магмы – вязкие смеси газов и жидкостей, находящиеся в состоянии подвижной смеси диссоциационных атомных систем, в которых отсутствуют и кристаллы, и молекулы.

3. Рассеяния элементов, когда отдельные элементы находятся в свободном состоянии, отделенными друг от друга. Возможно, они при этом являются в некоторых случаях ионизированными или потерявшими часть своих электронов. Это особое состояние атомов, отвечающее лучистой материи М. Фарадея и У. Крокса.

4. Живое вещество, в котором состояние атомов неясно. Очень вероятно, что в живом организме, помимо изотопов, играет известную роль симметрия атомов (симметрия атомных полей). Формы нахождения атомов играют в неоднородных равновесиях ту же роль, как другие независимые переменные – температура, давление, химический состав, физическое состояние вещества.

К этим четырём формам следовало бы добавить пятую – смеси газов, образующих атмосферу.

## Естественные тела биосферы

Эти семь типов вещества, порознь или совместно, в разных соотношениях, образуют множество естественных тел биосферы,

которые в свою очередь могут рассматриваться как разные системы, обладающие собственной иерархией. Эти естественные тела весьма значительно различаются между собой как по размерам, сложности строения, так и по той роли, которую они играют в строении биосферы. В настоящее время наиболее хорошо изучены естественные тела биосферы низших рангов (минералы, горные породы, формации горных пород, почвы, ландшафты, различные живые организмы, экосистемы и т.д.). Это великое множество естественных тел исследовалось и исследуется отдельными естественными дисциплинами (минералогией, петрографией, литологией, почвоведением, биологией, экологией и многими другими). Такой интерес к естественным телам низшего ранга объясняется просто. Изучать их всегда проще, по сравнению с более сложноустроенными телами высших рангов иерархии, а результаты таких узкоспециальных исследований всегда повышали эффективность практической деятельности людей (имели практическое значение).

При изучении сложных систем, которым свойственно иерархическое строение, цели и задачи всегда ставятся сверху вниз. Именно так в 20-е годы XX столетия поступил В.И. Вернадский, поставив цель: “описать геологические проявления жизни, дать картину совершающегося вокруг нас планетного процесса” (1960, с. 7). Движение же к поставленной цели всегда происходит снизу вверх: при целенаправленном синтезе (обобщении) эмпирических данных о естественных телах более низких рангов. Когда не хватает имеющихся эмпирических данных, чтобы решить задачу, поставленную сверху, то, исходя из нее, ставят специальные исследования для получения недостающих данных.

Если внимательно прочитать работы В.И. Вернадского по биосфере, то мы увидим, как в них бок о бок идет эмпирическое обобщение уже имеющихся на то время данных и постановка не просто новых задач, а определение новых направлений научных исследований, призванных заполнить “белые пятна” в наших знаниях о биосфере, установленные при целенаправленном синтезе.

Из сказанного видно, насколько сложен целенаправленный синтез наших знаний о естественных телах биосферы высших рангов. Работы В.И. Вернадского 20 – 40-х годов XX столетия,

связанные с биосферной тематикой, стимулировали интерес к подобному роду синтеза. Во второй половине XX века быстро растет число обобщающих работ, как об отдельных биосферных процессах, так и о биосфере в целом. Обзор их дан Э.И. Колчинским (1990).

К естественным телам глобальной размерности относятся: часть атмосферы, расположенная ниже озонового слоя, Мировой океан, наземная ландшафтная оболочка, распространенная на континентах и островах, и литосфера до глубин 8 км. Эта часть литосферы включает слой осадочных пород, а также часть гранитного и базальтового слоя. Эти тела не являются чем-то застывшим и неизменным. Каждое из них непрерывно как-то преобразуется. Эти преобразования мы воспринимаем как процессы, происходящие в них. В биосфере, в первом приближении, различают пять основных типов процессов: геологические, геофизические, биологические, геохимические и биогеохимические. Эти типы процессов различаются, прежде всего, характером взаимодействующих в них элементов, а также своими пространственно-временными параметрами. Некоторые из них присущи только одному естественному телу глобальной размерности. Другие охватывают несколько тел. Поэтому при описании тел рассмотрены только те процессы, которые свойственны только ему, а выходящим за его пределы посвящен специальный раздел.

Внутреннее строение каждого из этих естественных тел глобальной размерности рассматривается в специальных дисциплинах (учение об атмосфере, учение о гидросфере, ландшафтоведение, и в таких геологических науках, как минералогия, петрография, литология, тектоника). Нас же будет интересовать несколько иное. Какие особенности имеет каждое из этих естественных тел глобальной размерности? Как из их пространственного соседства возникают взаимодействия? В чем они выражаются? Каков вклад каждого из них в биосферные процессы?

## *Литосфера*

**Размер.** Мощность слоя осадочных горных пород колеблется от 0 до 16 км, мощность гранитного слоя от 24 – 26 км (на континентах) до 0 (в океанах). Поэтому в нижнее тело биосферы (литосферу) в разных ее частях входят все три слоя земной коры. Она отделяет остальные тела биосферы от внутренних частей планеты, являясь тем субстратом, на котором они располагаются.

**Состав.** Литосферу составляют все типы веществ, присущих биосфере, но явно преобладают косное и биокосное, особенно если рассматривать гранитный слой как следы былых биосфер. Живое вещество в этом теле биосферы представлено исключительно термофильными микроорганизмами, о значительной массе которых мы судим по результатам их жизнедеятельности в виде залежей в земной коре газообразных и жидких углеводородов.

**Главнейшие процессы.** Литосфере свойственен особый набор *геологических и геохимических процессов* (см. ниже). Ведущим среди них, по-видимому, следует считать глубинную дифференциацию вещества мантии планеты. Именно с этим процессом связаны все остальные. К литосфере приурочено последнее звено большого круговорота солнечной энергии (см. раздел 5). Именно в нем при метаморфизме и переплавлении осадочных пород высвобождается значительное количество законсервированной солнечной энергии, пополняя энергетику глубинных процессов. Литосфере присущ и своеобразный *био-геохимический процесс*, в котором участвуют термофильные микроорганизмы, продуктом жизнедеятельности которых являются месторождения нефти и газа в ее недрах. С преобразованиями, идущими в глубине литосферы, связаны и возникающие в ней тектонические движения, которые приводят к опусканиям, поднятиям или к горизонтальному перемещению отдельных участков земной коры, создавая первичный тектонический рельеф. В результате меняется пространственное распределение суши и моря на земной поверхности, вырастают наземные и подводные хребты, Все это влияет на характер циркуляции воздушных и водных масс.

Итак, литосфера играет важную биосферную роль. Она тот базис, на котором располагаются все остальные естественные тела, и источник всех химических элементов, участвующих в строении биосферы. В недрах литосферы зарождаются геологические процессы, которые, так или иначе, влияют на ход развития всей биосферы.

## *Атмосфера*

**Размеры.** В это естественное тело биосферы, располагающееся непрерывным слоем по ее периферии, входит только нижняя часть атмосферы Земли (до озонового слоя, лежащего на высотах 10 – 50 км). Но в этом нижнем слое атмосферы сосредоточено 87,5% ее массы.

**Состав.** Вся атмосфера в основном сложена газообразным биокосным веществом. Количества живого вещества по сравнению с газами очень немного, и оно сосредоточено у поверхности Земли. В составе атмосферного вещества выделяют две группы компонентов (постоянные и переменные). К постоянным относятся газы, встречающиеся почти всегда в одинаковых процентных соотношениях (табл. 7.1).

Таблица 7.1

### *Главные постоянные компоненты атмосферы Земли* (по М.М. Ермолаеву, 1975)

Газ	Содержание, %	
	Вес	Объем
Азот	75,53	78,09
Кислород	23,14	20,95
Аргон	1,28	0,93
СО <sub>2</sub>	0,05	0,03
Неон	$1,8 \cdot 10^{-3}$	< 0,001
Криптон	$1,0 \cdot 10^{-4}$	< 0,001
Ксенон	$8,0 \cdot 10^{-6}$	< 0,001
Гелий	$5,24 \cdot 10^{-4}$	< 0,001
Водород	$5,0 \cdot 10^{-5}$	< 0,001

К переменным компонентам принадлежат те газы, содержание которых от места к месту меняется в широких пределах (в зависимости от температуры, близости моря, техногенной деятельности и ряда других факторов). К их числу относится в первую очередь **парообразная вода**, содержание которой в зависимости от температуры меняется от 0,025 до 80,61 г/кг. Далее идут компоненты, поднятые с поверхности Земли и постепенно на нее осаждающиеся: **пыль**, поступившая в результате бурь и ураганов (за одну черную пыльную бурю может быть поднято порядка  $1,5 \cdot 10^{13}$  г почвы), а также пыль, выброшенная химическими и металлургическими предприятиями; **сажа** (в современных промышленных городах выпадает до 1,35 кг/м<sup>2</sup> сажи в год). **Вулканический пепел**, разносимый по всему земному шару. **Космическая пыль**, поступающая в биосферу из Космоса и постепенно осаждающаяся на поверхность Земли (в среднем ее выпадает  $2,56^{12}$  г ежегодно). **Пыль от термоядерных взрывов** (только в период с 1948 по 1955 гг. поступило около  $6,5 \cdot 10^{13}$  г радиогенной пыли, содержащей  $\text{Sr}^{90}$ ). **Морская соль**, которая попадает в атмосферу с брызгами морской воды (вносимые таким способом соли по количеству сопоставимы с поступлением солей в океан с речными водами).

**Живое вещество** в атмосфере не образует сплошной пленки, а представлено в основном рассеянными микроорганизмами, “плавающими” в воздухе. Количество их с высотой резко сокращается. Так, если в приземных слоях в 1 см<sup>3</sup> может содержаться до 11 000 бактерий и до 2 000 грибов, то на высоте 3,0 – 3,5 км встречается в 1 см<sup>3</sup> всего от 4 до 11 микроорганизмов. По воздуху может разноситься пыльца растений, а также совершают перелеты насекомые и птицы. Эти перелеты, особенно птиц, удлиняют пути миграции химических элементов. Птицы в известном роде являются антиподами рек: они переносят вещества с морей и океана на континенты.

**Главнейшие процессы**, свойственные атмосфере, относятся к геофизическим и геохимическим. К важнейшим геофизическим процессам относится циркуляция атмосферы (см. ниже), а к геохимическим *образование озона* из молекул кислорода при воз-

действию на них ультрафиолетовых лучей (фотохимическая реакция). Озоновый экран представляет собой результат динамического равновесия образования и разрушения озона. Когда говорят о разрушении озонового слоя под воздействием техногенных выбросов в атмосферу фреонов и других веществ, то имеется в виду сдвиг этого подвижного равновесия в сторону более быстрого разрушения молекул озона по сравнению с его созданием. Кроме того, в атмосфере при грозах в результате электрических разрядов молний образуются ионы  $NO_3^-$  и  $NH_4^+$ . Этот «постоянный источник нитратной формы азота пока остается за пределами внимания геологов, геохимиков, почвоведов и агрохимиков. Пока не оценена роль атмосферного азота ни в процессах выветривания горных пород, ни в почвообразовательном процессе, ни в питательном балансе растений» (Бгатов, 1985, с. 70). На земном шаре ежегодно происходит около 70 000 гроз, с числом молний порядка 2,5 миллионов. В результате в год на  $1 \text{ км}^2$  выпадает от 1,5 т. (умеренные широты) до 3,5 – 7 т (низкие широты) азотной кислоты (Бгатов, 1985). Выпавшая вместе с каплями дождя азотная кислота вступает в обменные реакции с твердыми минеральными частицами почвы и переводит питательные вещества (фосфор, калий, кальций и др.) из недоступного состояния (полевые шпаты) в легкорастворимые формы, используемые растениями для питания.

Итак, атмосфере свойственно разнообразие физических состояний слагающих ее биокосных компонентов, необычность молекулярных реакций, непосредственное взаимодействие атомов с лучистой энергией Солнца. Атмосфера сыграла немалую роль в расширении поля жизни. Так, наличие озонового слоя создало условия для развития **наземных** организмов, а большая подвижность воздушных масс в сочетании с наличием в них паров воды привела к перераспределению тепла и влаги в биосфере, обеспечив оптимальные для жизни параметры этой новой наземной среды обитания.

## *Мировой океан*

**Размеры.** Мировой океан является одним из самых крупных естественных тел биосферы. Он занимает 71% площади поверхности Земли (361 млн. кв. км), его объем равен  $1,37 \cdot 10^{18} \text{ м}^3$ , средняя глубина около 4 км. В нем сосредоточено 59,8% всей воды, находящейся в биосфере (табл. 7.2).

**Состав.** Морская вода представляет собой тело, сложенное в основном биокосным веществом, которое представляет собой первичную среду обитания живого вещества. Кроме того, в океанических водах присутствует радиоактивное вещество, поступившее с суши и из литосферы. В незначительном количестве есть также космическое вещество, попадающее в океанические воды из атмосферы, а также косное вещество, поступившее из литосферы при подводной вулканической деятельности и снесенное с суши.

Таблица 7.2

***Распределение воды в биосфере  
и интенсивность ее обмена***  
(по данным М.М. Ермолаева, 1975)

Естественные тела биосферы	Формы нахождения воды	Масса воды $10^{21} \text{ г}$	Интенсивность обмена, годы
Мировой океан	Океаны и моря	1374,613	3000
Атмосфера	Пары воды в атмосфере	0,014	0,027
Ландшафтная сфера	Ледники	0,22	8600
	Озера	0,23	10
	Воды в речных руслах	0,001	0,032
	Почвенная влага	0,082	1,0
	Подземные воды интенсивного обмена	4,0	330
Литосфера	Подземные воды замедленного обмена	56,0	5000
	Физически и химически связанная вода	700,0	$10^6 - 10^8$

	континентальной коры (гранитный слой)		
	Физически и химически связанная вода океанической коры (базальтовый слой)	140,0	$10^6 - 10^8$
	Всего	2296,94	
	В том числе воды, активно участвующей в биосферных процессах	1456,96	

**Живое вещество** зародилось в Мировом океане. Из него оно начало свою экспансию на сушу и в глубь земной коры. Живые организмы в океане распределены весьма неравномерно, они образуют в нем пленки и сгущения. Обычно они приурочены к областям, которые достигает солнечная энергия и где есть достаточный запас биогенных элементов. Первая пленка, планктонная, располагается на поверхности океана до глубин несколько десятков метров, вторая (донная) приурочена ко дну, особенно на мелководьях, куда проникает солнечный свет. На океаническом дне, в полном мраке, тоже присутствует живое вещество. Но там им используется не фотосинтез, а хемисинтез.

В океане биомасса и продуктивность водных форм ограничивалась физико-химическими свойствами гидросферы, регулирующими содержание  $\text{CO}_2$  в воде. Это ограничение не позволяет достигнуть значительного увеличения биомассы растительности. Для снятия этого ограничения живому веществу пришлось выйти на сушу и освоить ее, расширив тем самым зону жизни. Именно с разрешением этого противоречия связана необратимость эволюционного процесса.

В океане есть несколько сгущений живого вещества. Одно из них приурочено к контактной зоне суши и моря (как на шельфе континентов, так и у берегов островов). В нее с суши поступает большое количество органических веществ. Второй тип сгущений – это плавучие массы водорослей в открытом океане (саргас-

совые сгущения). Третий тип сгущений приурочен к зонам апвеллинга, где к поверхности океана поднимаются холодные глубинные воды, богатые биогенными элементами. Вне этих сгущений океанические просторы напоминают пустыню. В целом плотность живого вещества, примерно в 30 раз меньше по сравнению с ландшафтной сферой (Виноградов, 1967),

Известно, что в морских водах в ничтожных концентрациях присутствуют почти все элементы таблицы Менделеева. Живые организмы океана обладают способностью извлекать из морской воды и концентрировать в своем теле отдельные элементы, повышая их содержание до 10 000 раз. К таким элементам относятся йод, многие тяжелые металлы, золото и т. д.

**Главнейшие процессы.** Океану присущи все типы процессов, свойственных биосфере. В нем наряду с атмосферой совершаются важнейшие для биосферы геофизические процессы (см. ниже). В них океан в силу своих огромных размеров выполняет роль весьма инерционной системы, сглаживающей температурные колебания на поверхности Земли. Это имеет первостепенное значение для распределения в различных частях биосферы таких параметров поля жизни, как температура и количество влаги.

Мировой океан является начальным звеном огромного внешнего круговорота воды на земной поверхности. Именно испаряясь с океана, вода переносится на континенты. Не меньшую роль мировой океан играет и в переносе тепла, поскольку вся океаническая толща находится в постоянном движении по причине физического различия слагающих ее водных масс. До половины тепла между разными частями биосферы переносится морскими течениями (другая половина – воздушными). Такое участие океана в обмене тепла и влаги предопределяет его значительную климатообразующую роль. Наиболее наглядный пример – Гольфстрим, роль которого в формировании климата Европы огромна. Не менее важны геохимические и биогеохимические процессы, протекающие в нем. Мировой океан является последним звеном (конечным водоемом стока) в глобальном процессе осадочной дифференциации вещества. Именно в нем образуется основная масса осадочных горных пород, которые в дальнейшем, после переплавки в недрах земли, образуют гранитное основание континен-

тов. Океан в значительной степени регулирует газообмен в биосфере, особенно углекислоты. Кроме того, в океане наблюдается, с одной стороны, грандиозный процесс переноса углекислоты из высоких широт в низкие, а с другой – еще более грандиозный процесс исчерпания  $\text{CO}_2$  из атмосферы и водных масс и ее перевод в твердые осадки (карбонаты), которые захороняются на дне океана. Время пребывания  $\text{CO}_2$  в атмосфере составляет около 5 лет, а среднее время достижения атмосферной  $\text{CO}_2$  придонных слоев океана – от 200 до 2000 лет. О масштабности этих процессов свидетельствует распределение углерода между отдельными частями биосферы (табл. 7.3).

Если принять во внимание все газы, растворенные в океанической воде (вместе с  $\text{CO}_2$ ), то окажется, что их объем в три раза больше объема воды океана. При равновесии газов атмосферы с океанической водой растворяется небольшая часть газов атмосферы около (0.5% He, Ar,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$  и до 3 – 4% Xe). Исключение составляет  $\text{CO}_2$  (табл. 7.4) (Виноградов, 1967).

Таблица 7.3

**Распределение углерода в биосфере**  
(по данным А.П. Виноградова, 1967)

Объект	Количество углерода в г	Количество углерода на единицу поверхности в г/см <sup>2</sup>
Организмы моря	$\sim 1 \cdot 10^{16}$	0,002
Организмы суши	$\sim 3 \cdot 10^{17}$	0.06
Атмосфера	$6,3 \cdot 10^{17}$	0,125
Океан	$3,6 \cdot 10^{19}$	7,5
Угли, нефти и другие каустобиолиты	$6,4 \cdot 10^{21}$	664
Сланцы, глины	$1,0 \cdot 10^{22}$	2000
Карбонаты	$\sim 5,0 \cdot 10^{22}$	>2500

Насыщенность океанической воды газами регулируется температурой, соленостью, атмосферным давлением и биологиче-

скими факторами. Она подчиняется общим газовым законам. Вовсе холодные океанические воды районов приполярных областей или глубокие слои океанов растворяют больше атмосферных газов и могут быть недосыщенными некоторыми из них. Теплые воды тропических областей пересыщены газами и освобождают их в атмосферу. По тем же причинам океан летом отдает газы в атмосферу ( $O_2$ ,  $CO_2$ ), а зимой поглощает их из атмосферы.

Таблица 7.4

**Состав газов атмосферы и океанической воды**  
(в см<sup>3</sup>/л)

(по А.П. Виноградову, 1967)

Газ	Содержание в атмосфере	Содержание газов в океанической воде	Газ	Содержание в атмосфере	Содержание газов в океанической воде
$N_2$	781	13	Ne	$1,82 \cdot 10^{-2}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$
$O_2$	210	2-8	He	$5,3 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-5}$
Ar	9,32	0,32	Kr	$1 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-5}$
$CO_2$	0,3	50	Xe	$8 \cdot 10^{-5}$	$7 \cdot 10^{-6}$

Между атмосферой и океаном происходит грандиозный процесс циркуляции  $CO_2$ . Холодными волнами полярных областей  $CO_2$  интенсивно поглощается. Эти воды, охлаждаясь, опускаются на глубину, и глубинными течениями переносятся от Арктики (Антарктики) в сторону экватора. Там они поднимаются, например, у западных берегов Африки или Америки, где, прогреваясь, освобождаются от избытка  $CO_2$ . Океан действует как грандиозный насос, забирая  $CO_2$  из атмосферы в холодных областях и отдавая ее в тропических областях. В результате этой циркуляции  $CO_2$  над экваториальной областью океана создается повышение парциального давления  $CO_2$ . Равновесие  $CO_2$  в атмосфере и гидросфере благодаря процессам на поверхности Земли направлено на уменьшение содержания газообразной углекислоты в гидросфере и атмосфере, на ее исчерпание из этих бассейнов, перевод в твердые осадки – карбонаты. Этот направленный механизм дей-

ствуется непрерывно на всем протяжении геологической истории Земли (Виноградов, 1967).

Итак, океан благодаря своим огромным размерам выполняет в биосфере важнейшую средостабилизирующую функцию: он придает большую инерционность всем процессам тепловлагообмена и газообмена, в которых участвует и сам.

## *Ландшафтная сфера*

**Размеры.** Это естественное тело значительно меньше других естественных тел биосферы глобальной размерности. Ландшафтная сфера приурочена лишь к поверхности суши (как континентов, так и островов), которая занимает всего лишь 29% поверхности Земли (149 млн. кв. км). В ландшафтную сферу входят и поверхностные воды суши в виде рек, озер и болот. В отличие от других естественных тел биосферы глобальной размерности ландшафтная оболочка прерывиста. Толщина ее тоже невелика. От поверхности Земли она поднимается не более чем на несколько десятков метров (максимум сто метров). В глубь земли ландшафтная сфера на суше уходит на первые метры. Однако, несмотря на сравнительно небольшие размеры, роль ландшафтной оболочки в биосферных процессах весьма значительна. Именно в ней наиболее интенсивно протекают биогеохимические процессы.

**Состав.** Ландшафтная оболочка сложена всеми семью типами вещества, но для нее характерны повышенные, по сравнению с другими естественными телами биосферы, концентрации живого вещества. Местами они могут достигать многих десятков весовых процентов.

**Живое вещество** в ландшафтной сфере распространено в виде единой непрерывной пленки, которая охватывает как ее подземную часть (почвы), так и наземную. Лишь в озерах она может расщепляться на планктонную и бентосную пленки. Плотность распределения живого вещества в ландшафтной сфере в 30 раз выше, чем в океане (табл. 7.5). Разрежение жизни наблюдается лишь на ледниках и в пустынях, занимающих не более 10% суши. Живому веществу ландшафтной оболочки свойствен-

на сезонность жизненной активности, отсюда и пульсирующий характер геохимических процессов, свойственных ей.

**Главнейшие процессы.** Ландшафтная сфера континентов, как и океан, участвует в геохимических и биогеохимических процессах. К ним относится газообмен с атмосферой (выделение  $O_2$  и поглощение  $CO_2$ ). В ландшафтной сфере этот процесс протекает более интенсивно, чем в океане. Так, по современным оценкам, в атмосферу морская и наземная растительность поставляет примерно равные количества кислорода. Но поскольку поверхность суши почти в 2,5 раза меньше поверхности океана, на суше фотосинтез растительности протекает более интенсивно, чем в океане. Наземная растительность, ассимилируя  $CO_2$  из атмосферного воздуха, связывает его в растительной биомассе, часть из которой потом захороняется в виде торфа, углей и т.д. Правда, в них углерода содержится на порядок меньше, чем в известняках и доломитах. Но и сам процесс связывания наземными растениями углерода примерно на порядок моложе накопления карбонатов в океане.

Не менее грандиозным биогеохимическим процессом, присущим только ландшафтной сфере, является **почвообразование**, в результате которого формируется особое естественное тело — почва. В ней содержание живого вещества достигает десятков весовых процентов. Именно к окислительной среде почв приурочена наивысшая геохимическая энергия. В почвах наиболее интенсивно происходят процессы выветривания благодаря присутствию  $O_2$  и  $CO_2$ , которые выделяются в процессе жизнедеятельности почвенных организмов. Вода, всегда присутствующая в почвах, непрерывно растворяет и выносит многие химические соединения, формируя химизм поверхностных вод, а, в конечном счете, и солевой состав океана. Почва создает предпосылки для создания принципиально иного механизма питания зеленых растений. Если морские зеленые растения впитывают химические соединения из воды всей поверхностью своего тела, то у наземных растений создается для этого специальный орган — корневая система. В морской воде присутствует почти вся таблица Менделеева в растворенной форме той или иной концентрации. Поэтому у морских организмов для обеспечения себя необ-

ходимыми микроэлементами вырабатывается специальный механизм извлечения из морской воды нужных компонентов. Он способен повышать содержание отдельных элементов в теле существа до 10 000 раз. У наземных растений поставка минеральных компонентов идет через корневую систему, и почва, образно говоря, является той самой “кухней”, в которой для питания готовятся подвижные легкорастворимые соединения макро- и микрокомпонентов. В почвах геохимически устойчивые минералы материнской породы преобразуются в легкоусвояемые соединения. В ландшафтной сфере геохимический состав материнских пород, особенно микрокомпонентов, весьма изменчив. Эта изменчивость лежит в основе выделения биогеохимических провинций, различающихся между собой содержанием микроэлементов в почвах. Поэтому наземные растения в значительной степени зависят в своем питании от геохимии материнских пород почвы. При избытке или нехватке тех или иных микроэлементов в какой-либо биогеохимической провинции развиваются эндемические заболевания организмов, которые передаются по пищевым цепям вплоть до человека, вызывая у него дисэлементоз. Хотя эндемические заболевания были известны давно, но дисэлементоз, вызывающий многие тяжелые болезни людей, привлек к себе внимание медиков только в последние годы (Терпугова, 2001).

В ландшафтной сфере, начинается литогенез, заканчивающийся в океанах (см. ниже), а также происходит консервация части солнечной энергии (в торфе, углях, глинистых минералах).

Итак, ландшафтной сфере присуща наиболее высокая геохимическая активность. Именно в ней в наивысшей степени реализуется биогеохимическая функция живого вещества.

## **Процессы, свойственные естественным телам биосферы**

Любое естественное тело, о котором говорилось выше, не является чем-то застывшим и неизменным. Каждое из них непрерывно преобразуется. Эти преобразования воспринимаются как

процессы<sup>2</sup>, происходящие в естественных телах. В биосфере, в первом приближении, различают пять основных типов процессов: геологические, геофизические, биологические, геохимические и биогеохимические. Эти типы процессов различаются, прежде всего, характером взаимодействующих в них элементов, а также своими пространственно-временными параметрами. В первом случае – это горные породы и их комплексы; во втором – водные и воздушные массы; в третьем – живые особи и их сообщества; в четвертом – химические элементы и их соединения.

Каждый из перечисленных типов объединяет большое разнообразие процессов, которые классифицируются и детально изучаются в отдельных естественных науках: геологии, учениях о гидросфере и атмосфере, биологии, геохимии и биогеохимии. Ниже, не углубляясь в дебри специальных наук, рассмотрим в общем виде только те, которые играют наиболее существенную роль в становлении и развитии биосферы, охватывая несколько ее тел, и постараемся показать, в чем состоит их биосферная роль, какие между ними существуют взаимосвязи. Укажем и ту субординацию, которая установилась между ними. Это поможет нам понять организованность биосферы.

### *Геологические процессы*

В геологических процессах проявляется поступательное развитие каменного тела нашей планеты. В этих процессах взаимодействуют огромные массы горных пород. Они охватывают большие площади в сотни тысяч, а порой и миллионы квадратных километров. Длительность этих процессов, по сравнению с жизнью отдельного человека, чрезвычайно велика – миллионы, десятки миллионов лет, хотя отдельные проявления геологических процессов могут совершаться чрезвычайно быстро – в считанные секунды. К примеру, землетрясения, при которых мгно-

---

<sup>2</sup> В науке под процессом понимается закономерная, последовательная смена следующих друг за другом моментов развития чего-либо, в котором происходит взаимодействие определенных элементов, слагающих развивающуюся систему.

венно разряжаются напряжения в земной коре, накапливающиеся длительное время. По мощи своего проявления геологические процессы представляют собой грандиозные и грозные для человека, как и для всего живого, силы природы. Человечество может им противопоставить только свою способность мыслить, познавать сущность и характер проявления этих грозных сил природы. И это уже не мало, так как дает возможность найти правильный путь в организации своей жизни: не идти наперекор стихии, а вписывать свою деятельность в ход геологических процессов, проявляя осторожность и предусмотрительность. Такой способ действий позволяет выжить и минимизировать ущерб, наносимый человечеству геологическими процессами. Для этого организуется специальная инженерно-геологическая служба, с разветвленной сетью постоянных станций, следящих за ходом разнообразных геологических процессов (сейсмических, вулканических, оползневых и т.д.). Затраты на содержание такой службы окупаются с лихвой. Не надо забывать, что деятельность человека достигла такого уровня, что она может провоцировать проявления этих грозных геологических сил. Например, создаваемые человеком гигантские водохранилища нарушают геодинамическое равновесие в недрах Земли, провоцируя землетрясения. К таким же последствиям может приводить интенсивная добыча в больших объемах нефти, газа, воды из недр Земли, запуски космических кораблей. В горной местности неграмотная прокладка дорог приводит к развитию гигантских оползней.

Геологические процессы условно (по пространству своего проявления) подразделяются на эндогенные, идущие в недрах земного шара, и экзогенные, ареной действия которых является дневная поверхность, т. е. непосредственно биосфера. Но такое подразделение весьма условно, так как эндогенные и экзогенные процессы, тесно переплетаясь, образуют одно неразрывное целое.

**Эндогенные процессы.** Среди них отметим две важнейших для биосферы группы процессов: магматизм, со всеми сопутствующими ему явлениями, и тектонические движения земной коры. Эти эндогенные процессы порождаются глубинными преобразованиями планетного вещества в недрах Земли (в мантии и земной коре).

*Магматические процессы* начинаются с расплавления огромных масс горных пород. Это происходит в результате изменений термодинамических условий в недрах Земли либо при увеличении температуры, либо при внезапном уменьшении давления на отдельных участках. Считают, что часто спусковым механизмом данного процесса является та теплота, которая выделяется при распаде естественных радиоактивных элементов. Если плавление горных пород происходит в земной коре, то высвобождается и законсервированная в горных породах солнечная энергия. Этим завершается последний этап в большом круговороте солнечной энергии на нашей планете.

От магматических расплавов отделяется газовая составляющая и гидротермальные растворы, которые, достигая дневной поверхности, попадают в биосферу. Газовые струи при извержении вулканов могут вырываться на поверхность земли, увлекая за собой тучи вулканического пепла и более крупные обломки пород в виде вулканических бомб. Эти же газы могут и медленно просачиваться по трещинам в горных породах, создавая газовое дыхание Земли. Гидротермальные растворы проникают в земную кору по трещинам и ослабленным зонам. Они несут растворы многих химических элементов, особенно металлов, попадая на своем пути в разные термодинамические условия. По мере их изменения гидротермальные растворы последовательно освобождаются от многих компонентов, создавая залежи рудных минералов, которые называют месторождениями полезных ископаемых. Сама магма может застывать в толще земной коры, образуя комплексы интрузивных магматических пород, или же извергаться на дневную поверхность в виде лавовых потоков, создавая комплексы эффузивных изверженных пород.

Благодаря магматическим процессам и образовались те тела глобальной размерности, которые потом стали основными элементами биосферы (газовая, водная оболочки земли и первичная земная кора, в виде базальтового слоя). Магматические проявления распределены неравномерно в недрах Земли, создавая предпосылки для формирования тех неоднородностей биосферы, которые предстают перед нами в виде континентов.

**Тектонические движения.** Этим термином обозначают перемещение в пространстве масс горных пород, со всеми сопутствующими явлениями. При таких перемещениях горные породы сминаются в складки, часто происходят разрывы их сплошности в виде разломов. По своей направленности (по отношению к земной поверхности) тектонические движения могут быть вертикальными, создавая поднятия и впадины, и горизонтальными, образуя огромные надвиги одних пород на другие. О том, каким движениям отдать предпочтение (вертикальным или горизонтальным) в геологии идут долгие и жаркие споры. Не вдаваясь в подробности дискуссий, отметим, что эти вертикальные и горизонтальные движения создают на дневной поверхности разность высот, в результате чего возникает рельеф. Формирование рельефа усложняет дифференциацию шарообразной поверхности нашей планеты.

Наличие рельефа в совокупности с морями и океанами приводит к тому, что лучистая энергия солнца преобразуется в энергию движущейся воды, стекающей с поднятий в низины. Эта движущаяся вода сглаживает возникшие неровности земной поверхности: поднятия разрушаются, а впадины заполняются продуктами их разрушения. В результате вместо гор и низин вновь возникает выровненная поверхность, названная пенепленом. Потом на месте пенеплена могут вновь вырасти горы, повторив все с начала. Создание и выравнивание рельефа происходит периодически. Один оборот такой спирали называют геоморфологическим циклом. Его длительность – миллионы, десятки миллионов лет, а площадь проявления – миллионы квадратных километров.

**Экзогенные геологические процессы** в основном связаны с литогенезом, образованием осадочных горных пород. О литогенезе подробнее расскажем ниже, отметив лишь одно обстоятельство. Если при глубинной дифференциации вещества его разделение шло по температуре плавления (тугоплавкие отделялись от легкоплавких), то при поверхностной дифференциации разделение идет по удельному весу минералов и горных пород, по степени растворимости их в водных растворах. Отметим два главных момента в экзогенных процессах: *консервация солнечной энергии* при разрушении горных пород движущейся водой и при геохи-

мическом преобразовании их минерального состава в приповерхностных условиях; *создание условий для постоянного течения приповерхностных геохимических процессов*<sup>3</sup>, при которых происходит преобразование трудно растворимых в воде минералов глубинного происхождения в легкорастворимые соединения. Этим облегчается использование их для питания организмов, что создает благоприятные предпосылки для возникновения и развития живого вещества.

**Значение геологических процессов для развития биосферы.** Самым главным результатом геологических процессов стало появление воздушной и водной оболочек, что создало основные предпосылки для возникновения биосферы. Не менее важный результат – формирование рельефа земной поверхности, благодаря чему происходит не только дифференциация внутреннего пространства биосферы, но и возникает предпосылка для преобразования солнечной энергии в энергию движущейся воды. Возникший рельеф создал условия для распределения воды на дневной поверхности. Благодаря ему существуют знакомые всем ручьи, реки, озера, моря и океаны. Горы оказывают влияние на циркуляцию воздушных и водных масс, на распределение влаги, переносимой в атмосфере. Общеизвестно, что с наветренной стороны гор осадков выпадает больше, чем на противоположном склоне. Зарождение циклонов происходит там, где наблюдается большое скопление островов. Такие архипелаги островов есть в юго-восточной Азии, а также в Карибском море. Однако циклоны временами могут зарождаться при сильных подводных землетрясениях прямо посреди водной глади океана. Такие эпизодические циклоны нарушают сложившуюся динамику воздушных масс, внося непредсказуемый элемент в «кухню погоды». В горных массивах создаются оптимальные условия для биологических

---

<sup>3</sup> Известно, что в химических реакциях быстро устанавливаются подвижные равновесия между исходным веществом и продуктами его преобразования, в результате чего химические реакции затухают. При экзогенных геологических процессах происходит постоянное удаление продуктов преобразования горных пород, благодаря чему геохимические реакции идут, не затухая.

процессов, связанных с образованием новых таксонов. Расчлененный рельеф формирует большое разнообразие условий для обитания организмов. Горным странам присущи колебания естественного радиоактивного фона, что связано с периодическим проявлением в них магматических процессов (см. ниже).

Итак, геологические процессы, зарождаясь в недрах Земли, прямо или косвенно влияют на развитие всех биосферных процессов, формируя арену их действий. По своей масштабности, мощи и всеохватности они самые грозные силы, не подвластные людям, хотя человек своими действиями можем провоцировать их проявление. Люди не могут преодолеть действие этих сил, но вполне могут их познавать и предвидя их проявление, строить линию своего поведения, чтобы ущерб от них был минимальным.

### ***Геофизические процессы***

Эти процессы возникают в самой биосфере в результате постоянного взаимодействия гидросферы, атмосферы и ландшафтной сферы, а движущей силой этого взаимодействия является лучистая энергия Солнца и силы, действующие в небесной механике (вращение нашей планеты, сила земного притяжения, влияние Солнца и Луны). В результате таких взаимодействий в атмосфере, гидросфере формируются воздушные и водные массы, в том числе в виде снега и льда. Воздушные массы отличаются друг от друга, в основном, температурой и содержанием в них влаги и количеством взвешенных частиц горных пород в виде пыли, а водные массы – температурой, количеством растворенных газов, содержанием взвешенных частиц и химических элементов.

Геофизические процессы, также как и геологические, охватывают огромные площади в десятки, сотни, а иногда даже в миллионы квадратных километров. В отличие от геологических они более быстротечны. Их длительность измеряется не миллионами лет, а часами, сутками, максимум десятками и сотнями лет. Им, как и геологическим, свойственна периодичность, обусловленная космическими причинами, в первую очередь процессами,

идущими на Солнце. Различают 11-летние, 33-летние, вековые, 1500-летние циклы, вплоть до галактического года (первыми сотнями миллионов лет).

**Тепловлагогазообмен** между атмосферой, гидросферой и ландшафтной сферой – самый грандиозный из геофизических процессов. В нем гидросфера из-за своей большой величины и инертности играет роль буферной системы, сглаживающей температурные контрасты, а также поддерживая относительное постоянство газового состава атмосферы. Воды океана и нижние слои атмосферы находятся в динамическом равновесии. При изменении термодинамических условий обменные реакции сдвигаются в ту или иную сторону (океан может поглощать излишки тех или иных газов, в основном кислорода и углекислоты, а при недостатке выделяет их в атмосферу).

**Постоянная циркуляция воздушных масс** – второй не менее грандиозный геофизический процесс. Парообразной воде свойственно легко изменяемое фазовое состояние. Она может находиться одновременно в газообразном, жидком и твердом состояниях (при нормальном атмосферном давлении и обычных температурах). Поскольку переходы из одной фазы в другую сопровождаются поглощением или выделением тепла, водяной пар оказывается теплоносителем, который перемещается вместе с воздушными массами. Именно при движении воздуха происходит перенос тепла и влаги в биосфере, что ведет к перераспределению их на поверхности Земли. Благодаря такому переносу в сочетании с наличием рельефа и существуют родники, ручьи, реки и озера, которые поддерживают более или менее постоянное увлажнение ландшафтной сферы, создавая тем самым благоприятные условия для существования наземных живых организмов. Перенос влаги воздушными массами – важнейшее звено во внешнем круговороте воды в биосфере. При движении воздушных масс возникают грозовые явления. При разряде молний происходит окисление азота воздуха, и на поверхность Земли вместе с дождем выпадает слабый раствор азотной кислоты. Эта кислота способствует геохимическим процессам выветривания горных пород, переводя трудно растворимые в воде минералы в легко-растворимые. Этим облегчается минеральное питание растений.

Если же учесть, что грозовые явления в умеренных широтах в основном происходят весной и летом, когда растения особенно нуждаются в минеральных веществах, то можно лишь поражаться сбалансированности геофизических и биологических процессов. В тропических зонах развитие растений идет круглый год, и грозы гремят в течение всего года.

**Деятельность текучих вод и ледников в ландшафтной сфере** – еще один глобальный геофизический процесс. Текучие воды поддерживают более или менее равномерное увлажнение ландшафтов в промежутках между эпизодически выпадающими атмосферными осадками. В поддержании равномерности этого увлажнения огромную роль играет растительный покров, замедляющий скатывание дождевых вод с поверхности суши, тем самым способствуя просачиванию выпадающей влаги в подземную сферу. Текучие воды при своем движении разрушают горные породы и переносят продукты разрушения в конечные водоемы стока – озера, моря и океаны. Эта их работа – важнейшее звено процесса литогенеза, образования осадочных горных пород.

**Циркуляция водных масс в морях и океанах.** Благодаря этой циркуляции в океане совершается перенос тепла и растворенных в воде газов на многие сотни и тысячи километров. Движениями воды разносятся обломки горных пород и химические соединения, поступающие в моря и океаны с суши.

**О взаимодействии геофизических и геологических процессов.** Циркуляция воздушных и водных масс возникает из-за неодинакового нагрева лучами Солнца земной поверхности вследствие шарообразной формы нашей планеты. Благодаря такой циркуляции происходит закономерное распределение тепла и влаги, которое лежит в основе климатической зональности (см. ниже). Если бы не было рельефа, то климатические зоны располагались бы на земной поверхности широтными полосами, симметричными относительно экватора. Рельеф, как уже говорилось, вносит свои коррективы в циркуляцию атмосферы и гидросферы и тем самым усложняет рисунок распределения климатов. С течением геологического времени климатическая зональность усложняется. Многие ученые считают, что характер распределения рельефа на земной поверхности есть следствие первичной неод-

нородности строения земного шара: протопланетное вещество не было гомогенным. Вследствие этого геологические процессы неравномерно распределены на нашей планете: где-то глубинная дифференциация вещества шла быстрее, а где-то медленнее. Возможно, что в современной климатической зональности проявляется как шарообразность Земли, так и первичная неоднородность ее недр.

### ***Геохимические процессы***

Эти процессы происходят на уровне химических элементов и их соединений, а суть их состоит в непрерывной миграции атомов.

**О распределении химических элементов.** В природе известно 89 химических элементов, содержание которых в космосе, на Земном шаре, в биосфере и отдельных ее частях весьма различно. Выявление закономерностей распределения химических элементов в природе началось с определения среднего химического состава земной коры, поскольку именно она источник химических элементов для всех остальных естественных тел биосферы.

Эту работу начал на рубеже XIX и XX веков и непрерывно вел в течение 40 лет американский химик Франк Кларк. Среднее содержание химического элемента в какой-нибудь крупной геохимической системе, по предложению А.Е. Ферсмана, стали называть его именем – кларком. В настоящее время кларки установлены не только для земной коры, но и для космоса, биосферы и отдельных ее частей. В результате всех этих исследований выявился ряд особенностей распределения химических элементов. Главная особенность заключается в огромной контрастности кларков отдельных элементов. К примеру, земная кора состоит почти на половину из кислорода (47%), на втором месте – кремний (29,5%), на третьем – алюминий (8,05%). Далее идут – железо (4,65%), кальций (2,98%), натрий и калий (по 2,5%), магний (1,87%), титан – (0,45%). В сумме эти элементы составляют 99,48%. На остальные 80 остается всего 0,52%. В число девяти

элементов не входит даже углерод, который играет важнейшую роль в биосфере. В космосе преобладают всего два элемента – водород и гелий, а в железных метеоритах, из которых, возможно, сложено ядро нашей планеты, железно и никель. В каменных метеоритах, которые ближе всего по своему химическому составу протопланетному веществу, – кислород, магний, кремний, железо. В гидросфере – кислород и водород, а в живом веществе – кислород, углерод, водород и азот. Как видим, везде преобладают легкие элементы, у которых ядро сложено четным небольшим числом протонов и нейтронов. Видимо, эта первичная контрастность кларков обусловлена не земными причинами, а особенностями ядерного синтеза в центральных частях звезд. В разных частях нашей планеты, и в биосфере химические элементы имеют разные кларки. Эта контрастность вторична, она возникла в результате миграции химических элементов.

Вторую особенность в распространении химических элементов в начале XX века установил В.И. Вернадский: «все элементы есть везде». Другое дело, в каком количестве. Кларки могут быть исчезающе малы.

Третья особенность заключается в разной способности к минералообразованию, тех «кирпичиков», из которых слагаются горные породы. Эта способность, с одной стороны, зависит от химических свойств элемента, а с другой – от его кларка.

**Особенности миграции химических элементов.** А.Е. Ферсман различает внутренние и внешние факторы миграции. Внутренние определяются строением атомов, от которых зависят свойства химических элементов (давать туго- и легкоплавкие соединения, летучие, растворимые и инертные формы). Внешние факторы – это термодинамические условия, а в биосфере – ландшафтно-геохимические, обусловленные действиями других биосферных процессов. Именно они определяют поведение элементов в различных обстановках (окислительно-восстановительных, щелочно-кислотных).

При изучении миграции химических элементов используют такие понятия, как кларк концентрации и кларк рассеяния. Кларк концентрации – это отношение содержания элемента в данном теле к содержанию его в земной коре. Кларк рассеяния – это от-

ношение кларка элемента в литосфере к содержанию его в данном теле. По кларкам концентрации и рассеяния исследуют поведение химических элементов в геохимических процессах, определяют пути их миграции. Наиболее простым является *механическая миграция*, которая подчиняется законам механики и идет в основном под воздействием геофизических процессов. Это перенос обломков минералов текучими водами, ветром, движением ледников и т.д. Механическая миграция зависит от величины частиц минералов и горных пород, их плотности, стойкости к механическим воздействиям, скорости движения ветра, воды, льда. Химические свойства элементов при этом виде миграции не имеют никакого значения. В результате механической миграции образуются россыпи тех или иных минералов. *Второй вид миграции – физико-химический*. Он подчинен законам физики и химии (законам плавления и кристаллизации, диффузии, растворения, осаждения, сорбции, десорбции и т.д.). Лучше всего изучена миграция вещества в водных растворах в виде ионов (ионная миграция). По иным законам идет коллоидная миграция, миграция газов. *Третий вид миграции – биогенная*, которая была установлена В.И. Вернадским. Эта миграция должна анализироваться не только на основе законов физики и химии. Организмам присущи процессы управления, на основе переработки информации, которые отсутствуют в неживой природе. Эти процессы управления и определяют своеобразие биогенной миграции. *Четвертый тип миграции, самый сложный, – техногенный*. Он связан с трудовой деятельностью человека. К этому виду миграции относится разработка месторождений полезных ископаемых и транспортировка их продукции на большие расстояния, а также сельскохозяйственное производство (использование удобрений, перевозка полученных продуктов и т.д.). К этому же виду миграции относится и химическое производство, при котором нередко создаются искусственные соединения, не встречавшиеся ранее в природе.

По соотношению видов миграции различают три основных типа ландшафта. *Абиогенные ландшафты*. Им присущи только механическая и физико-химическая миграции. *Биогенные ландшафты*. В них ведущая роль принадлежит биогенной миграции, а физико-химическая и механическая играют подчиненную роль. В

техногенных (культурных) ландшафтах основную роль играет техногенная миграция, определяемая социальными процессами, хотя в них развиваются и все остальные виды миграции. Такая типология ландшафтов (по ведущей роли тех или иных видов миграции) еще раз подчеркивает особую роль живого вещества и его высшего проявления в виде человеческой деятельности. Важную роль в миграции химических элементов играют геохимические барьеры. Это понятие в 1961 г. ввел А.И. Перельман. Он им обозначал те участки пространства нашей планеты, на которых на коротком расстоянии происходит резкое уменьшение интенсивности миграции химических элементов и, как следствие, их концентрация. Именно к геохимическим барьерам приурочено большинство месторождений полезных ископаемых. Наглядным примером геохимического барьера являются дельты рек, где в зоне смешения пресных и морских вод резко меняются физико-химические условия. Другими примерами геохимического барьера могут служить – краевые части болот или же контакт известняковых толщ с покрывающими их глинистыми сланцами.

Первое приближенное знакомство с внутренней сущностью геохимических процессов дает основание подразделить их по термодинамическим и геохимическим условиям на две большие группы – эндогенные и экзогенные. Первые идут в недрах Земли при высоких давлениях (десятки и сотни атмосфер), высокой температуре (многие сотни градусов Цельсия) и при отсутствии свободного кислорода (в восстановительных условиях). Экзогенные геохимические процессы идут в самой биосфере, в ее ландшафтной сфере, при давлении в одну атмосферу, при температурах не выше первых десятков градусов Цельсия и, как правило, при наличии свободного кислорода, углекислого газа, слабых растворов азотной кислоты. С момента появления живого вещества экзогенные геохимические процессы протекают при непосредственном участии живых организмов, либо продуктов их жизнедеятельности. Иными словами, в настоящее время все экзогенные процессы по своей сути являются биогеохимическими. Не малое влияние на них оказывает и трудовая деятельность людей.

**Эндогенные геохимические процессы.** Для них характерен физико-химический тип миграции химических элементов. Наи-

более важны для биосферы следующие две разновидности этого типа. Во-первых, это глубинная дифференциация протопланетного вещества, идущая по принципу зонной плавки, о которой уже говорилось. В этом процессе магматического проплавления происходит разделение минералов по температуре плавления. Легкоплавкие поднимаются кверху и, застывая в верхних частях литосферы, образуют различные основные породы (базальты). Наиболее тугоплавкие фракции застывают в недрах Земли в виде ультраосновных пород (дунитов, перидотитов и т.д.). При такой зонной плавке выделяются и газообразные вещества, образуя «газовое дыхание» Земли. За их счет и образовалась первичная атмосфера нашей планеты. Во-вторых, это гидротермальный процесс. В недрах Земли, в зонах магматических очагов, образуются гидротермальные растворы разнообразных металлов. При подъеме этих растворов к земной поверхности они остывают, и из них последовательно выпадают рудные минералы, которые в виде вкраплений встречаются в горных породах. На геохимических барьерах образуются большие скопления рудных минералов, которые и образуют месторождения полезных ископаемых.

**Экзогенные геохимические процессы.** Им присущи все четыре типа миграции химических элементов. Эти процессы, как правило, идут при участии живых организмов или продуктов их жизнедеятельности. Поэтому они будут рассмотрены ниже вместе с биогеохимическими.

**Взаимосвязи эндогенных и экзогенных геохимических процессов.** Эндогенные геохимические процессы тесно связаны с геологическими. Порой трудно различить, что в их взаимосвязи является причиной, а что следствием. По существу, они представляют собой две стороны одной медали. С одной стороны, это те глубинные процессы, которые идут в недрах нашей планеты. С другой стороны, они не менее тесно связаны с экзогенными геохимическими процессами, и именно через них живое вещество оказывает влияние на эндогенные геохимические процессы. В частности, результатом такого влияния является появление кислых магматических пород – гранитов. При миграции химических элементов разделение оксидов кремния от оксидов алюминия и железа происходит только в экзогенных геохимических, точнее био-

геохимических, процессах. В результате образуются осадочные горные породы, обогащенные  $\text{SiO}_2$ . Когда же такие породы опускаются в недра Земли и там расплавляются, то появляется гранитная магма, при застывании которой и формируются различные гранитоидные породы. В свою очередь эндогенные и экзогенные геохимические процессы влияют на биологические через создаваемую ими геохимическую дифференциацию биосферы, в результате чего образуются геохимические провинции. Они различаются между собой кларками концентрации и кларками рассеяния тех или иных элементов. Эта геохимическая дифференциация изучается специальной наукой – геохимией ландшафта, основы которой были заложены трудами Б.Б. Полынова в первой половине XX века. Дальнейшее развитие эта наука получила в трудах А.И. Перельмана, М.А. Глазовской и многих других геохимиков. Избыток или нехватка тех или иных элементов в геохимических провинциях ведет к развитию среди живых организмов так называемых эндемических заболеваний, обусловленных дисэлементозами (нехваткой или избытком тех или иных элементов). Примером может служить зобная болезнь щитовидной железы, развивающаяся при нехватке йода.

### ***Биологические процессы***

Эти процессы присущи только живому веществу, чем и отличаются от всех остальных. Они моложе ранее рассмотренных процессов, так как появились одновременно с живыми организмами после того, как взаимодействия геологических, геофизических и геохимических процессов создали благоприятные условия для их существования. Поэтому биологические процессы были вынуждены вписаться в уже сложившиеся абиогенные, которые мы только что рассмотрели. Но они не просто пассивно приносивались к ним, а начали их активно преобразовывать, придавая тем самым необратимую направленность развитию всей биосферы.

Биологические процессы весьма разнообразны и имеют разное пространственно-временное выражение. В таких мельчайших

образованиях, как клетка, они быстротечны. А процесс возникновения новых таксонов длится миллионы лет и охватывает многие тысячи квадратных километров. Все биологические процессы осуществляются за счет энергии химических реакций, запасы которой пополняются в биосфере, главным образом за счет фотосинтеза, в котором углерод выступает как мощнейший аккумулятор солнечной энергии. В подземной биосфере это пополнение происходит за счет внутреннего тепла Земли. Ниже мы остановимся лишь на тех биологических процессах, благодаря которым живое вещество не только вписалось в сложившееся взаимодействие абиогенных процессов, но и стало преобразовывать их. Именно они объединяют великое разнообразие разнопорядковых биологических процессов в единую систему, которую мы называем коротким словом – жизнь.

**Размножение** (воспроизводство себе подобных) – это важнейший из всех биологических процессов. Воспроизводство идет не по принципу простого копирования (клонирования), а в виде эволюционного процесса (см. ниже).

**Расселение** появившихся таксонов из центра своего зарождения по всему пространству биосферы, где существуют для них благоприятные условия существования. Расселению способствует ряд геофизических процессов, связанных с перемещением водных и воздушных масс. Рельеф же выступает как фактор, ограничивающий расселение, воздвигая на пути мигрантов непреодолимые барьеры. Прослеживание путей миграции – одно из увлекательнейших исследований в области биогеографии. Эти исследования помогают понять многое в истории развития биосферы.

**Питание, дыхание и выделение** тоже относятся к числу биологических процессов, играющих биосферную роль. Они представляют собой разные формы одного и того же процесса обмена химическими элементами и их соединениями между живыми организмами и окружающей средой. В основе этого обмена лежат биогеохимические реакции (см. ниже). Отметим две особенности этого обмена. Первая – состоит в способности концентрировать в тканях организмов те или иные химические элементы. (К примеру, в зернах кукурузы отмечается повышенное

содержание золота). Особенно ярко эта способность проявляется у морских организмов. Общеизвестно, что в морской воде содержится вся таблица Менделеева. Правда, большинство химических элементов присутствует в ничтожно малых количествах. Целый ряд морских организмов способны повышать концентрацию в своем теле отдельных элементов в сотни, тысячи и даже десять тысяч раз. Этим пользуются люди для получения отдельных химических элементов для своих нужд. В частности из некоторых видов морских водорослей добывают йод. Благодаря своей функции концентраторов живые организмы выступают как отдельный мощный фактор процесса литогенеза. В результате образуется уголь, фосфориты, органогенные известняки, кремнистые породы, сложенные скелетами радиолярий и диатомей и т.д. Способность концентрировать позволяет организмам участвовать в образовании рельефа (в море создавать рифы, а на суше постройки термитов).

Но самая поразительная способность живых организмов состоит в узнавании и разделении изотопов. Известно, что многие химические элементы представляют собой смесь изотопов в строго определенных пропорциях. В своих обменных процессах с окружающей средой организмы используют строго определенные изотопы химических элементов. Благодаря этому в биологических процессах происходит разделение изотопов (в тканях и в продуктах выделения присутствуют лишь некоторые из них). Эта способность разделять изотопы позволяет определять степень участия живых организмов в формировании тех или иных биокосных тел (по изменению естественных пропорций между изотопами).

**Взаимосвязи биологических процессов с геологическими, геофизическими и геохимическими.** Все рассмотренные биологические процессы приводят к тому, что, с одной стороны, живые организмы приспосабливаются к тем условиям существования, которые были созданы абиогенными процессами, а с другой – постоянно изменяют арену жизни, преобразуя своей жизнедеятельностью ход других биосферных процессов. Так, к примеру, появление 350 – 400 млн. лет тому назад наземного растительного покрова коренным образом изменило ход ряда геофизических

процессов, связанных с круговоротом воды в биосфере. Но наиболее существенные изменения произошли в целом ряде геохимических процессов, которые превратились в биогеохимические (см. ниже). Своей жизнедеятельностью живые организмы коренным образом преобразовали и процесс литогенеза. Деятельность человека по своей сути является своеобразным биологическим процессом, в котором важнейшую направляющую роль играет его разум, благодаря которому он и создал мир искусственных вещей, мир техники.

### ***Биогеохимические процессы***

Эти процессы отличаются от геохимических активным участием в них живых организмов, особенно продуктов их жизнедеятельности. Это изменяет весь ход миграции химических элементов в биосфере. Биогеохимические процессы идут за счет энергии химических реакций, а запасы этой химической энергии пополняются в основном в процессе фотосинтеза за счет излучения Солнца, и отчасти – тепловой энергии недр нашей планеты. Биохимические процессы играют существенную роль и в консервации в горных породах солнечной энергии, образуя тем самым первый этап в большом круговороте солнечной энергии. К мощнейшим биогеохимическим процессам относится постоянная ***регенерация свободного кислорода в атмосфере*** как побочного продукта фотосинтеза. Наличие свободного кислорода меняет весь ход геохимических процессов. Метан и сероводород, придававшие первичной атмосфере восстановительный характер, постепенно окислялись и переходили в другие соединения, частично выпадая в осадок. Не менее важным биогеохимическим процессом является ***удаление  $CO_2$  из атмосферы***. Это происходило и происходит в результате биогенного карбонатообразования, а также при использовании углерода для построения растительной массы, часть которой также захоронилась в толщах осадочных пород в виде торфа, постепенно переходящего в каменный уголь.

**В литогенезе (см. ниже) происходит разделение кремнезема ( $\text{SiO}_2$ ) и соединений алюминия и железа.** Среди осадочных пород появляются толщи, обогащенные кварцевыми песками ( $\text{SiO}_2$ ). После переплавления их в недрах Земли образуются разнообразные гранитоидные породы. Поэтому и говорят, что граниты – это следы былых биосфер. Характерной чертой биогеохимических процессов является то, что все они совершаются по принципу круговорота. Именно этот принцип позволяет живому веществу неограниченно долго использовать ограниченные запасы биогенных химических элементов, кларки которых весьма малы. Длительность таких круговоротов исчисляется десятками и сотнями тысяч лет. Они охватывают все пространство биосферы, при этом в разных ландшафтах они протекают по-разному. Собственно, эта дифференциация биогеохимических процессов является предметом специальной дисциплины – геохимии ландшафта.

**Изменение соотношений изотопов химических элементов в тех или иных естественных телах биосферы** – еще один биогеохимический процесс, который только еще начинают исследовать. В качестве примера приведем результаты изучения изотопов кислорода. У кислорода установлено три изотопа:  $^{16}\text{O}$ ,  $^{17}\text{O}$ ,  $^{18}\text{O}$ . Наиболее распространен в атмосфере  $^{16}\text{O}$ . На его долю приходится 99,76%, а на долю  $^{17}\text{O}$  – 0,04%,  $^{18}\text{O}$  – 0,2%. В геохимических процессах участвуют все три изотопа, а живое вещество избирательно использует только  $^{16}\text{O}$ . Общепринято считать, что кислород нашей атмосферы имеет исключительно биогенное происхождение, как побочный продукт жизнедеятельности организмов. В середине 80-х годов XX века новосибирский геолог и геохимик В.И. Бгатов (1985) обратил внимание на давно известный факт: кислород современной атмосферы на 2,3% тяжелее фотосинтетического, за счет большего содержания тяжелых изотопов, в основном  $^{18}\text{O}$ . Он начал искать и собирать факты, которые могли бы объяснить этот феномен. Для этого стал целенаправленно анализировать данные из самых разных разделов естествознания. Приведем собранные им факты.

Горные породы докембрия и фанерозоя по своему химическому составу идентичны, идентичны и продукты их химического выветривания. Значит, заключил В.И. Бгатов, источник кисло-

рода действовал постоянно на протяжении всей геологической истории. И именно он поставлял кислород в атмосферу тогда, когда еще фотосинтез отсутствовал.

Основные изверженные породы габбро, которые образовались при застывании магмы в тоще земной коры, содержат кислорода в своем составе больше, чем базальты, которые образовались из этой же магмы, при подводных или наземных излияниях лавы. В.И. Бгатов (1985) предположил, что при подводных излияниях базальтовой магмы часть кислорода переходит в придонные слои океанических вод. Иначе нельзя объяснить, почему все другие химические элементы магматического расплава и у габбро, и в базальтах сохраняются, а часть кислорода в базальтах исчезает в «неизвестном направлении». Убывший из базальтовой магмы кислород накапливался, вернее, в принципе мог накапливаться в океанических водах и непосредственно в атмосфере. Результаты анализов наземных вулканических газов показали, что в них наряду с другими газами содержится и свободный кислород в количествах от 0,04 до 12 – 15%.

В морской воде содержание растворенного в ней кислорода закономерно изменяется с глубиной. Во всех океанах выделяется верхний 200-метровый слой, который насыщен кислородом за счет фотосинтеза фитопланктона. С глубины 200 м и до 800 – 1000 м отмечается резкое падение содержания кислорода (в 3 – 4 раза), а далее с глубиной его содержание растет. При этом глубинные воды современного Атлантического океана более богаты кислородом, чем аналогичные воды Индийского и Тихого океанов. Кислород, растворенный в глубинных водах, характеризуется иным изотопным составом по сравнению с кислородом атмосферы и верхнего 200-метрового слоя океанов. В нем значительно больше примеси тяжелого изотопа  $^{18}\text{O}$ . Видимо, кислород поступает в придонные воды океанов в составе газовой фазы подводных базальтовых излияний. Неодинаковая насыщенность им глубинных вод Атлантического, Индийского и Тихого океанов объясняется различной интенсивностью излияния базальтовых магм. В Атлантическом океане таких излияний в настоящее время больше.

Основываясь на этих фактах, В.И. Бгатов (1985) предположил, что помимо фотосинтеза должен быть еще какой-то другой источник кислорода, который поставляет кислород иного изотопного состава (в нем больше тяжелых изотопов). Он выдвинул изящную гипотезу: источников атмосферного кислорода было, по крайней мере, два – эндогенный и фотосинтетический. «Кислород земной атмосферы есть результат смешения фотосинтетического (легкого), поступающего немедленно в атмосферу после своего рождения, и эндогенного кислорода (утяжеленного), поступающего в глубинные воды океана в результате дегазации основной магмы. Поступление эндогенного кислорода происходит посредством дегазации выходящих на дневную поверхность глубинных океанических вод» (Бгатов, 1985, с. 49 – 50). В течение геологического времени фотосинтетического кислорода генерировалось от  $6 \cdot 10^{10}$  до  $6,95 \cdot 10^{10}$  т ежегодно, а эндогенного –  $14 - 16 \cdot 10^{10}$  т. По соотношению изотопа  $^{18}\text{O}$  В.И. Бгатов оценил вклад фотосинтетического кислорода: 30% всего кислорода земной атмосферы, тогда как эндогенный составляет соответственно 70%.

По-иному стала выглядеть и роль живого вещества. «На заре развития Земли процесс поступления кислорода в атмосферу совершался только эндогенным путем (внутренними силами Земли). Уже в глубоком докембрии этот процесс создал одну из необходимейших предпосылок для появления жизни. Возникшая на более поздних этапах докембрийского развития Земли растительность, потребляя кислород в меньшем количестве, чем производя его, своей деятельностью поддерживает сложившееся равновесие в атмосфере. Иными словами, с момента своего возникновения она играла роль атмосферного санитара: очищая воздух от избыточного углекислого газа, поступающего в результате окислительных процессов (дыхание, горение и т.д.) и из наземных вулканических очагов» (Бгатов, 1985, с. 10).

В течение геологического времени количество продуцированного кислорода в разные периоды, изменялось очень незначительно (в пределах 4 – 5%). Но даже такие незначительные колебания губительны для животных, в том числе и для человека. Порогом для человека является уменьшение кислорода во вдыхаемом воздухе до 16 – 18%, т. е. на 3 – 5%. «Эпохи вымирания

проконтролированы эпохами снижения продуцирования кислорода. На переходе от эпох относительно мощного продуцирования кислорода к эпохам относительного снижения животные организмы вынуждены были эволюционировать, т.е. приспосабливаться к меняющемуся режиму атмосферы. Жизнь необходимо, в первую очередь, рассматривать как борьбу за газ, за кислород» (Бгатов, 1985, с. 67). При этом первыми это снижение начинали ощущать обитатели горных систем.

Приведенный пример показывает, что в исследовании биогеохимических процессов наступил новый этап. Если раньше при их изучении было достаточно точных химических анализов, то сейчас, в XXI веке, химико-аналитические данные должны дополняться результатами исследования изотопов.

\* \* \*

Итак, процессы, идущие в естественных телах биосферы, тесно связаны между собой, и среди них наблюдается определенная субординация. Первыми появились геологические и тесно связанные с ними геохимические процессы. Благодаря им возникли естественные тела глобальной размерности, которые затем биологическими процессами были объединены в космопланетарную систему – биосферу. Геологические и геохимические процессы создали и первичную дифференциацию биосферы, которая была усложнена геофизическими процессами. В своем развитии геофизические и биологические процессы были вынуждены вписаться в ход уже сложившихся геологических и геохимических процессов. Но они не пассивно следовали установленным рамкам («правилам игры»), а начинали влиять и преобразовывать ход уже существующих процессов. Так в течение многих сотен миллионов лет складывалась система прямых и обратных связей в биосфере.

## **Феномены, рождающиеся при взаимодействии естественных тел глобальной размерности**

Пространственное соседство и взаимодействие тел глобальной размерности порождают три биосферных феномена – климат, литогенез и эволюцию органического мира, которые, так или иначе, оказывают существенное влияние на каждое из взаимодействующих тел.

### ***Климат***

Климатом любого участка земной поверхности называют среднегодовое количество тепла и влаги, поступающих на него. Этот режим последовательно и закономерно изменяется по сезонам года. Этот феномен со времен А. Гумбольдта рассматривали как результат взаимодействия атмосферы, суши и моря. Если же учесть, что на климат влияет и рельеф, который создается тектоническими движениями литосферы, то в возникновении этого феномена участвуют все тела биосферы глобальной размерности.

Из-за шарообразности Земли лучистая энергия Солнца, поступившая на земную поверхность, распределена на ней весьма неравномерно. Больше всего ее получает экваториальная зона, меньше – приполярные зоны. Нагревание земной поверхности зависит не только от количества поступившего солнечного тепла, но и от свойств самой поверхности, получающей тепло. В географии эту поверхность называют подстилающей. От ее особенностей зависит, сколько из поступившего тепла пойдет на ее нагревание. Свойства подстилающей поверхности различны не только у моря и суши, но и между отдельными участками суши. В формировании этих различий на суше немалую роль играет создаваемый живым веществом растительный покров. В результате отдельные участки земной поверхности нагреваются неодинаково и также неодинаково своим длинноволновым излучением нагревают находящуюся над ними атмосферу. Неодинаковый на-

грев атмосферы ведет к появлению разного атмосферного давления. Благодаря возникающей разности атмосферного давления воздушные и водные массы приходят в движение: перетекают из областей повышенного давления в зоны пониженного. Так возникает циркуляция воздушных и водных масс. На путях движения воздушных и водных потоков встают горы и подводные хребты, которые создаются тектоническими движениями. Рельеф изменяет направление движения этих потоков, переносящих тепло и влагу. В результате образуется сложный рисунок перераспределения в биосфере тепла и влаги.

Тектонические движения литосферы влияют на климат не только тем, что создают горы, играющие роль барьеров. Они ответственны и за соотношения суши и моря. Для того чтобы понять этот механизм, обратимся к так называемой гипсографической кривой. Она в обобщенном виде отражает характер неровностей поверхности континентов и дна океанов, создаваемых совокупным действием тектонических движений и экзогенных процессов, приводящих к денудации (разрушению) гор. Первые создают неровности, а вторые сглаживают их.

Гипсографическая кривая – это своеобразный график, который строится следующим образом. Проводится нулевая линия, отвечающая уровню океана. Далее вверх от нулевой линии по оси ординат откладываем высоту рельефа на суше, вниз от нулевой линии – глубину моря, а по оси абсцисс ту площадь (в % от общей поверхности земли), которую занимают все высоты (глубины) меньше (больше) принятого значения высоты (глубины). По наклону гипсографической кривой судят о степени контрастности рельефа суши и дна моря. Гипсографическая кривая, показанная на рисунке 10.2, отвечает современному рельефу, при котором суша занимает на земной поверхности 29%, а океан 71%. Но в прошлые геологические эпохи наклон гипсографической кривой не оставался постоянным. В начальные периоды геологического развития эта кривая могла быть и была значительно положе (см. раздел 11). Поэтому менялось соотношение суши и моря, а следовательно, иным был и весь рисунок распределения подстилающих поверхностей с различными свойствами. Так тек-

тонические движения в литосфере через изменения соотношений суши и моря влияют на климат.

Наблюдаемое распределение климатов в биосфере в каждый момент ее истории называют климатической зональностью. Возникшая климатическая зональность в первом приближении симметрична по отношению к экватору. Но вместе с тем наблюдаются определенные отклонения от двусторонней симметрии, или, как говорят, появляется диссимметрия (нарушение симметрии).

Важной характеристикой климатической зональности биосферы является степень контрастности климатов низких и высоких широт. Эта степень контрастности измеряется так называемым термическим градиентом – разностью среднегодовых температур низких и высоких широт. Современный термический градиент равен  $21^{\circ}$ . В истории биосферы он не оставался постоянным (уменьшался или увеличивался). Соответственно менялась и контрастность климатической зональности, а через это и весь ход биосферных процессов. В эпохи малой контрастности климатов животный и растительный мир тропиков может продвигаться далеко на север и юг от экватора, заходя даже в приполярные области. А в эпохи высокой контрастности климатов – они в своем распространении стягиваются к экватору.

Итак, такой феномен, как климат, порождается взаимодействием всех естественных тел глобальной размерности. Поскольку от количества тепла и влаги, а также от режимов их поступления зависит большинство процессов, происходящих в биосфере, то климат накладывает отпечаток на все эти процессы, определяя их ход.

## *Литогенез*

Термином *литогенез* называют процесс образования осадочных горных пород в биосфере, точнее в ландшафтной сфере континентов и в океане. На процессы литогенеза оказывают большое влияние рельеф и климат как результирующие взаимодействия естественных тел биосферы глобальной размерности. Литогенез состоит из трех последовательных этапов: мобилизации осадоч-

ного материала, переноса мобилизованного вещества и отложения его в конечных водоемах стока.

**Мобилизация осадочного материала** в основном приурочена к ландшафтной оболочке континентов. Она включает в себя разрушение (дезинтеграцию) и преобразование вещества горных пород литосферы, выходящих на земную поверхность, различными физическими агентами при участии живого вещества. Эти преобразования происходят в коре выветривания, в которой протекают при участии атмосферного кислорода, углекислого газа и окислов азота различные геохимические и биогеохимические процессы, ведущие к изменению вещества исходных материнских пород. Именно при процессах выветривания такие эндогенные (глубинные) минералы, как полевые шпаты и слюды, переходят в глинистые минералы. Далее в глинах при биогеохимических процессах разрушается каолиновое ядро, в результате чего на последующих этапах литогенеза происходит пространственное разделение  $Al_2O_3$  и  $SiO_2$ .

**Перенос мобилизованного вещества** осуществляется в основном текучими водами суши, а также подводными течениями в океане, а частично и воздушными потоками. Перенос вещества текучими водами осуществляется в четырех формах:

- в виде влекомых по дну крупных обломков горных пород, которые при переносе частично или полностью разрушаются,
- в виде взвешенных в воде мелких частиц,
- в коллоидных растворах,
- в ионных растворах, в образовании которых велика роль живых организмов и продуктов их жизнедеятельности.

При переносе вещества текучими водами происходит его дальнейшее преобразование в результате различных геохимических и биогеохимических процессов. В частности, продолжается подготовка к раздельному осаждению  $Al_2O_3$  и  $SiO_2$  в конечных водоемах стока.

**Осаждение перенесенного вещества** происходит в основном в океане как конечном водоеме стока, но частично транспортируемый материал может откладываться и в бессточных понижениях рельефа континентов. В конечных водоемах стока ионные растворы постепенно накапливаются и становятся более

концентрированными благодаря испарению воды. Так формируется солевой состав океанических вод. В осаждении привнесенного материала в конечных водоемах стока огромную роль играют живые организмы. Именно они извлекают из морской воды и переводят в осадок огромные массы карбоната кальция, образуя толщи известняков. Радиолярии и диатомовые водоросли для построения своего скелета извлекают кремнекислоту, образуя на дне слой радиоляритов и диатомитов, обогащенных  $\text{SiO}_2$ .

**Типы литогенеза.** Поскольку все физические, геохимические и биогеохимические процессы мобилизации вещества, его переноса и осаждения зависят от количества тепла и влаги, то климат в основном и определяет характер литогенеза. Н.М. Страхов (1963) выделяет следующие типы литогенеза – гумидный, аридный и ледовый, которые значительно различаются между собой по характеру физических, геохимических и биогеохимических процессов. Этот исследователь выделил и азональный тип литогенеза – вулканогенно-осадочный, который формируется в любых климатических зонах под влиянием вулканизма наземного и подводного.

В процессе литогенеза образуются осадочные породы, обогащенные кремнекислотой (кварцевые песчаники, радиоляриты и т.д.). Эти породы нисходящими тектоническими движениями опускаются в недра литосферы. Там они переплавляются и возвращаются на поверхность, но уже в виде гранитной магмы, которая, застывая, образует цоколь континентов. Без поверхностного разделения окислов алюминия и кремнезема, в котором решающую роль играет атмосферный кислород и живое вещество, невозможно получить исходный материал, при плавлении которого получалась бы гранитная магма. Таким образом, литогенез является начальным звеном большого круговорота солнечной энергии, о котором говорилось ранее. Как раз в процессе литогенеза и происходит частичная консервация лучистой энергии Солнца в обломочных и глинистых породах, образующихся в процессе литогенеза.

Итак, литогенез возникает в результате взаимодействия всех естественных тел биосферы глобальной размерности. Это взаимодействие проявляется как непосредственно, так и через климат,

который определяет пространственное расположение типов литогенеза. В свою очередь литогенез является важнейшим звеном в большом круговороте солнечной энергии, который обеспечивает в значительной степени энергетику глубинных процессов. Кроме того, литогенез в ходе геологической истории биосферы изменяет строение отдельных естественных тел (литосферы, океана и ландшафтной сферы).

### ***Эволюция живого вещества***

Для понимания геологического проявления живого вещества как планетного явления надо выяснить в первую очередь характер взаимодействия живого вещества с естественными телами биосферы глобальной размерности. Для этого рассмотрим:

- в результате чего возникает эволюция живого вещества,
- как эта эволюция влияет на естественные тела биосферы,
- как они, в свою очередь, влияют на эволюцию.

***В результате чего возникает эволюция живого вещества.*** В.И. Вернадский считал, что “на земной поверхности нет химической силы, более постоянно действующей, а потому и более могущественной по своим конечным последствиям, чем живые организмы, взятые в целом. ... Жизнь является великим, постоянным и непрерывным нарушителем химической косности поверхности нашей планеты” (Вернадский, 1960, с. 21 – 22). Такой взгляд позволил ему внести ряд существенных дополнений в понимание вида. Если раньше, до его работ, вид рассматривали как морфофизиологическую определенность, то В.И. Вернадский в основные его характеристики ввел средний химический состав, присущий особям вида, и биогеохимическую энергию, под которой понимал эффект воздействия вида на окружающую среду. Он показал, что с повышением геохимической энергии вида усиливается биогенная миграция атомов. После его работ многие естествоиспытатели стали считать, что вид – это морфологическая система, помноженная на геохимическую определенность.

Огромное влияние жизни на окружающую среду проявляется в том, что В.И. Вернадский назвал давлением жизни. Оно проис-

ходит при росте и размножении организмов в результате превращения энергии Солнца в биогеохимическую энергию. Давление жизни проявляется двояко. Во-первых, в большой скорости размножения, быстрой смене поколений, что ведет к увеличению численности особей любого вида и к их стремлению расширять ареал своей жизнедеятельности, экспансия жизни. Во-вторых, в том, что биогеохимические процессы, в которых самым непосредственным образом участвует живое вещество, преобразуют естественные тела биосферы.

В свою очередь естественные тела биосферы на это давление жизни накладывают свои ограничения, которые возникают из-за сравнительно небольших запасов в них биогенных химических элементов, ограниченного количества приходящей лучистой энергии Солнца, а также конечных размеров пространства самой биосферы.

*Эта ограниченность жизненно важных природных ресурсов порождает среди живых организмов, с одной стороны, жесточайшую конкуренцию за питательные минеральные вещества, за газ, необходимый для дыхания, за лучистую энергию и за пространство для своей жизнедеятельности, а с другой – кооперацию.*

В этой борьбе, в конечном счете, *побеждает тот, кто сумеет эти ограниченные ресурсы использовать наиболее эффективно.* Собственно, в этом и проявляется принцип конкуренции, обеспечивающий тонкую настройку механизма биогеохимических круговоротов на наиболее эффективное использование ограниченного количества природных ресурсов в жизнедеятельности организмов. Конкуренция неизбежно ведет к естественному отбору наиболее приспособленных к «правилам игры», что сложились в биосфере вследствие конечных размеров ее ресурсов. Наряду с конкуренцией проявляется кооперация организмов как действенный механизм эволюции. Взаимопомощь и взаимодействие разных видов позволяют более эффективно передавать энергию, вещество и информацию в надорганизменных системах.

Само развитие жизни В.И. Вернадский связывал с постоянным противоречием между способностью организмов к быстрому

размножению и ограниченностью материальных и энергетических ресурсов жизни в каждый момент геологического времени. Он видел разрешение этого противоречия в создании все более прогрессивных форм, способных как к завоеванию новых зон жизни, овладению новыми источниками минеральных веществ, так и к более эффективному использованию уже освоенных ресурсов. Именно фрактальная организация живого вещества способствует интенсификации метаболизма при минимизации его общего объема. Иными словами, *эволюция живого вещества – это способ разрешения противоречия между способностью организмов к быстрому размножению и ограниченностью ресурсов жизни, чему и способствует фрактальная организация.*

**Влияние эволюции живого вещества на естественные тела биосферы.** На основе анализа большого фактического материала В.И. Вернадский сформулировал в виде эмпирических обобщений три следующих биогеохимических принципа. 1. Биогенная миграция атомов стремится к максимуму. 2. Эволюция видов в ходе геологического времени идет по пути увеличения биогенной миграции атомов в биосфере. Сложившиеся системы биогеохимических круговоротов препятствуют возникновению форм с более низкой биогеохимической энергией. Однако не каждый вид должен эволюционировать в сторону ускорения миграции. 3. В каждый период геологического времени заселение планеты должно быть максимально возможным для живого вещества.

В геологической истории биосферы живое вещество постепенно, шаг за шагом, распространило поле жизни на все естественные тела глобальной размерности. Впервые появившись в океане, оно полностью освоило его пространство. Потом, чтобы снять те ограничения, которые накладывали на их развитие физико-химические свойства морской воды, живые организмы вышли на сушу. Это случилось примерно 400 млн. лет тому назад. Выйдя на сушу, живое вещество освоило поверхность континентов, создав ландшафтную сферу с многоярусным распространением живых организмов. Далее пришла очередь атмосферы, которую, кроме микроорганизмов, заселили птицы. Они стали играть решающую роль в обмене вода – суша. Они явились, с геохимиче-

ской точки зрения, антиподом рек. Реки выносили элементы в конечные водоемы стока, а птицы с моря на сушу. Появление птиц резко усилило миграцию атомов в биосфере. Достаточно вспомнить их сезонные миграции на многие тысячи километров и суточные миграции суша – море. “Создание этих летающих видов позвоночных резко отразилось на химическом богатстве моря и суши, оно внесло изменения в историю отдельных элементов” (Колчинский, 1990, с. 38). Птицы способствовали и переносу микроорганизмов, беспозвоночных, других мелких форм организмов по планете. Мы пока еще не знаем, когда и как далеко вглубь в верхнюю часть литосферы проникло живое вещество. Но то, что определенные формы микроорганизмов освоили какую-то часть подземного пространства до глубин 8 км, это несомненный факт. Он подтверждается наличием уже известных огромных запасов нефти и газа, которые являются побочными продуктами жизнедеятельности этих микроорганизмов.

Самый главный результат давления жизни заключается в том, что оно создало в биосфере особые термодинамические условия, которые привели к сокращению энтропии и росту превратимой энергии в ней. Наиболее наглядно эта сторона давления жизни проявилась в превращении восстановительной обстановки на нашей планете в окислительную, в формировании и стабилизации солевого состава океанических вод, газового состава атмосферы, в преобразовании химической и минеральной структуры горных пород верхней части литосферы. Огромная геохимическая роль живого вещества подчеркивается еще и тем, что хотя масса его на много порядков меньше массы любого естественного тела глобальной размерности, оно сумело в течение геологического времени создать неимоверно большое количество биокосного вещества, которое стало играть основную роль в строении естественных тел биосферы. Ведь атмосферный воздух, океанические воды, большинство осадочных горных пород – все это, по существу, разные тела, сложенные биокосным веществом. Да и сами граниты, слагающие цоколь континентов, можно рассматривать как продукты переработки биокосных тел былых биосфер. Для оказания такого огромного давления живое вещество должно обладать очень большими запасами превратимой энергии. Эти

запасы создаются благодаря способности живого вещества концентрировать и консервировать энергию. В первую очередь благодаря фотосинтезу, который присущ морским и наземным зеленым растениям, причем у наземной растительности он протекает более интенсивно.

Помимо этого замечательного свойства (концентрировать и запасать биогеохимическую энергию впрок) у живого вещества геологически сравнительно недавно проявилось еще одно свойство. Оно было открыто в последней четверти XIX столетия С.А. Подолинским (1991). Этот естествоиспытатель показал, что “процесс **человеческого труда** есть такой особенный процесс природы, который может считаться **усилителем мощности**. Само собой разумеется, что для “усиления” мощности на самом деле необходимо “улавливать” тот или иной **поток** энергии. Одним из самых простых примеров “улавливания” **потока** энергии является фотосинтез – тот самый фотосинтез, который и обеспечивает рост растений” (Кузнецов, 1991, с. 8). Такими потоками энергии, помимо фотосинтеза, могут быть ветер, падающая вода, процесс радиоактивного распада и, наконец, те запасы биогеохимической энергии, что были созданы живым веществом в залежах каменного угля и углеводородов. Именно С.А. Подолинский показал, что единственным природным процессом, который характеризуется коэффициентом полезного действия свыше ста процентов, является человеческий труд. Он писал: “Труд есть такое потребление механической и психической работы, накопленной в организме, которое имеет результатом увеличение количества превратимой энергии на земной поверхности. Увеличение это может происходить или непосредственно – через превращение новых количеств солнечной энергии в более превратимую форму, или посредством – через сохранение от рассеяния, неизбежного без вмешательства труда, известного количества уже существующей на земной поверхности превратимой энергии” (Подолинский, 1991, с. 35).

Итак, “Живое вещество охватывает и перестраивает все химические процессы биосферы, действенная его энергия по сравнению с энергией косного вещества огромна. Живое вещество есть самая мощная геологическая сила, растущая с ходом време-

ни” (Вернадский, 1965, с. 127). Этот ее рост обусловлен эволюцией живого вещества, возникшей для разрешения противоречия между способностью организмов к быстрому размножению и ограниченностью в биосфере ресурсов жизни.

**Влияние естественных тел биосферы на эволюцию живого вещества.** Эволюция основана на таких свойствах живого вещества, как скорость передачи жизни и приспособляемость. Скорость передачи жизни зависит как от характера механизма размножения, так и от пределов, установленных размерами и свойствами нашей планеты. Способность к размножению у всех организмов выражается геометрическими прогрессиями. Этот процесс задерживается только внешними силами: он замирает при низких температурах, прекращается или ослабляется при недостатке пищи или источников дыхания, при отсутствии места для обитания вновь создаваемых организмов. Если не будет внешних препятствий, любой организм в разное время (определенное для каждого) может размножившимися особями покрыть весь земной шар, произвести по объему потомство, равное массе океана или земной коры. В мире организмов в биосфере идет жесточайшая борьба за существование – не только за пищу, но и за нужный газ. Дыханием определяется максимально возможная геохимическая энергия жизни на гектар (Вернадский, 1960).

Приспособляемость живых существ необычайно велика, а формы ее проявления при расширении поля жизни бесчисленны. Но основные направления приспособляемости определяются необходимостью преодоления тех ограничений, которые накладываются биосферой на скорость передачи жизни (см. выше). Собственно, этим намечаются главные направления эволюции. **Первое** из них – это повышение эффективности геохимической энергии для расширения поля жизни. Известно, что наибольшая геохимическая энергия присуща бактериям, цианобитам и другим микроорганизмам за счет продуцирования и расходования больших количеств биомасс. Но в эволюционном процессе важно не просто количество геохимической энергии, а *эффективность ее использования для расширения поля жизни*. К.М. Завадский (1958) предложил весьма простой и наглядный способ оценки этой энергетической эффективности при помощи критерия вы-

живаемости. У низших организмов этот критерий выживаемости равен  $1/10^9 - 1/10^{10}$  особей из числа родившихся. У высших животных он достигает 10 – 30% от числа родившихся. Огромное число родившихся особей у бактерий можно рассматривать как своеобразную страховку: кто-нибудь да выживет и даст потомство. **Второе направление** – появление организмов наиболее эффективно использующих солнечную энергию для синтеза органических веществ. Это направление реализуется в эволюции наземного растительного покрова. **Третье направление** – эволюция двигательной активности животных как средство усложнения цикла миграции химических элементов в биосфере, активный перенос их животными в разные части биосферы. **Четвертое направление** – цефализация как развитие и усложнение центральной нервной системы, появление умственной деятельности. Это способствует ускорению биогенной миграции атомов. К этому направлению принадлежит и появление человеческого труда, который С.А. Подолинский (1991) рассматривал как своеобразный “усилитель” мощности.

Когда прослеживают в геологической истории биосферы эти генеральные направления эволюции и другие, им подчиненные, то сразу бросается в глаза неравномерность темпов развития. Эта неравномерность послужила основанием для выделения этапности развития органического мира прошлого. Такой прерывисто-непрерывный характер развития живого вещества был установлен еще в XIX веке. Можно предполагать, что прерывистость развития фаун в известной мере послужила Ж. Кювье основанием для создания теории катастроф. Вместе с тем великие эволюционисты прошлого (Ч. Дарвин, Ж. Ламарк, А. Уоллес) с несомненностью доказали непрерывный характер развития органического мира. Впоследствии эти две стороны единого процесса эволюции не раз привлекали внимание многих исследователей. Подробная история этого вопроса освещена Л.Ш. Давиташвили (1948) и В. В. Меннером (1962). В.В. Меннер (1962) рассматривал этапность развития органического мира в тесной взаимосвязи с циклическими изменениями физико-географических условий среды обитания. Следовательно, прерывисто-непрерывный характер эволюции живого вещества (этапность развития живых организ-

мов), в самом общем виде, обусловлен циклическими процессами, происходящими в недрах литосферы (периодичность тектонических движений и гранитоидного вулканизма). Это еще один уровень воздействия естественных тел глобальной размерности на эволюционный процесс.

Итак, эволюция живого вещества – это удачно найденный им эффективный способ разрешения противоречия между способностью (стремлением) организмов к быстрому размножению и ограниченностью ресурсов жизни. Было найдено средство, повышающее производительность того природного капитала, который обеспечивает его жизнедеятельность. Особенность этого способа: увеличить производительность природного капитала можно, только совершенствуя свои качества. Возникновению эволюции способствовало воздействие на живое вещество тех периодических природных процессов, которые возникали и возникают в естественных телах биосферы под влиянием Космоса, в частности небесной механики. При этом происходило преобразование периодических процессов, присущих естественным телам, в необратимую эволюцию живого вещества. Эволюционирующее живое вещество постепенно охватило все пространство биосферы и стало перестраивать все химические процессы, присущие ему. Так необратимая эволюция живых организмов привела, в конечном счете, к необратимому развитию всей биосферы.

В целом биосфере свойственна сложная многоуровневая внутренняя структура, исследование которой еще только начинается. Отдельным элементам её присущи не только различные соотношения типов вещества, но и разное строение, и разный характер присущих каждому из них природных процессов. Однако эти столь разнородные части связаны в единое целое непрерывным биогенным потоком атомов, осуществляемым живым веществом более 3 млрд. лет за счет фотосинтетического преобразования лучистой энергии Солнца. В этом едином целом в результате сложных взаимодействий естественных тел глобальной размерности возник ряд феноменов (климат, литогенез, необратимая эволюция живого вещества), присущих биосфере в целом.

## Семинар 7.1

### Вопросы к контрольной работе

1. Дайте по В.И. Вернадскому определение каждого из семи типов вещества, слагающего биосферу: космического, косного, радиоактивного, рассеянного, биогенного, живого, биокосного.

### Вопросы для обсуждения

1. Перечислите семь типов вещества, слагающих биосферу, и укажите их отличия друг от друга.

2. Какие специфические процессы присущи только живому веществу?

3. Прочему, с Вашей точки зрения, именно у живого вещества проявляется диссимметрия?

4. Проанализируйте биогенную классификацию элементов по В.И. Бгатову (1999) и основные моменты в эволюции живых организмов.

5. На каких этапах литогенеза в наибольшей степени проявляется влияние живого вещества?

6. В чем Вы видите влияние эволюции живого вещества на естественные тела биосферы?

## Семинар 7.2

### Задания для самостоятельной работы

1. Постройте схему-таблицу по телам глобальной размерности. Сопоставьте атмосферу, мировой океан, литосферу и ландшафтную сферу по размеру, составу, живому веществу, главным процессам.

2. Проанализируйте таблицу по телам глобальной размерности.

## Семинар 7.3

### Задание для самостоятельного проведения семинара

1. Кратко систематизируйте основы тех знаний о рассмотренных процессах, которые вы почерпнули из уже прослушанных дисциплин или других источников. Выделите из них те, что считаете главными для понимания хода и взаимодействия процессов, идущих в биосфере.

2. Придумайте форму представления, в которой наглядно были бы видны различия главнейших процессов: геологических, геофизических, биологических, геохимических, биогеохимических.

3. Представьте взгляды В.И. Бгатова на два источника происхождения кислорода атмосферы (эндогенное и фотосинтетическое). (Группа из 5 человек).

– Факты и эмпирические обобщения в виде графиков и таблиц.

– Обоснование двух источников происхождения кислорода атмосферы (эндогенного и фотосинтетического).

– Какие узловые моменты в истории биосферы объясняют взгляды В.И. Бгатова?

– В чем Вы видите сильные и слабые стороны взглядов В.И. Бгатова?

– Дискуссия с вопросами от всех участников семинара.

## **Семинар 7.4**

### **Вопросы для обсуждения**

1. Каковы основные факторы формирования климата при взаимодействии тел глобальной размерности?

2. Что такое гипсографическая кривая?

3. На каких этапах литогенеза в наибольшей степени проявляется влияние живого вещества и почему?

4. В чем Вы видите влияние эволюции живого вещества на естественные тела биосферы? Приведите примеры.

5. В чем сказывается влияние естественных тел биосферы на эволюцию живого вещества? Приведите примеры.

### **Литература**

Бгатов В.И., 1985, 1999; Будыко М.И., 1981; Гумилев Л.Н., 1993; Ермолаев М. М., 1975; Калесник С.В., 1947; Кузнецов П.Г., 1991; Подолинский С.А., 1991; Перельман А.И., Касымов Н.С., 1999; Хильми Г.Ф., 1966.

## 8. Потоки энергии в биосфере

*По существу биосфера может быть рассматриваема как область земной коры, занятая трансформаторами, переводящими космическое излучение в действенную земную энергию – электрическую, химическую, механическую, тепловую и т. д.*

***В.И. Вернадский***

*Благодаря живому веществу энергия солнечного излучения не просто воздействует на поверхность Земли, а становится энергией Земли и ее процессов.*

***Г.Ф. Хильми***

Элементы любой системы взаимодействуют только при наличии энергии. Поэтому в основе биосферных процессов лежит преобразование энергии из одной формы в другую, в результате чего формируются совершенно определенные потоки энергии в биосфере. Они обеспечивают энергетику ее функционирования и развития. При рассмотрении этих потоков энергии потребуются знакомство с понятиями и законами термодинамики (см. раздел 3).

### **Энергетическое взаимодействие биосферы с окружающей средой**

Через границы биосферы постоянно идут потоки энергии. Из Космоса поступает лучистая энергия Солнца и космическое излучение, а в Космос уходит часть теплового излучения Земли. Из недр нашей планеты в биосферу идет поток тепла и тектониче-

ская энергия, а из биосферы в недра – поток законсервированной солнечной энергии. Потоки, которыми биосфера обменивается с Космосом, называются экзогенными, а идущие из биосферы в недра Земли и обратно – эндогенными.

**Экзогенные потоки энергии.** Солнце – основной источник энергии, поступающей в биосферу из Космоса. Плотность солнечной радиации –  $2,3 \cdot 10^5$  эрг/см<sup>2</sup>с (космическое излучение на много порядков ниже, и им можно пренебречь). Защитные уровни биосферы пропускают в нее узкий спектр световых волн Солнца (с длиной волны от 320 до 700 нм). Поступившая в биосферу лучистая энергия Солнца частично расходуется на нагревание естественных тел, создание влагооборота, частично преобразуется в энергию движущейся воды и в биогеохимическую энергию, а часть консервируется в осадочных породах. От поверхности Земли в сторону Космоса идет длинноволновое тепловое излучение. Часть его в биосфере задерживается облаками, а часть через «тепловое окошко» безвозвратно уходит в Мировое пространство. Количество экзогенной энергии, поступившей в биосферу, равно тому ее количеству, которое ушло из нее в Космос в виде длинноволнового теплового излучения (Калесник, 1947).

**Эндогенные потоки энергии.** Из недр Земли в биосферу энергия поступает в виде теплового потока и энергии тектонических движений, которые сами возникают при глубинных преобразованиях вещества под воздействием тепла. До сих пор окончательно не установлены источники эндогенного тепла. Бесспорно, что их много, но какой вклад вносит каждый из них, оценивается по-разному. Наиболее часто указывают следующие источники тепла в недрах Земли. 1. Распад радиоактивных элементов (торий, уран, радий калий 40 и ряд других). Это признается всеми. Ежегодно выделяется  $7,5 \cdot 10^{14}$  кал тепла, расход его составляет  $9,5 \cdot 10^{12}$  кал. Это указывает на накопление этого вида тепла в недрах Земли (Гавриленко, Дерпгольц, 1971). 2. Некоторые экзотермические процессы (минералообразование, метосоматоз, кристаллизация). 3. Встреча подземных рассолов с пресными водами. 4. Гравитационная дифференциация вещества при образовании Земли. Количество выделяемого при этом процессе тепла

оценивается от 0,6 эрг/(см<sup>2</sup>с) (Е.Н. Люстих) до 310 эрг/(см<sup>2</sup>с) (Е.А. Любимова). 5. Существует гипотеза Г.Ф. Оди́нца о ротационном тепле, которое идет на нагрев внутренних частей Земли и на излучение в мировое пространство. По его мнению, этот источник тепла возник из-за неоднородности распределения плотности вещества литосферы, а также верхней мантии и колебаний скорости вращения Земли. Ротационное тепло эквивалентно  $4,81 \cdot 10^{28}$  кал/год (Гавриленко, Дерпгольц, 1971). 6. После образования биосферы возник еще один источник эндогенной энергии: за счет расконсервации солнечной энергии, захороненной биосферными процессами в глинистых минералах, каустобиолитах. Полагают, что ежегодно консервируется примерно 1% поступающей солнечной энергии. За 3,5 млрд. лет существования биосферы это будет порядка  $13 \cdot 10^{38}$  эрг, что в 5 – 8 раз больше радиогенной энергии.

Эндогенная энергия в биосферу поступает в виде потока тепла и тектонической энергии. Различают три способа поступления тепла из недр Земли: за счет обычной теплопроводности горных пород; перенос тепла электромагнитным излучением, особенно при высоких температурах; перенос тепла движущейся массой (гидротермальный процесс, дегазация, вулканизм и магматизм, образование гор, конвективные токи). Если обычная теплопроводность и радиационный перенос не в состоянии обеспечить быстрый отвод тепла, то вещество мантии либо размягчается до такой степени, что в ней возникают течения, либо частично плавится. В последнем случае движение расплавленного вещества обеспечивает эффективный отвод тепла в биосферу (через вулканизм). Тепло, переносимое массами, в полтора раза больше, чем за счет теплопроводности горных пород.

Итак, биосфера непрерывно обменивается потоками энергии как с Космосом, так и с недрами Земли. Эти потоки находятся между собой в динамическом равновесии. Такое равновесие поддерживалось на протяжении всей истории биосферы в строго определенных границах. Об этом свидетельствует тот непреложный факт, что живое вещество в биосфере непрерывно развивалось в течение 3,5 млрд. лет, а ему для своей жизнедеятельности был необходим строго определенный температурный режим, который

и выдерживался. Поддержание теплового баланса идет за счет изменения соотношения между эндогенными потоками энергии, идущими к биосфере и от нее. В этом механизме, регулирующем температурный режим, особая роль принадлежит консервации биосферными процессами части энергии. Процессы консервации идут при самом непосредственном участии живого вещества, которое этим способом удерживает температурный режим в рамках, оптимальных для своей жизнедеятельности. С этой точки зрения, недра Земли играют роль огромной буферной системы, в которую отводятся из биосферы излишки энергии и откуда она может поступить в случае необходимости.

### **Энергетическое обеспечение геологических и геохимических процессов**

Недра нашей Земли, в которых совершаются геологические и геохимические процессы, можно рассматривать как «мощную тепловую машину», некий «котел» сверхвысокого давления с весьма тонкой и непрочной стенкой (Белявский, Федынский, 1961). Этот образ прекрасно передает суть энергетических процессов в каменном теле нашей планеты. Стенки этого «котла» то тут, то там периодически и очень часто прорываются. Но прорывы способны к самозалечиванию, хотя, в масштабах геологического времени, и не надолго. Энергия этого «котла» расходуется на физико-химические процессы, связанные с дифференциацией вещества, и на миграцию химических элементов, а также на те или иные подвижки стенок «котла», которые мы воспринимаем как тектонические движения. Этот «котел» находится в неустойчивом термодинамическом равновесии, которое в отдельных частях его постоянно нарушается либо за счет локального повышения температуры, либо роста или падения давления. В качестве «спускового механизма», благодаря которому в тех или иных частях «котла» бывает перейден порог устойчивости термодинамического равновесия, могут выступать различные космические факторы, в частности гравитационные воздействия Луны и Солн-

ца, особенно когда силы их влияний складываются, изменение скорости вращения Земли и целый ряд других.

Основные потоки энергии связаны с перемещениями флюидов, которые представляют собой раствор твердых, жидких и газообразных компонентов. Различают три вида миграции флюидов из недр Земли к ее поверхности: *струйные течения* (флюация), идущие по зияющим каналам, трещинам, системам полостей от области большего давления к меньшему; *фильтрация* (просачивание раствора через пористую среду) от среды с большим давлением к среде с меньшим давлением или под влиянием сил гравитации; *диффузия*, когда раствор стремится к выравниванию химического потенциала и его движение направлено в сторону снижающейся концентрации. Возможна и разновидность этого процесса – *термодиффузия*, когда раствор движется в сторону снижающейся температуры (Гавриленко, Дерпгольц, 1971).

Итак, с термодинамической точки зрения геологические и геохимические процессы ведут как к увеличению энтропии биосферы, так и к уменьшению ее. Энтропия сокращается при тектонических движениях, создающих рельеф, который является необходимой предпосылкой для получения энергии движущейся воды при геофизических процессах. Запасы превратимой энергии пополняются, когда при эндогенных геохимических процессах производится свободный кислород, потоки которого идут из недр Земли в биосферу.

## Энергетическое обеспечение геофизических процессов

В изучении энергетики геофизических процессов огромную роль сыграла деятельность в конце XIX – начале XX века А.И. Воейкова. Он организовал в России сеть станций наблюдения за метеорологическими и климатическими явлениями и за-

ложил основы обработки результатов наблюдений. Это помогло выяснить и понять многие закономерности формирования погоды и климата, энергетику геофизических процессов в биосфере, которая формирует климатическую зональность.

Геофизические процессы, идущие в атмосфере и гидросфере, совершаются в основном за счет тех потоков энергии, которые возникают при преобразовании в биосфере лучистой энергии Солнца и тепловой энергии, идущей из недр Земли. Потоки энергии в атмосфере подробно рассмотрены С.В. Калесником (1947). Он указывает, что на внешнюю границу биосферы в целом поступает в сутки  $700 \text{ кал/см}^2$ . Из этого количества только 27% (189 кал) доходит до дневной поверхности. В космическое пространство облаками отражается 33% (231 кал). Рассеивается в атмосфере 25% (175 кал.), из них 9% (63 кал) уходит в Космос, а 16% (112 кал) доходит до земной поверхности. 15% (105 кал) прямой солнечной радиации идет непосредственно на нагревание атмосферы. Таким образом, из поступившей солнечной энергии 42% (294 кал) отражается в Космос, 43% (301 кал) достигает поверхности земли (суши и водной глади) и лишь 15% (105 кал) идет на нагревание атмосферы (рис. 8.1).

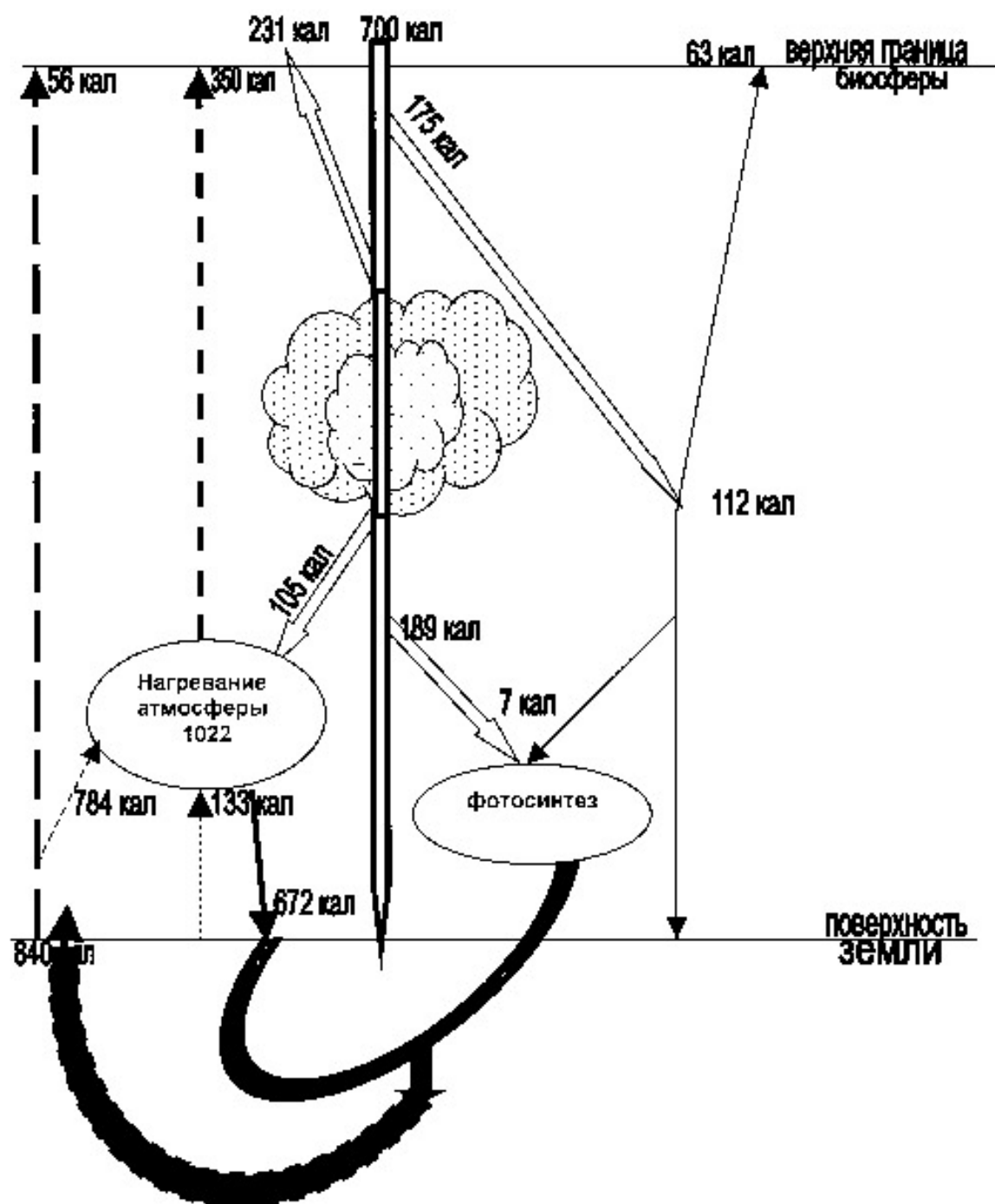








Рис. 8.1. Принципиальная схема преобразования прямой солнечной радиации и длинноволновой радиации поверхности Земли и её атмосферы (по С.В. Калеснику, 1947 с дополнениями)

Условные обозначения к рис. 8.1  
Принципиальная схема преобразования  
прямой солнечной радиации и длинноволновой  
радиации поверхности Земли и её атмосферы

-  прямая солнечная радиация;
-  рассеянная солнечная радиация;
-  скрытая теплота конденсации;
-  длинноволновая радиация поверхности земли и атмосферы;
-  тепловой поток из недр земли;
-  консервация энергии при литогенезе;

Цифры на схеме показывают мощность потока энергии (в кал. см<sup>2</sup>/сутки).

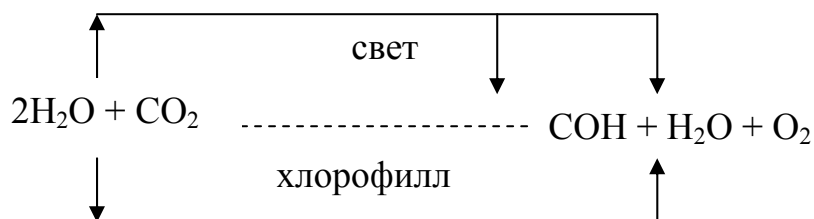
От поверхности Земли в атмосферу в сутки с каждого квадратного сантиметра поверхности уходит 840 кал длинноволнового теплового излучения. Этот поток частично формируется за счет преобразования коротковолнового излучения Солнца в длинноволновое и частично за счет теплового потока, идущего из недр Земли. Основная часть этого длинноволнового излучения идет на нагревание атмосферы (784 кал) и лишь 8% (56 кал) уходит через тепловое окошко в Космос. Следовательно, атмосфера нагревается главным образом за счет длинноволнового теплового излучения Земли и лишь частично (11%) за счет лучистой энергии Солнца. Кроме того, с поверхности Земли в атмосферу идет поток энергии вместе с парами воды (в виде скрытой теплоты парообразования). Этим способом переносится 133 кал (рис. 8.2). У поверхности Земли часть лучистой энергии Солнца преобразуется в результате фотосинтеза в биогеохимическую энергию (см. ниже). Часть тепловой энергии расходуется в зоне выветривания на минералообразование, и тем самым консервируется. Из нагретой атмосферы идут два потока тепловой энергии: один уходит в Космос (350 кал), а другой направлен к поверхности Земли (672 кал) (см. рис. 8.2).

Итак, с термодинамической точки зрения геофизические процессы ведут как к увеличению, так и уменьшению энтропии биосферы. В частности энтропия уменьшается при превращении тепловой энергии атмосферы в энергию ветра, а при влагообороте – в энергию движущейся воды.

## **Энергетическое обеспечение биологических и биогеохимических процессов**

Особенность биологических и биогеохимических процессов с энергетической точки зрения заключается в том, что они ведут к увеличению запасов свободной энергии в биосфере, иначе говоря, уменьшают ее энтропию. В процессе фотосинтеза происходит преобразование молекул углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) в атомы углерода и атомы кислорода.





**Углерод**, образно говоря, представляет собой геохимический аккумулятор, который при фотосинтезе заряжается свободной энергией. Эта его особенность в совокупности со способностью создавать цепочки атомов углерода, образуя многочисленные разнообразные органические соединения, и приводит к формированию в них огромных запасов свободной энергии. Разряжается этот аккумулятор при разложении (распаде) органических соединений. Хотя кларк углерода в земной коре невелик, всего  $2,3 \cdot 10^{-2}\%$ , но в биосфере происходит его значительная концентрация (в известняках кларк С составляет 12%, в живом веществе – 18%, в древесине – 50%, в каменном угле – 80%). В биосфере основная масса углерода сосредоточена в известняках и доломитах (Перельман, Касымов, 1999). Именно высокая концентрация углерода в биосфере делает его важнейшим химическим элементом для трансформации солнечной энергии в свободную энергию. В последние десятилетия установили, что в подземной биосфере цианобактерии осуществляют за счет подземного тепла хемосинтез, при котором углерод тоже выступает в роли геохимического аккумулятора. Но хемосинтез идет не за счет лучистой энергии Солнца, а за счет тепловой энергии недр Земли.

**Кислород**, который также образуется при фотосинтезе из  $\text{CO}_2$ , является вторым химическим элементом, преобразующим лучистую энергию в свободную. Он тоже заряжается энергией при фотосинтезе, а разряжается при дыхании живых организмов и различных реакциях окисления, особенно в коре выветривания. В отличие от углерода кислород более распространен и в земной коре (его кларк 47,4%), и в гидросфере (кларк 86,82%), и в живом веществе (кларк 70%). Говоря о кислороде как о геохимическом аккумуляторе свободной энергии, нельзя забывать, что зарядка его идет не только при биогеохимических процессах, но частично

и при эндогенных геохимических (см. выше). Поступление абиотического свободного кислорода в биосферу тоже ведет к уменьшению ее энтропии (повышается свободная энергия кислорода, расходуемая затем на различные процессы окисления).

В процессе фотосинтеза происходит образование органического вещества и выделение свободного кислорода. На это расходуется около 0,26% ( $\sim 4 - 6 \cdot 10^2$  эрг/см<sup>2</sup>с) лучистой энергии Солнца. Энергия, фиксированная при фотосинтезе, сразу распределяется в зеленом веществе следующим образом:

$$GP - R_1 = NP,$$

где GP – общее количество фиксируемой энергии,  $R_1$  – энергия, используемая при дыхании автотрофных растений, NP – остающийся излишек энергии, иначе чистая продукция. Для всей трофической пирамиды, сложенной продуцентами, консументами и деструкторами, формула приобретает вид

$$NEP = GP - R_1 - R_2,$$

где NEP – чистый прирост энергии, запасенный в живом веществе, GP – общее количество фиксируемой энергии при фотосинтезе,  $R_1$  – энергия, используемая при дыхании продуцентов,  $R_2$  – энергия, используемая при дыхании консументов и деструкторов. О масштабе процесса фотосинтеза говорит общее количество фитомассы в биосфере (около  $2,4 \cdot 10^{18}$  г) и ежегодная первичная продукция ( $1,64 - 2,32 \cdot 10^{17}$  г) (данные Н.И. Базилевич).

Величина NEP зависит от зрелости биоценозов и степени окисления отмерших тканей. В зрелых биоценозах она стремится к нулю, т.е. весь полученный запас свободной энергии расходуется на дыхание продуцентов, консументов и деструкторов и окисление отмерших тканей. В первичных же биоценозах NEP существенно отличается от нуля. За счет этой энергии и происходит новообразование живого вещества и усложнение структуры биоценозов в процессе сукцессий. В умеренной климатической зоне отмершие растительные ткани растений, в отличие от тропиков, не окисляются, а захороняются в виде торфа в болотах, сохраняя энергию свободного кислорода. В этом заключается большая роль болот в энергетике биосферы.

Итак, основные запасы свободной превратимой энергии в биосфере создаются живым веществом при биологических и био-

геохимических процессах с помощью таких химических элементов, как углерод и кислород.

## **О запасах свободной энергии в биосфере**

Основной запас свободной энергии в биосфере приурочен к  $C_{\text{орг}}$  и свободному кислороду. При этом запас свободной энергии в свободном кислороде на два порядка меньше, чем в  $C_{\text{орг}}$ . Если учесть, что дыхание живых организмов становится невозможным при снижении содержания кислорода в атмосфере с 20,8% до 9 – 10%, то запас свободной энергии в кислороде не превышает  $121,6 \cdot 10^{11}$  эрг/см<sup>2</sup>. Поэтому запас свободной энергии в кислороде, скорее всего, должен поддерживаться в пределах  $121 – 253 \cdot 10^{11}$  эрг/см<sup>2</sup> (Шипунов, 1980). В биосфере существует механизм сохранения этого неприкосновенного запаса. В него входят процессы, характер протекания которых изменяется в зависимости от содержания кислорода в атмосфере. К ним относится фотосинтез (при уменьшении содержания кислорода в атмосфере фотосинтез увеличивается и, наоборот, при повышении концентрации кислорода – снижается), а также процессы выветривания, которые действуют по сравнению с фотосинтезом в прямо противоположном направлении: при повышении концентрации кислорода они усиливаются, связывая его излишки, а при уменьшении содержания кислорода – снижаются.

К сокращению запасов свободного кислорода в биосфере (к увеличению ее энтропии) приводят и такие чисто антропогенные воздействия на нее, как сокращение площади лесов из-за рубок и пожаров, а также и осушение болот. Уменьшение лесов ведет к снижению поставок кислорода за счет фотосинтеза. Осушением болот прерывается торфообразование, благодаря которому сохраняются запасы свободного кислорода (он не расходуется на окисление отмершей растительной массы). Антропогенное производство тепла при сжигании органического топлива тоже идет за счет запасов свободной энергии биосферы. О масштабах этого процесса можно судить по изменениям концентрации  $CO_2$  в ат-

мосфере (с 0,028% в доиндустриальную эпоху до 0,0335% в настоящее время, а по прогнозам к 2075 г. может составить 0,06%).

В механизме, который обеспечивает устойчивость биосферы как системы наиболее слабым звеном является та часть запаса внутренней энергии, которая сосредоточена в свободном кислороде. И этот запас надо беречь как зеницу ока. Поэтому человечеству для обеспечения своих энергетических нужд выгоднее использовать не процесс горения, а получать электричество за счет преобразования энергии движущейся воды и ветра. Необходимо всемерно увеличивать эти способы получения энергии для своих нужд.

Итак, биосфера как открытая и полуизолированная система непрерывно обменивается потоками энергии с Космосом и недрами Земли. И, несмотря на это, биосфера на протяжении более 3,5 млрд лет сохраняет свой термический режим в очень узких температурных рамках, оптимальных для развития живого вещества. Это удастся сделать благодаря тому, что в роли регулятора энергетического баланса биосферы выступает само живое вещество. Механизм регуляции включает две разнонаправленных группы биогеохимических процессов. В первую группу входит фотосинтез, который создает запасы свободной энергии за счет лучистой энергии Солнца, и хемосинтез – который в подземной биосфере создает запасы свободной энергии за счет тепла, идущего из недр Земли. Во вторую группу входят процессы выветривания, которые консервируют излишки энергии в осадочных горных породах. Недра Земли – это та буферная зона, в которой хранятся запасы законсервированной энергии и происходит их расконсервация.

## Семинар 8.1

### Вопросы для обсуждения

1. Экзогенные потоки энергии. Составьте схемы прихода и расхода энергии Солнца.
2. Эндогенные потоки энергии (виды, потоки, способы поступления из недр).

3. Объясните, почему недра Земли являются фактором поддержания температурного баланса в биосфере.

## **Семинар 8.2**

1. Сопоставьте энергетическое обеспечение геологических, геохимических, геофизических процессов (источники, трансформация, энтропийная и антиэнтропийная направленность).

### **Самостоятельная работа в группах с докладом итогов на семинаре**

1. Опишите взаимосвязи между ролями углерода и кислорода в биосферных процессах при создании запаса свободной энергии, а также при расходовании этого запаса.

2. Проанализируйте с термодинамической точки зрения действия человечества, покажите, какие из них ведут к увеличению энтропии биосферы, а какие к сохранению энтропии или даже к снижению ее.

### **Литература**

Белов Н.В., Лебедев В.И., 1964; Калесник С.В., 1947; Лебедев В.И., Сеницын В.М., 1968; Хильми Г.Ф., 1966; Шипунов Ф.Я., 1980.

## 9. О регуляторной функции живого вещества

*Живое вещество поистине является  
одной из самых могущественных сил  
нашей планеты, а вызываемая ею  
биогенная миграция атомов представляет  
форму организованности первостепенного  
значения в строении биосферы.*

***В.И. Вернадский***

*Биогеохимические функции живого вещества  
распространяются на всю планету ...  
они определяют в планетном масштабе  
основное проявление жизни и являются  
основной химической реакцией живого вещества.*

***В.И. Вернадский***

*Человек неразрывно связан в одно  
целое с жизнью всех живых существ,  
существующих или когда-либо  
существовавших ... Эта связь  
составляет часть великого геохимического  
явления – круговорота химических  
элементов, – вызванного питанием  
организованных существ.*

***В.И. Вернадский***

В открытых нелинейных неравновесных системах, к которым относится биосфера, устойчивость ее функционирования и развития обеспечивается тем или иным регулятором, который осуществляет регулирование благодаря своим прямым и обратным свя-

зям с элементами, образующими систему. Как показал В.И. Вернадский, в биосфере роль такого регулятора выполняет живое вещество, благодаря своим биогеохимическим функциям. Среди последних он выделял 9 типов (табл. 9.1).

Таблица 9.1

**Биогеохимические функции биосферы**  
(по В.И. Вернадскому, 1960в)

Биогеохимические функции биосферы	Исполнители биогеохимических функций
1. Газовая функция. Вся совокупность газовых реакций живых веществ: $N_2 - O_2 - CO_2 - CH_4 - H_2 - NH_3 - H_2S$	Все организмы
2. Кислородная функция – образование свободного кислорода (из $CO_2$ и $H_2O$ и т. п.)	Хлорофилльные растения
3. Окислительная функция – окисление более бедных кислородом соединений. Имеет место для всех соединений элементов, способных в биосфере давать несколько стадий кислородных соединений (Fe, Mn, S, Cu, N, C, H)	Бактерии, большей частью автотрофные
4. Кальциевая функция – выделение кальция в виде чистых солей (простых и сложных); углекислых, щавелевокислых, фосфорнокислых и т. п.	Водоросли (хлорофилльные), бактерии, мхи (хлорофилльные), одноклеточные животные (корненожки, часть радиолярий); позвоночные; водные, главным образом морские организмы, образующие кальциевые скелеты (ракообразные, моллюски, иглокожие, кораллы, гидроиды, брахиоподы, мшанки, позвоночные и т.д.)
5. Восстановительная функция (резко выражена для сульфатов) – создание $H_2S$ , $FeS_2$ и, по-видимому, других сернистых металлов ( $ZnS$ ,	Бактерии

CuS и т. п.)	
6. Концентрационная функция – скопление отдельных элементов из их рассеяния в окружающей среде. Это явление известно для C, Ca, N, Fe, Vn, Cu, Ba < Sr, J, V, K, Na, Si и др.	Организмы животные и растительные разных семейств – одноклеточные и многоклеточные
7. Функция разрушения органических соединений – разложение их с выделением H <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub> и N <sub>2</sub> ,	Эту функцию выполняют главным образом бактерии и грибы.
8. Функция восстановительного разложения органических соединений, дающая H <sub>2</sub> S, CH <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> и т. п.	Бактерии
9. Функция метаболизма и дыхания организмов, связанная с поглощением O <sub>2</sub> и H <sub>2</sub> O, с выделением CO <sub>2</sub> , с миграцией органических элементов	Все организмы

В.И. Вернадский (1960в, с. 262) считал «1) что все без исключения геохимические функции живого вещества в биосфере могут быть исполнены простейшими одноклеточными организмами, 2) что невозможен организм, который мог бы один исполнять все эти геохимические функции и 3) что в ходе геологического времени происходила смена разных организмов, замещавших друг друга в исполнении данной функции без изменения самой функции».

Не сразу все химические элементы приняли участие в био-геохимических процессах. В последние годы была выявлена последовательность их включения, что позволило создать биогенную классификацию химических элементов. Выяснился и характер круговорота в биосфере многих химических элементов и их соединений, а также и способ самоорганизации этих круговоротов. Так постепенно стала проясняться сущность регуляторной функции живого вещества. Рассмотрим кратко результаты этих трех направлений исследований.

## Биогенная классификация химических элементов

Историю образования живого вещества наглядно демонстрирует биогенная классификация химических элементов, предложенная В.И. Бгатовым (табл. 9.2). Он полагал, что химический состав современных живых организмов складывался под воздействием двух процессов.

Таблица 9.2

### Биогенная классификация элементов (по В.И. Бгатову, 1999)

Тип	Группа	Элементы	Примечания
Биогенные	Первозлементы (сквозные для всех форм жизни на Земле)	H, C, O, N	Каркасные элементы органических молекул, возникших еще в докембрии. Составляющие большинство аминокислот
		P, S	Непременные участники белковых молекул, ДНК и РНК. Создатели первичной, доклеточной жизни
	Макроэлементы (сквозные для всех животных организмов)	K, Na, Ca, Mg, Cl, Si	Элементы буферной системы первых одноклеточных организмов и клеточного потенциала. Первые элементы скелетного аппарата простейших организмов
	Эссенциальные элементы (сквозные для всех млекопитающих)	Fe, Cu, Zn, Mn, Cr, Se, Mo, I, Co, F	Включились в метаболизм с возникновением кровеносной системы. Участвуют в окислительно-восстановительных реакциях. Составляющие коферментов организмов
	Условно эссенциальные элементы (сквозные для отдельных семейств млекопитающих)	As, Br, Li, Ni, V, Cd, Pb	Узкоспециализированная группа элементов, «работающая» не у всех видов организмов. Некоторые входят в состав коферментов.
	Брейн-элементы (сквозные для высших млекопитающих)	Au, Sn, Tl, Te	Предположительно участвуют в проводимости импульсов головного мозга млекопитающих. Очевидно, включи-

	щих и человека)	Gr, Ga	лась в метаболизм в четвертичном периоде
Абиогенные	Нейтральные (высокие концентрации организмы переносят достаточно безболезненно)	Al, Ti, Rb	Не заняли своего места в метаболизме животных из-за слабой реакционной способности, несмотря на широкую распространенность в литосфере
	Конкуренты (древние элементы, конкурирующие с кальцием за место в метаболизме сухопутных организмов)	Ba, Sr, Ce	Участвовали в метаболизме морских форм организмов, что и определило их дальнейшую конкуренцию в метаболизме сухопутных видов (ведущую к патологии).
	Агрессивные (относительно «молодые» элементы, к высоким концентрациям которых организмы не сумели приспособиться)	Hg, Be, Os, Bi	Элементы поздней вулканической деятельности. В связи с тем, что не нашли места в метаболизме организмов, вредны в малых дозах

*Постоянное изменение химического состава* гидро- и литосферы (сдвиг соотношения химических элементов), происходящее вследствие вулканизма и выщелачивания горных пород.

*Появление генетического контроля* за сохранением сложившихся соотношений между химическими элементами внутри живых организмов, ибо постоянство внутренней среды – необходимое условие их свободной жизни.

В предложенной В.И. Бгатовым биогенной классификации все элементы периодической таблицы Менделеева подразделены на два типа: биогенные, которые участвуют в метаболизме живых организмов, и абиогенные, не участвующие в нем. Биогенные элементы в свою очередь подразделены на пять групп, которые различаются между собой временем включения в метаболизм организмов (от ранних этапов развития живого вещества до четвертичного периода). В этой классификации не нашлось места понятию «токсичные элементы». В.И. Бгатов (1999) считает это понятие архаичным и потому не имеющим права на существование. Он подчеркнул, что «избыток *любого* химического элемента (будь то сера, железо, цинк или золото) в человеческом организ-

ме приводит к патологии. Это касается элементов всех групп, даже первоэлементов. Печально известная синильная кислота имеет формулу  $\text{HCN}$ , т.е. представляет собой соединение трех органо-генов. Следовательно, речь можно вести только о **токсичной концентрации либо о токсичных соединениях того или иного элемента**» (Бгатов, 1999, с. 10). Все агрессивные элементы, которые не участвуют в метаболизме живых организмов, тем не менее попадают в них с пищей, питьем, воздухом. Они ведут себя не индифферентно. По реакции организмов на их присутствие среди них и выделяются группы (см. табл. 9.2). Эта биогенная классификация, демонстрирующая роль отдельных химических элементов в эволюции живого вещества, помогает отобрать наиболее показательные примеры круговоротов химических элементов, приведенных ниже.

## Примеры круговоротов в биосфере химических элементов и их соединений

Известно, что на нашей планете ограничены запасы жизненно важных химических элементов и их соединений, участвующих в биологических и биогеохимических процессах. Неограниченно долго использовать ограниченные запасы можно лишь по принципу круговорота. Именно этот принцип лежит в основе функционирования биосферы. В этом разделе рассмотрена общая схема реализации этого принципа на примере ряда химических элементов и их соединений, выполняющих в биогеохимических процессах разные функции. Критериями отбора послужили:

- роль химического элемента (соединений химических элементов) в трансформации и аккумуляции энергии в биосфере,
- занимаемое место в биогенной классификации химических элементов В.И. Бгатова,
- степень изученности.

По этим критериям было выбраны четыре химических элемента и одно их соединение. Это обыкновенная вода (соединение водорода и кислорода), которая играет, с одной стороны, роль всеобщего растворителя (любой биогеохимический процесс идет

только в водных растворах), с другой – роль трансформатора и аккумулятора солнечной энергии, благодаря работе которого обеспечивается энергетика ряда геофизических и геологических процессов.

Далее – три химических элемента (O, C, N), исполняющих роль геохимических трансформаторов и аккумуляторов свободной энергии. Эти элементы в разных процессах (фотосинтез и др.) трансформируют и запасают солнечную энергию, которая затем расходуется на поддержание биологических и биогеохимических процессов. И, наконец, фосфор, который принадлежит группе создателей первичной доклеточной жизни и неизменных участников формирования белковых молекул (ДНК и РНК).

Ниже рассмотрены лишь принципиальные схемы каждого круговорота, а характер их реализации в любой части биосферы будет свой, особенный, зависящий от своеобразия каждого места. Изучением этого своеобразия реализации принципиальных схем в разных ландшафтах занимается отдельная наука, называемая геохимией ландшафта.

### ***Круговорот воды***

Вода, это простейшее соединение водорода и кислорода, которая играет в биосфере исключительную роль. Эта роль обусловлена целым рядом особенностей воды, рассмотренных ниже.

Особенности. Первая особенность воды состоит в том, что она в буквальном смысле пронизывает всю биосферу, присутствуя в виде пара в тропосфере, в жидком и твердом состоянии в гидросфере, ландшафтной сфере и литосфере. В подземной гидросфере она присутствует не только как грунтовые и подземные воды, но и заполняет все пустоты и трещины в горных породах в пленочно-волосной и капиллярной форме. Вода входит во многие горные породы либо в кристаллические решетки (кристаллизационная вода), либо в структуру молекул (конституционная вода). Особенно это касается тех горных пород, которые сформировались в зоне гипергенеза (в корях выветривания) – глины, гипс и

т.д. Вот эта вездесущность и есть главная особенность воды, как химического соединения, лежащая в основе единства биосферы.

«Вся вода земной коры представляет как бы сплошную единую водную оболочку, находящуюся в непрерывной связи в равновесии, с одной стороны, через водные пары тропосферы, с другой стороны – через капиллярные, пленчатые воды, проникающие все твердое вещество – горные породы биосферы, стратисферы, метаморфической и гранитной оболочек, и связанную в сплошную массу гидросферу. Это единая масса воды – водного раствора – составляет несколько процентов «земной коры». Это большое планетное явление – единая масса воды» (Вернадский, 1987, с. 40).

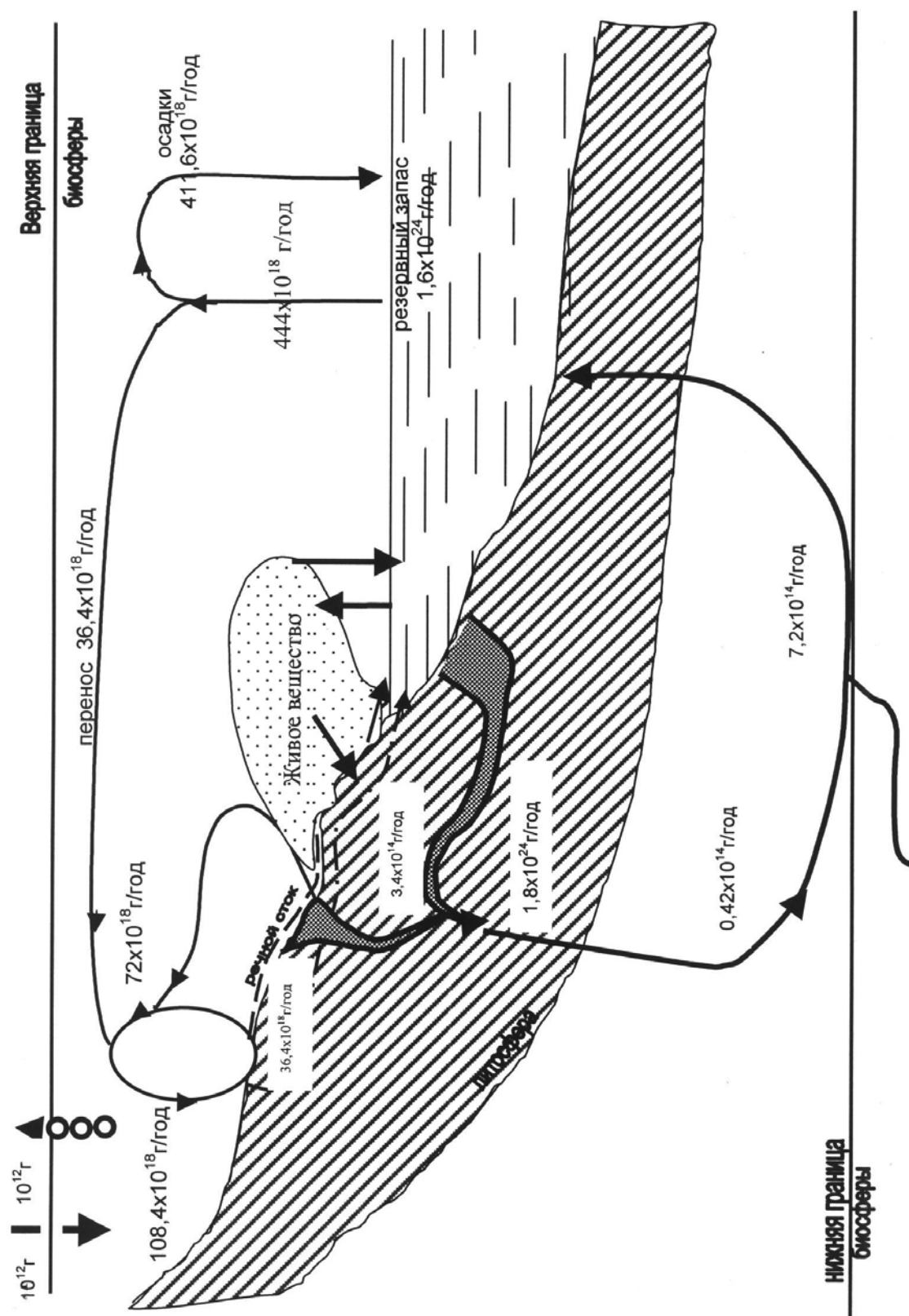
Вторая особенность воды состоит в том, что она является хорошим растворителем для очень многих веществ, которые в ней находятся в ионизированном состоянии. По существу, подавляющее большинство реакций при биогеохимических процессах идут в водных растворах (ионных или коллоидных). Благодаря этому вода имеет исключительное значение для живого вещества. Это хорошо выражает афоризм: «где вода, там и жизнь!».

Третья особенность связана с тем, что в биосфере вода находится в трех агрегатных состояниях – твердом, жидком и газообразном. Она хороший теплоноситель: скрытая теплота плавления льда – 79,4 кал/г, а парообразования – 538,6 кал/г. Именно это ее свойство в значительной мере обеспечивает энергетику ряда экзогенных геологических и геофизических процессов.

**Пути поступления воды в биосферу и изъятия из нее.** Вся вода, находящаяся на нашей планете имеет космическое происхождение, но пути ее поступления различны (рис. 9.1). Из недр планеты при магматических процессах идет поток воды в виде газовых струй и гидротермальных растворов. Это основной источник воды, благодаря которому образовалась гидросфера. А.П. Виноградов (1967) указывает, что на поверхность Земли поступает около 7% воды от массы извергнутых из недр пород. Он приводит следующие расчеты. Вся гидросфера ( $1,6 \cdot 10^{24}$  г) по отношению ко всем горным породам земной коры ( $2,4 \cdot 10^{25}$  г) составляет 6,7%, т.е. не более 7%. Несколько иные цифры приводят Е.С. Гавриленко и В.Ф. Дерпгольц (1971), но они рассматривают

лишь базальтоидный магматизм, который составляет только часть всех магматических процессов.

«Базальтовая магма может содержать до 12% (а на глубине – даже до 18%) ювенильной воды, т.е. воды, ранее бывшей в мантии. Общее количество воды в мантии, исходя из содержания ее в метеоритах, оценивается в  $2,1 \cdot 10^{25}$  г (масса мантии составляет  $4,1 \cdot 10^{27}$  г или 68,1% всей массы нашей планеты). Таким образом, вся гидросфера Земли составляет около 12% первоначальных запасов воды в мантии. Однако вся масса воды в массе Земли ( $5,977 \cdot 10^{27}$  г) первоначально составляла  $3 \cdot 10^{25}$  г, и наша гидросфера равна 8,4% этой величины. Условно подразумевается, что диссипация воды в пространство и поступление из него на Землю уравнивают друг друга (Гавриленко, Дерпгольц, 1971, с. 21).



*Рис. 9.1. Принципиальная схема круговорота воды в биосфере  
(по данным разных источников)*

мировой океан;  
толща осадочных пород;  
поступление с метеоритами и космической пыли;  
поступление за счет фотодиссоциации;  
эндогенный поток воды, в том числе и метана, за  
счет окисления которого получается  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ ;  
консервация воды в процессе литогенеза;  
пути переноса воды в атмосфере;  
речной сток поверхностный;  
речной сток подземный

Какое-то количество воды в гидросферу поступает и при окислении кислородом воздуха метана, идущего из недр Земли, Но оно не соизмеримо с выделением воды при магматических процессах. Обратите внимание на две цифры: количество воды, выделившееся из мантии за всю геологическую историю Земли  $3,4 \cdot 10^{24}$  г и массу современной гидросферы  $1,6 \cdot 10^{24}$  г. Разница между этими цифрами ( $1,8 \cdot 10^{24}$  г), скорее всего, показывает количество воды, которое было захоронено в недрах Земли при минералообразовании в зоне гипергенеза (корах выветривания). В глинах и глинистых сланцах содержится до 5% (от веса породы) конституционной воды, входящей в структуру молекул. Сланцы и глины составляют 83% всех осадочных пород и в них заключено  $1,2 \cdot 10^{24}$  г воды. Таким образом, ежегодный прирост массы воды в гидросфере в  $7,2 \cdot 10^{14}$  г частично уравнивался ежегодной убылью в  $3,4 \cdot 10^{14}$  г, а превышение прихода над расходом ( $3,8 \cdot 10^{14}$  г) за геологическую историю биосферы составляет  $1,33 \cdot 10^{24}$  г. Это примерно 83% массы современной гидросферы. Все расчеты делались, исходя из предположения равномерного поступления воды из недр. Приведенные выше цифры могут указывать, что на начальных этапах развития биосферы магматические процессы, а следовательно, и поступление воды, шло интенсивнее по сравнению с настоящим временем. Эта точка зрения не раз высказывалась в литературе (Гавриленко, Дерпгольц, 1971 и др.).

То, что мы сейчас рассмотрели, часто в геологии называют внутренним круговоротом воды на нашей планете. Внутренним, с точки зрения Земли в целом. По отношению же к биосфере этот круговорот будет внешним, так как в нем происходит приток воды в биосферу и изъятие воды из нее.

**Пути миграции воды в биосфере.** В самой же биосфере пути миграции замкнуты: в ней происходит внутренний круговорот воды. В геологической и географической литературе его называют внешним круговоротом воды. И он действительно внешний, если смотреть с точки зрения всей нашей планеты. На самом же деле он внутрибиосферный, показывающий, как происходит миграция водных масс между основными телами биосферы (гидросферой, атмосферой, ландшафтной сферой и верхней частью ли-

тосферы, входящей в биосферу). На долю поверхностных вод приходится 56% всей гидросферы, остальная часть (44%) – это подземная гидросфера. Между ними тоже идет постоянный обмен. Из поверхностных вод 97% приходится на долю мирового океана, 2% – на льды и всего лишь 1% на реки и озера. Так что основной резервуар, в котором накапливаются запасы воды в биосфере, – это Мировой океан, являющийся в ней одновременно и самой крупной в биосфере средостабилизирующей системой. Внутрибиосферный круговорот поверхностных вод достаточно хорошо изучен, и о его характере дает представление табл. 9.3.

«Из этой таблицы видно, что поступление воды в надземную гидросферу над океанами и континентами неодинаково. Возникающий в связи с этим горизонтальный перенос влаги с океанов на континенты и сток речных вод с последних замыкает этот водообмен. По М.И. Львовичу (1969), за счет данного процесса воды океана возобновляются за 2600 лет, надземные – за 0,027 года (10 суток), рек и озер – за 3,3 года, только рек – за 0,033 года (12 суток), а почвенной влаги – за 0,9 года. Подземные гравитационные воды обновляются приблизительно за 5 тыс. лет» (Шипунов, 1980, с. 157). Приведенные цифры дают первое представление о скорости круговорота воды и отдельных его звеньев.

**Характер изменений круговоротов воды.** Параметры как внешнего, так и внутреннего круговоротов воды не оставались постоянными. Они менялись, и эти изменения носили циклический характер. Из исторической геологии известно, что в истории биосферы происходило чередование так называемых талассократических эпох (венд, средний кембрий, средний ордовик, ранний карбон, поздняя юра, поздний мел и средний палеоген) с геократическими (ранний силур, ранний девон, пермь и триас, ранний мел, неоген). Для талассократических эпох было свойственно развитие трансгрессии моря, усиление базальтоидного магматизма.

Таблица 9.3

**Годовой обмен воды за счет процессов  
испарения ↔ конденсации ↔ образования облаков ↔ осажде-**

**ния дождевой (снеговой) воды**  
(из работы Ф.Я. Шипунова, 1980  
по данным М.И. Львовича, 1969)

Стадии обмена воды	Объем, $10^{18} \text{ см}^3$	% от выпадения дождевой (снеговой) воды
<b><i>Периферийная часть суши (<math>116,8 \cdot 10^{16} \text{ см}^2</math>)</i></b>		
Выпадение дождевой (снеговой) воды	101,0	19,4
Сток речной воды	36,4	7,0
Испарение воды	64,6	12,4
<b><i>Замкнутая часть суши (<math>32,1 \cdot 10^{16} \text{ см}^2</math>)</i></b>		
Выпадение дождевой (снеговой) воды	7,4	1,4
Испарение воды	7,4	1,4
<b><i>Мировой океан (<math>361,1 \cdot 10^{16} \text{ см}^2</math>)</i></b>		
Выпадение дождевой (снеговой) воды	411,6	79,2
Приток речной воды	36,4	7,0
Испарение воды	448,0	86,2
<b><i>Вся поверхность Земли (<math>510,0 \cdot 10^{16} \text{ см}^2</math>)</i></b>		
Выпадение дождевой (снеговой) воды	520	100
Испарение воды	520,0	100

Климат становился гумидным, интенсивно формировались коры выветривания. Антиподами этих обстановок были аридные геократические эпохи, которым были присущи регрессия моря, рост гор, который сопровождался усилением кислого магматизма, а базальтоидный вулканизм ослабевал, повсеместно шла аридизация климата, замирали процессы в зоне гипергенеза. В талассократические эпохи, скорее всего, увеличивался приток ювенильных вод из-за интенсивного развития базальтоидного вулканизма и усиливалось изъятие ее благодаря более интенсивным процессам выветривания. В геократические эпохи приток ювенильных вод сокращался, но и уменьшалось ее изъятие в процессе минералообразования в зоне гипергенеза. Такова общая направленность процессов, но о количественных показателях этих изменений судить пока трудно. Изменения внутрибиосферного круговорота воды приводили к колебаниям степени увлажненности внутренних частей суши. В частности, на Евразийском

континенте менялась степень увлажнения степей (1500-летние циклы Шнитникова) (Шнитников, 1957). Менялся растительный покров (ковыльные степи превращались в полупустыни). Это, по мнению Л.Н. Гумилева (1993), явилось причиной миграции кочевых народов. Именно с аридизацией центрально-азиатских степей Л.Н. Гумилев связывает нашествие в Европу гуннов, а впоследствии и татаро-монгол. Так изменения внутри биосферных круговоротов воды отражались на ходе истории человечества.

**Влияние человека.** В настоящее время человек своей хозяйственной деятельностью может оказывать существенное влияние на отдельные звенья внутрибиосферного круговорота воды. К таким действиям в первую очередь относятся следующие два.

1. Крупные разливы нефти в морях и океанах приводят к тому, что тонкая нефтяная пленка покрывает огромные площади и препятствует нормальному развитию влагообмена между океаническими водами и воздушными массами. Это может вести к уменьшению количества влаги, переносимой на сушу.
2. Перераспределение речного стока гидротехническими сооружениями может вызывать изменения в глобальной циркуляции воздушных масс и трансформировать характер увлажнения отдельных регионов.

Так, сокращение притока пресных речных вод в Северный Ледовитый океан из-за переброски части их в Центральную Азию приведет к уменьшению его ледовитости. Известно, что уменьшение ледовитости Северного Ледовитого океана сказывается на глобальной циркуляции атмосферы, что проявляется за многие тысячи километров: в Африке (южнее Сахары) уменьшается количество осадков, и южная граница этой пустыни сдвигается на несколько сот километров к югу, в глубь Африканского континента.

### ***Круговорот кислорода***

Кислород – один из самых распространенных элементов в биосфере. Его кларк в литосфере – 47%, в гидросфере – 86,82%, в живом веществе – 70%. Живые организмы суть кислородные су-

щества. По классификации В.И. Бгатова кислород относится к биогенным элементам, входя в группу первоэлементов.

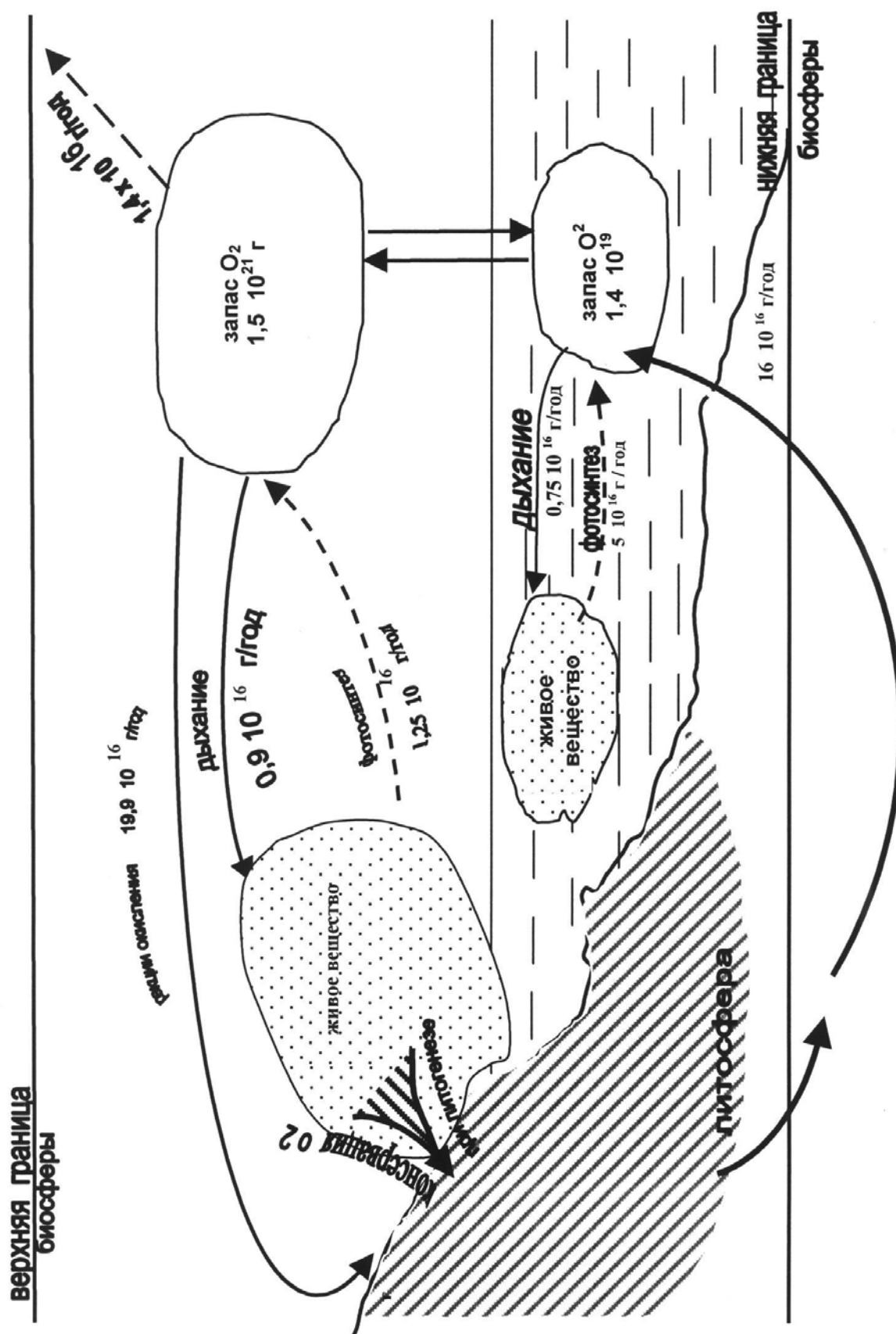
**Особенности.** Кислород играет первостепенную роль в биосфере благодаря своим особенностям. Его *первая особенность* состоит в том, что он, наряду с углеродом, играет важнейшую роль трансформатора и аккумулятора лучистой энергии Солнца. При фотосинтезе происходит зарядка этого геохимического аккумулятора, а при дыхании и процессах окисления – разрядка. *Вторая особенность* – «свободный кислород – самый могущественный деятель из всех нам известных химических тел земной коры. Поэтому в большинстве систем биосферы, например, в почвах, грунтах, речных и морских водах, кислород является геохимическим диктатором, определяет геохимическое своеобразие системы» (Перельман, Касымов, 1999, с. 598).

**Пути поступления кислорода в биосферу и изъятия из нее.** Как уже отмечалось (см. раздел 7), В.И. Бгатов (1985) выдвинул очень интересную и перспективную гипотезу о двух основных источниках поступления кислорода в биосферу. Первый – эндогенный. При подводных излияниях базальтов в придонные слои поступает свободный кислород (0,5% от излившейся массы). Затем он распространяется по всей толще океанических вод, а уже из нее – в атмосферу. Ежегодно поступает  $16 \cdot 10^{16}$  г эндогенного кислорода. О втором источнике знали давно. Это – процесс фотосинтеза, осуществляемый зелеными растениями. Водные растения поставляют ежегодно  $5 \cdot 10^{16}$  г кислорода, а сухопутные –  $1,25 \cdot 10^{16}$  г. Кроме того, незначительная часть кислорода в верхних слоях атмосферы может получаться за счет фотохимического разложения молекул воды под воздействием ультрафиолетовых лучей. Всего ежегодно в атмосферу поступает около  $2,23 \cdot 10^{17}$  г кислорода.

Существует только один путь изъятия свободного кислорода из биосферы – это разнообразные реакции окисления. К ним относится дыхание живых организмов, а также процессы, идущие в зоне гипергенеза. Возникающие при этом минеральные новообразования, обогащенные кислородом, слагают осадочные горные породы, которые нисходящими тектоническими движениями погружаются в недра Земли. Там при метаморфизме и магматиче-

ских процессах при восстановительных реакциях и происходит возгонка свободного кислорода, который затем снова поступает в биосферу. В этом процессе, вероятно, велика роль железа, которое окисляется в зоне гипергенеза, а в недрах Земли его окислы восстанавливаются.

**Пути миграции кислорода в биосфере.** В современной атмосфере содержится, по подсчетам В.И. Вернадского,  $1,5 \cdot 10^{21}$  г свободного кислорода. В океанических водах  $1,4 \cdot 10^{19}$  г (в верхнем 200-метровом слое, где идет фотосинтез  $5 \cdot 10^{16}$  г, а в промежуточных и глубинных водах  $\sim 1,4 \cdot 10^{19}$  г). Таким образом, основным резервуаром свободного кислорода является атмосфера. Из поступающего ежегодно  $2,3 \cdot 10^{17}$  г свободного кислорода на дыхание растений расходуется  $0,94 \cdot 10^{16}$  г (15% от массы фотосинтетического кислорода), а все остальное идет на дыхание животных и многочисленные реакции окисления, идущие во всех средах биосферы, в том числе  $1,4 \cdot 10^{16}$  г/год на сжигание органического топлива (рис. 9.2).



**Рис. 9.2. Принципиальная схема круговорота кислорода в биосфере (по данным ряда источников)**

океан;

толща осадочных пород;

резервный запас  $O_2$ ;

эндогенный поток свободного  $O_2$ ;

поток фотосинтетического  $O_2$ ;

консервация  $O_2$  при литогенезе;

реакции окисления, в том числе и дыхания;

поток  $O_2$  при антропогенном сжигании топлива

Наблюдаются региональные различия в судьбе фотосинтетического кислорода. Так, в тропических и экваториальных лесах, где развита пышная растительность, весь фотосинтетический кислород расходуется на дыхание и на окисление большой массы отмерших растительных остатков. Кроме того, в этих местах процессы окисления в зоне гипергенеза идут наиболее интенсивно, создавая коры выветривания до 200 метров мощности. В таежных лесах северного полушария (северная половина Евразии и Северной Америки) благодаря захоронению растительной массы в болотах, расход на окисление  $C_{орг}$  значительно меньше. Менее интенсивно идут и процессы окисления в зоне гипергенеза. Поэтому именно леса умеренной зоны Северного полушария и являются основным поставщиком фотосинтетического кислорода в атмосферу.

Наблюдаются региональные различия в содержании свободного кислорода в глубинных океанических водах (табл. 9.4). В.И. Бгатов (1985) объясняет это разной степенью развития подводных излияний базальтовой магмы (максимум приходится на Атлантический океан, а минимум – на Тихий).

Таблица 9.4

***Содержание свободного кислорода в глубинных океанических водах***

(из работы В.И. Бгатова, 1985)

Показатель	Океаны		
	Атлантический	Индийский	Тихий
Содержание $O_2$ в мл/л	5,15 – 5,39	3,34 – 4,3	2,8 – 4,3
Насыщенность в %	67 – 71	44 – 56	37 – 52

**Характер изменений круговоротов кислорода с течением времени.** В.И. Бгатов (1985) указывает, что в геологической истории не раз происходили изменения в поступлении и расходе кислорода в биосфере. Это связано с циклическим чередованием

талассократических и геократических эпох. В талассократические эпохи (венд, средний кембрий, средний ордовик, ранний карбон, поздняя юра, поздний мел, средний палеоген) развивались трансгрессии и усиливался базальтоидный магматизм. Это вело к увеличению поступления как эндогенного, так и фотосинтетического кислорода. Но одновременно происходили процессы, препятствующие росту содержания кислорода в атмосфере. Так, известно, что при увеличении концентрации в атмосфере кислорода снижается фотосинтез и усиливаются окислительные процессы, особенно в зоне гипергенеза.

Геократическими эпохами (раннему силуру, раннему девону, перми и триасу, раннему мелу, неогену) свойственны регрессии моря, ослабление базальтоидного вулканизма. Для них характерно снижение поступления как фотосинтетического, так и эндогенного кислорода. С уменьшением концентрации кислорода в атмосфере усиливался фотосинтез и замирали процессы окисления, особенно в зоне гипергенеза.

Эти прямые и обратные связи, действующие в системе круговорота кислорода в биосфере, приводили к тому, что во всей геологической истории содержание кислорода в атмосфере колебалось незначительно. В.И. Бгатов пишет: «Исходя из наших построений, максимальное уменьшение или увеличение в атмосфере кислорода в любой геологической эпохе по отношению к предшествующей или будущей может быть не более чем на 10%» (с. 65). Но даже такие небольшие колебания имели существенные последствия для живых организмов. Массовое вымирание организмов приурочено к геократическим эпохам, к которым приурочено снижение поступления кислорода в биосферу.

«В течение фанерозойской истории Земли количество продуцировавшегося кислорода в расчете на современный год составляло от  $2 \cdot 10^{17}$  г в геократические эпохи до  $2,3 \cdot 10^{17}$  г в эпохи талассократические. Таким образом, количество продуцировавшегося кислорода изменялось относительно незначительно. В сближенных по времени геологических эпохах эти величины составляли не более 4 – 5%» (Бгатов, 1985, с. 63).

«Из всех возможных внешних причин всеобщего вымирания животных единственной может быть газ. Любые изменения состава атмосферы немедленно сказываются во всех экологических нишах. ...Мелкие животные сильнее нуждаются в повышенном содержании кислорода в атмосфере»

ре, так как они обычно ведут более активный образ жизни. ... Порогом вентиляционной реакции у человека, например, считают содержание кислорода во вдыхаемом воздухе 16 – 18%. ... Вот почему постоянное народонаселение встречается только до высот 4300 – 4500 м» (Бгатов, 1985, с. 62 – 67).

Все сказанное об изменениях в круговороте кислорода в течение геологической истории биосферы можно резюмировать следующим образом. «Эпохи вымирания проконтролированы эпохами снижения продуцирования кислорода. На переходе от эпох относительно мощного продуцирования кислорода к эпохам относительного его снижения животные организмы вынуждены были эволюционировать, т.е. приспосабливаться к меняющемуся газовому режиму атмосферы. Жизнь необходимо, в первую очередь, рассматривать как борьбу за газ, за кислород. ... кислороду обязаны и расцвет и угасание жизни. Он является ее основой» (Бгатов, 1985, с. 67).

**Влияние человека.** Хозяйственная деятельность человека воздействует на сложившийся круговорот кислорода в биосфере несколькими способами. Во-первых, вырубка лесов в умеренной зоне Северного полушария ведет к уменьшению поступления в атмосферу фотосинтетического кислорода. Во-вторых, осушение болот в Северном полушарии, что было модно в нашей стране во второй половине XX века, способствует повышенному расходу кислорода на окисление отмершей растительной массы. В-третьих, разливы нефти в морях и океанах образуют на обширных площадях тонкую пленку, которая препятствует фотосинтетической деятельности фитопланктона. В-четвертых, использование органического и минерального топлива создало еще один канал изъятия кислорода из атмосферы. Этим способом в начале XXI в. изымается порядка 22% поступающего фотосинтетического кислорода, и величина этого изъятия растет. Поэтому особое значение приобретает увеличение в энергетике доли использования возобновимых источников энергии (силы ветра и движущейся воды), чтобы снизить сжигание органического топлива. Немаловажное значение для сохранения сложившегося круговорота кислорода имеет возобновление лесов, борьба с лесными пожарами и сохранение болот.

## ***Круговорот углерода***

Углерод входит в число биогенных первоэлементов, составляющих каркас органических молекул. Он обладает целым рядом особенностей.

**Особенности.** *Первая* из них состоит в том, что он выполняет в биосфере, наряду с кислородом, функцию важнейшего геохимического трансформатора и аккумулятора солнечной энергии. Эта его способность проявляется при фотосинтезе, при котором происходит зарядка этого аккумулятора. За счет запасенной энергии осуществляются все биохимические превращения в живом веществе. Разряжается этот аккумулятор при разложении органических веществ. *Вторая особенность* углерода – он как бы выступает в двух ипостасях. С одной стороны, действует как обычный химический элемент, образуя ряд неорганических соединений, среди которых важнейшими являются углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ) и его производные (угольная кислота), а также карбонаты ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ ,  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$  и др.). С другой стороны, углерод способен создавать цепочки атомов, из которых строится множество (несколько сот тысяч) органических соединений (белки, витамины, гормоны и др.). Большая часть их входит в состав живого вещества и устойчива лишь в составе живых организмов. После смерти не все органические соединения окисляются, часть их минерализуется и сохраняется в толщах горных пород длительное время. Связь между органическими и неорганическими соединениями углерода осуществляется через  $\text{CO}_2$ . Динамическое равновесие между  $\text{CO}_2 \leftrightarrow$  живым веществом В.И. Вернадский назвал жизненным циклом. Рассматриваемая особенность углерода (выступать в двух ипостасях) порождает два полюса в круговоротах этого элемента: с одной стороны, круговорот между  $\text{CO}_2$  и органическими соединениями, с другой – между  $\text{CO}_2$  и неорганическими соединениями. *Третья особенность* углерода – в его способности накапливаться в биосфере, причем накопление идет как за счет неорганических, так и органических соединений. Так, если кларк углерода в земной коре  $2,3 \cdot 10^{-2}\%$ , то уже в известняках углерода содержится 12%, в жи-

вом веществе – 18%, в древесине – 50%, в каменном угле – 80%. Четвертая особенность – углерод имеет два стабильных изотопа  $^{12}\text{C}$  (98,892%) и  $^{13}\text{C}$  (1,108%) и радиоактивный  $^{14}\text{C}$  с периодом полураспада 5600 лет, образующийся в атмосфере из азота под влиянием космических лучей. В образовании неорганических соединений в равной степени участвуют  $^{12}\text{C}$  и  $^{13}\text{C}$ , при фотосинтезе происходит фракционирование: в органическом веществе преобладает легкий изотоп. Это позволяет проникнуть в механизм круговорота углерода (см. ниже).

**Пути поступления углерода в биосферу и изъятия из нее.** Основной источник углерода в биосфере – это недра Земли, откуда он поступает при вулканических извержениях в виде углекислого газа. М.И. Будыко (1981) оценивает поступление  $\text{CO}_2$  цифрой  $1 \cdot 10^{14}$  г/год. Если же исходить из количества углерода в биосфере (таблица 9.5), считая, что он равномерно поступал в течение всей геологической истории биосферы (3,5 млрд. лет), то получим несколько иную, но близкую цифру –  $1,8 \cdot 10^{13}$  г/год.

Изъятие углерода из биосферы происходит в процессе литогенеза при минерализации части органического вещества в виде  $\text{C}_{\text{орг}}$ , углей, углеводородов и образовании в морях и океанах толщ карбонатных пород. Осадочные породы нисходящими тектоническими движениями опускаются в недра Земли, где происходит их метаморфизм и переплавление в магматических очагах, а содержащийся в них углерод окисляется и, превратившись в  $\text{CO}_2$ , вновь поступает в биосферу.

Таблица 9.5

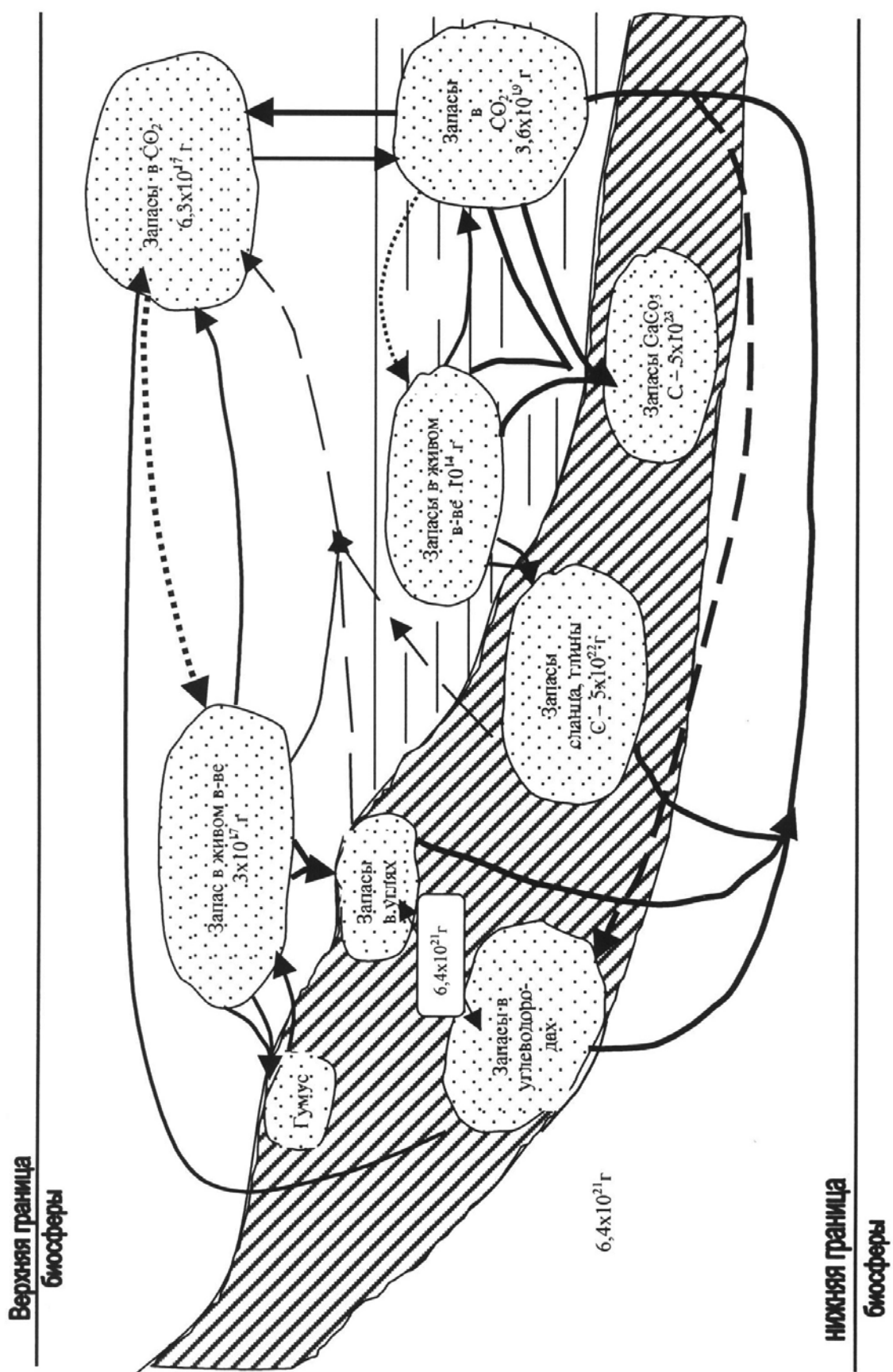
**Распределение углерода**  
(по А.П. Виноградову, 1967)

Объект	Углерод, г	Углерод поверхности Земли, г/см <sup>2</sup>
Организмы моря	$\sim 1 \cdot 10^{16}$	0,002
Организмы суши	$\sim 3 \cdot 10^{17}$	0,06
Атмосфера	$6,3 \cdot 10^{17}$	0,125
Океан	$3,6 \cdot 10^{19}$	7,5
Угли, нефти и другие каустобиолиты	$6,4 \cdot 10^{21}$	663

Сланцы, глины	$1,0 \cdot 10^{22}$	2000
Карбонаты	$\sim 5,0 \cdot 10^{23}$	> 2500

**Пути миграции углерода в биосфере.** Преобразование эндогенного потока  $\text{CO}_2$  в биосфере идет по нескольким направлениям (рис. 9.3). Во-первых, в подземной биосфере, как под континентами, так и под дном морей и океанов микроорганизмы из  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  при хемосинтезе создают жидкие и газообразные углеводороды. Часть из них мигрирует до дневной поверхности и окисляется кислородом воздуха, большая же часть сохраняется в толщах горных пород в виде залежей, которые называют месторождениями нефти и газа. В процессе хемосинтеза углеводородов еще много неясного, много белых пятен, поскольку интенсивное изучение его началось всего лет 10 – 15 тому назад, когда стали проходить глубокие и сверхглубокие буровые скважины.

Во-вторых, эндогенный углекислый газ, попадая в океанические воды, насыщает их. В океанических водах, по оценкам А.П. Виноградова (1967), содержится  $1,4 \cdot 10^{20}$  г  $\text{CO}_2$ , почти в 60 раз больше, чем в атмосфере ( $2,6 \cdot 10^{18}$  г  $\text{CO}_2$ ). Максимальное содержание  $\text{CO}_2$  приурочено к придонным слоям воды.



*Рис. 9.3. Принципиальная схема круговорота углерода в биосфере (по данным ряда источников)*

- 1 литосфера;
- 2 океан;
- 3 резервный запас углерода;
- 4 эндогенный поток  $\text{CO}_2$ ;
- 5 хемосинтез;
- 6 консервация С;
- 7 фотосинтез;
- 8 природные процессы окисления, в том числе и дыхание;
- 9 антропогенный процесс окисления (сжигание топлива);

В верхней толще приповерхностных вод (0 – 200 м) идет интенсивный фотосинтез, при котором в живом веществе ежегодно фиксируется около  $10^{17}$  г углерода из  $\text{CO}_2$ , причем запасы углекислого газа, по мере истощения, пополняются за счет придонных вод. При дыхании живых организмов часть созданных органических соединений окисляется до  $\text{CO}_2$ , а наибольшее их количество составляет основу трофической пирамиды морских обитателей. Пищевой баланс в море очень напряженный, так что до дна доходит лишь около 1% органического углерода. Эта часть в виде  $\text{C}_{\text{орг}}$  захороняется в твердых осадках, надолго исчезая из цикла углерода (Виноградов, 1967).

Между концентрациями  $\text{CO}_2$  океанических вод и атмосферы на протяжении всей геологической истории сохранялось подвижное динамическое равновесие. Оно поддерживается тем, что геохимические процессы в биосфере направлены на уменьшение содержания газообразной углекислоты, как в воздушной, так и водной средах. Происходит ее истощение из этих бассейнов и перевод в твердые осадки – карбонаты. Карбонатообразование – один из самых мощных в биосфере способов формирования неорганических соединений углерода (см. табл. 9.5) В этом процессе уже несколько сотен миллионов лет принимает активное участие живое вещество, после того как оно на рубеже докембрия и фанерозоя освоило кальциевую функцию. Ежегодно в океане в виде карбонатных скелетов морских организмов откладывается в донные отложения около  $1 \cdot 10^{15}$  г  $\text{CO}_2$ , или  $2,5 \cdot 10^{14}$  г С. Эта углекислота карбонатов, как считает А.П. Виноградов (1967), может быть источником возрожденной  $\text{CO}_2$ .

В-третьих, целый ряд превращений происходит с  $\text{CO}_2$  в воздушной среде. В ней, в основном в ландшафтной сфере, ведущим процессом преобразования  $\text{CO}_2$  является фотосинтетическая деятельность наземной растительности. Все остальные пути миграции углерода в ландшафтной сфере, так или иначе, связаны с преобразованиями созданной массы живого вещества. Процесс фотосинтеза является ведущим для ландшафтной сферы. Это подтверждается и следующим. «Для нас представляет интерес, прежде всего, фракционирование  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$  в процессе фотосинтетического поглощения растениями  $\text{CO}_2$ . Скорость поглощения  $^{12}\text{CO}_2$

выше, чем  $^{13}\text{CO}_2$  и общий эффект фракционирования около 2% ... Возможно, что вся  $\text{CO}_2$  атмосферы прошла биогенный цикл фракционирования углерода» (Виноградов, 1967, с. 69 – 70). Соотношение  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$  в  $\text{CO}_2$  атмосферы 89,2, тогда как у углерода каменных метеоритов (протопланетного вещества) – 90,9 – 92,5.

В ландшафтной сфере пути преобразования живого вещества, созданного в процессе фотосинтеза, значительно разнообразнее, чем в гидросфере. Так же, как и в водной среде, часть созданных биогенных соединений окисляется в процессе дыхания живых организмов, пополняя резервы углерода в атмосфере. Кроме того, отмершие ткани организмов также окисляются кислородом атмосферы до  $\text{CO}_2$ . Но в ландшафтной сфере появляются два новых процесса. Это угленакопление, которое начинается с того, что отмершая растительная масса, попадая в болота, не окисляется, а, испытав целый ряд преобразований, минерализуется в виде каменных углей. Второй процесс – гумусообразование в почвах. Он идет только на суше. В дальнейшем гумус может минерализовываться и захорониться в виде рассеянного  $\text{C}_{\text{орг}}$ . В ландшафтной сфере появляется и техногенный источник  $\text{CO}_2$ , связанный с использованием в хозяйственной деятельности для получения энергии угля и углеводородов. Поток техногенной  $\text{CO}_2$  постоянно растет (см. выше).

В круговороте углерода четко прослеживается подразделение его на два: круговорот органических соединений и круговорот неорганических. Первый преобладает в ландшафтной сфере, второй в толще океанических вод. В целом же круговорот углерода в биосфере складывается из сложного сочетания большого круговорота, охватывающего всю биосферу и недра нашей планеты, и трех внутрибиосферных круговоротов (в ландшафтной сфере, гидросфере и подземной гидросфере).

**Характер изменений круговоротов углерода с течением времени.** Как указывают многие исследователи, на протяжении всей геологической истории биосферы сохранялась одна тенденция – сокращение содержания  $\text{CO}_2$  в воздушной и водной средах за счет захоронения ее в толщах осадочных горных пород. А.П. Виноградов (1967) считает, что в былые геологические эпохи содержание  $\text{CO}_2$  в атмосфере могло превышать современное в

десятки и сотни раз. На фоне этой тенденции происходили следующие изменения в принципиальной схеме круговорота углерода. В конце силура – начале девона появился наземный растительный покров, благодаря чему и возник круговорот углерода в ландшафтной сфере. Второе принципиальное изменение произошло 200 лет тому назад. Оно связано с началом индустриальной эпохи, когда в больших количествах для получения энергии стали сжигать органическое топливо (уголь и углеводороды). Этот техногенный источник  $\text{CO}_2$  привел к росту ее содержания в атмосфере. Если в 1880 г. содержание  $\text{CO}_2$  в атмосфере составляло 0,280%, то к рубежу XX и XXI веков оно увеличилось до 0,335% (Перельман, Касымов, 1999).

**Влияние человека.** Современная хозяйственная деятельность может оказывать существенное влияние на отдельные звенья круговорота углерода в биосфере. Наибольшее влияние оказывает появившийся в индустриальную эпоху довольно мощный техногенный источник  $\text{CO}_2$  (см. выше). К снижению фотосинтеза в океанических водах ведут крупные разливы нефти, а в ландшафтной сфере – масштабные сплошные вырубki лесов и лесные пожары. Кроме того, осушение болот на значительных площадях также ведет к увеличению поставок  $\text{CO}_2$  в атмосферу за счет окисления отмершей растительной массы.

## ***Круговорот азота***

Азот входит в число биогенных первоэлементов, образующих каркасы органических молекул. Он самый загадочный и вместе с тем наименее изученный химический элемент, хотя он играет важную роль в биосфере.

«Мы совершенно не знаем роли азота в глубинных процессах Земли, нам не известно ни одно первичное соединение азота; мы даже склонны думать, что нет азотных соединений в условиях более высоких температур, отвечающих глубинным зонам земной коры. Все пути миграции азота сводятся к гипергенному циклу реакций, в которых участвует азот воздуха и который фиксирует последний в виде аммиачных, азотнокислых и азотистых солей по преимуществу щелочных металлов. Эта фиксация носит на 90% характер биохимический ... Надо думать, что в области геохимии азота

мы имеем еще ряд совершенно неразгаданных черт, которые совершенно иначе расшифровывают пути его миграции, чем мы это думаем сейчас» (Ферсман, 1969, с. 68).

**Особенности.** Первая особенность азота состоит в том, что он химически мало активен. Даже само название его в переводе с греческого языка означает – нежизненный. И вместе с тем он играет важнейшую роль в живом веществе, без азота невозможна жизнь. Вторая особенность – азот в биосфере концентрируется лишь в атмосфере и живом веществе. Кларк в литосфере  $1 \cdot 10^{-1}\%$ , непосредственно в земной коре еще меньше –  $1,9 \cdot 10^{-3}\%$ . Ничтожно мало азота в гидросфере –  $1 \cdot 10^{-5}\%$ . В водах Мирового океана содержится всего 13 мг/л азота, или  $1,8 \cdot 10^9$  г. В составе атмосферы азот играет первую роль. На его долю приходится 75% ее массы ( $4 \cdot 10^{15}$  г). В живом веществе кларк азота – 15 – 19%. Малая химическая активность азота придает атмосфере средостабилизирующий характер.

«Казалось бы, что азот в силу своей инертности и редкой встречаемости в минеральном царстве играет незначительную роль в геологических и биологических процессах. В то же время его большие содержания в живом веществе заставляют думать об интенсивных реакциях атмосферного азота с живой материей» (Бгатов, 1985, с. 69).

Третья особенность – огромная роль азота в создании живого вещества. Он участвует в фотосинтезе, в синтезе белков и нуклеиновых кислот. Без азота невозможна жизнь. Азот тоже играет роль «геохимического аккумулятора». Входя в состав органических соединений, этот «аккумулятор» заряжается, а при процессах нитрофикации происходит выделение энергии. Четвертая особенность – двойственная биогеохимическая роль азота. С одной стороны, возникающие при грозовых разрядах соединения азота являются непосредственными питательными веществами для растений, а с другой – эти же соединения активно участвуют в дифференциации минерального вещества почвенного слоя. Именно слабые растворы таких сильных кислот, как азотная и азотистая, переводят труднорастворимые минеральные соединения калия, кальция, фосфора и др., входящие в состав горных пород, в легко растворимые в воде формы, создавая резерв для минерального питания наземных растений.

**Пути поступления азота в биосферу и изъятия из нее.** Как считает А.П. Виноградов (1967), весь азот, находящийся в биосфере, имеет ювенильное происхождение, выделяясь при разных магматических процессах.

«При дегазации пород мантии или метеоритов летит не  $N_2$ , а главным образом  $NH_3$ ,  $NH_4Cl$ ,... Все изверженные породы содержат  $N_2$  в виде  $NH_4^{1+}$ ... Источником газообразного  $N_2$  на поверхности Земли был  $NH_3$  и его соли  $NH_4Cl$   $(NH_4)_2CO_3$  и др., которые дегазировались при процессах выплавления мантии на поверхность Земли. Далее  $NH_3$  окислялся кислородом атмосферы до  $N_2$ » (Виноградов, 1967, с. 29, 73).

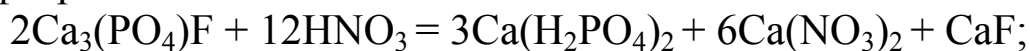
Изъятие азота из биосферы происходит лишь одним путем – при минерализации отмершего органического вещества, при котором в осадочные породы поступает  $NH_3$ . Изымается азот из биосферных круговоротов и при образовании залежей углей и углеводородов. В дальнейшем азотные соединения, захороненные в толщах осадочных пород, при опускании их в недра Земли и переплавлении, переходят в  $NH_3$  изверженных пород. Тем самым замыкается большой круговорот азота между биосферой и недрами Земли.

**Пути миграции азота в биосфере.** Есть два пути миграции атмосферного азота к живому веществу: биогеохимический и геохимический. При биогеохимическом пути происходит фиксация азота микроорганизмами, развивающимися на корнях некоторых растений, преимущественно бобовых.

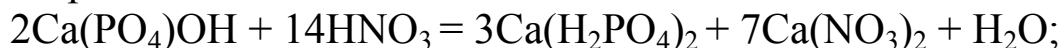
Геохимический путь, детально рассмотренный В.И. Бгатовым (1985), начинается с окисления атмосферного азота при грозовых разрядах. В результате образуются азотная и азотистая кислоты. Они с каплями дождя падают на поверхность Земли. О масштабе этого явления можно судить по цифрам, приведенным В.И. Бгатовым (1985). На Земном шаре ежегодно наблюдается около 3000 гроз, во время которых общее число молний достигает 100 000. В результате в Индокитае ежегодно на  $1 \text{ км}^2$  выпадает 3,5 т азотной и азотистой кислот, а в Центральной России – порядка 1,5 т (в пересчете на гектар соответственно 30 – 35 кг и 10 – 15 кг). В дальнейшем судьба азотных соединений, возникших при электрических разрядах молний, разделяется. Часть из них, совместно с азотистыми соединениями, полученными биогеохимическим пу-

тем, напрямую используется растениями для своего питания. Другая же часть, в виде сильнейшей азотной кислоты, растворяет практически все минеральные соединения твердой части почв, переводя такие важные для живого вещества химические элементы, как К, Р, Са и др. в легко растворимые в воде соединения:

фторапатит



гидроксиапатит



ортоклаз



Эти реакции, присущие коре выветривания, обеспечивают калийное и азотное питание растений.

Помимо живого вещества и атмосферы азот иногда накапливается в верхней части литосферы. Так, в Чили на протяжении 720 км тянется широко известный «селитряный» пояс. В нем сосредоточены огромные запасы селитры ( $\text{NaNO}_3$ ), концентрация которой в почвах достигает 62%. Образование этого пояса связывают с сильными электрическими зарядами в атмосфере и вулканизмом, характерным для прилегающих Анд (Перельман, Касымов, 1999). Пустынный климат на островах, расположенных вдоль западного побережья Южной Америки, способствовал накоплению больших масс нитратов в виде гуано, которые образовались в результате разложения помета птиц.

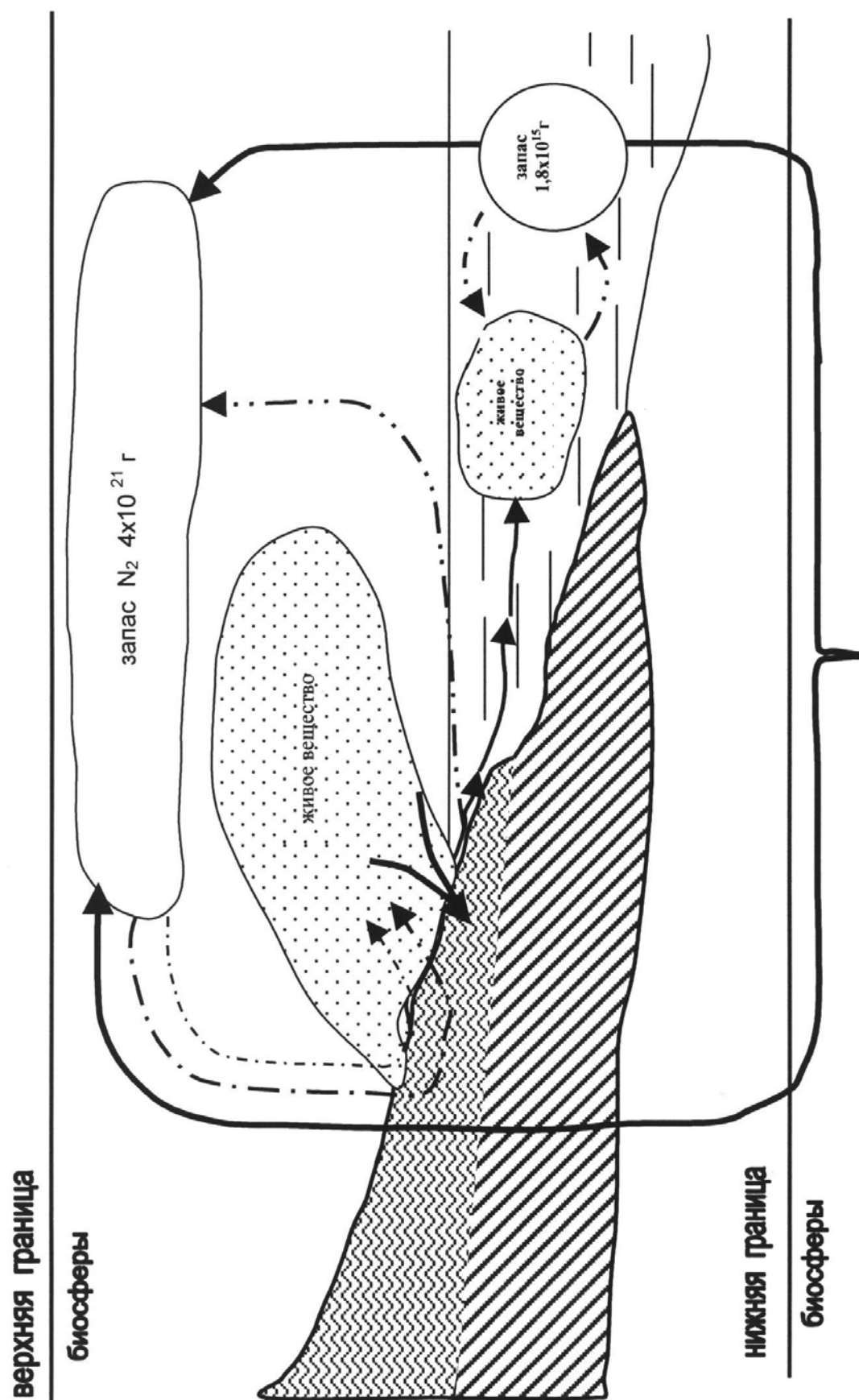
При отмирании органической массы часть ее захороняется в виде залежей углей и углеводородов, а часть подвергается микробами денитрофикации, при которой в атмосферу поступает  $\text{N}_2$ . Принципиальная схема внутрибиосферных путей миграции азота изображена на рис. 9.4.

**Характер изменений круговоротов азота с течением времени.** Можно предполагать, что принципиальная схема как большого круговорота азота, так и его внутрибиосферных круговоротов сохранялась в течение всей геологической истории биосферы. Только, скорее всего, исходя из общих соображений, геохимический путь поступления атмосферного азота в живое вещество появился несколько ранее биогеохимического.

**Влияние человека.** Хозяйственная деятельность человека ведет к увеличению дополнительного поступления соединений азота (в основном  $\text{NO}$  и  $\text{NO}_2$ ) в атмосферу и поверхностные воды. Сложилось, по крайней мере, три канала техногенных поступлений: во-первых, сжигание органического топлива, в том числе и в двигателях внутреннего сгорания, которыми оборудованы автомобили; во-вторых, при производстве аммиака и азотных удобрений; в-третьих, при применении азотных удобрений. Эти дополнительные поступления соединений азота нарушают его естественные круговороты и являются одним из видов загрязнения окружающей среды. «По данным ЮНЕП антропогенная эмиссия  $\text{NO}_2$  за последние 50 лет ежегодно увеличивается на 3 – 4% и достигла в 80-х годах 75 – 80 миллионов тонн. Это примерно половина от общего поступления N в биосферу» (Перельман, Касымов, 1999, с. 613).

Остановимся на применении удобрений. В.И. Бгатов (1985) считает, что без вмешательства человека гроззовые дожди способны обеспечить и азотное, и калийное, и фосфорное, и кальциевое питание растений. Надо более внимательно присмотреться к существующему понятию *плодородие почв*. В это понятие следует вкладывать не только количественные запасы фосфора, калия или азота в обменном комплексе почв, но главное, учитывать соотношение этих элементов в почве и в подпочвенных горизонтах на данном участке литосферы. В естественном состоянии любой участок покрыт растительностью, соответствующей соотношению элементов минерального питания слагающего его природного комплекса. **Неплодородных земель не существует вообще, есть только растительные сообщества, которые не соответствуют сложившемуся естественному соотношению элементов минерального питания на данном участке ландшафтной сферы.**

Почва всегда плодородна для одних видов растений, мало плодородна для других и совершенно не плодородна для третьих. К примеру, сосна растет на песчаных почвах, ель – на тяжелых глинистых почвах и т.д. Поэтому география размещения растительности и определяется, прежде всего, минеральным и химическим составом субстрата. Однако человек не всегда удовлетворен естественным плодородием почв и набором произрастающей на ней растительности. Он стремится создать искусственно оптимальные условия для получения наивысших урожаев тех культур, в которых он заинтересован. Для этого он стремится повысить плодородие почв путем внесения удобрений. Удобрения бывают органические и минеральные. Внесение органических удобрений – это возврат того, что было отторгнуто. Этот древнейший способ повышения или сохранения плодородия земель не нарушает сложившихся естественных круговоротов. В основе его – стремление сохранить природу. В России этот способ стал применяться с XVI века, а в XVIII веке великий отечественный агроном А.Т. Болотов вывел формулу: на одну десятину пашни должно быть



*Рис. 9.4. Принципиальная схема круговорота азота  
(по данным ряда источников)*

- 1 атмосфера;
- 2 океан;
- 3 литосфера;
- 4 зона гипергенеза
- 5 эндогенный поток  $N_2$ ,  $NH_3$ ,  $NH_4Cl$ ,  $(NH_4)_2 CO_3$ ;
- 6 снос биогенов речными водами;
- 7 геохимический поток  $NO$  и  $NO_2$  в зону гипергенеза;
- 8 биогеохимическая фиксация  $N_2$  азотобактериями;
- 9 денитрофикация отмершей биогенной массы;
- 10 консервация при литогенезе в осадочных породах;

не менее 2 коров, навоз от которых идет на удобрение пашни. Соответственно поголовью скота должен быть и размер лугов и пастбищ для их прокорма.

«Внесение же минеральных удобрений – вмешательство в сложившиеся в природе внутренние многовековые связи. Применение различных видов искусственных удобрений может быть оправдано только в том случае, если их питательные вещества строго сбалансированы с жизненными потребностями растений, с особенностями их вегетационного периода развития, с положительным действием и последующим влиянием выращиваемой продукции на организм потребителей. Нарушение этой целесообразности приводит к необратимому процессу разрушения природы. Так, постоянно вносимые в почву легкорастворимые минеральные удобрения, в том числе азотные, фосфорные и калийные, легко вымываются поверхностными водами и мигрируют в виде ядовитых для животного мира соединений в ближайшие водоемы и водотоки, заражая тем самым окружающую среду» (Бгатов, 1985, с. 77). Передозировка азотных удобрений ведет к накоплению нитритов и нитратов в выращенной продукции. Такая продукция отрицательно сказывается на здоровье тех, кто ее потребляет.

### ***Круговорот фосфора***

Фосфор исключительно важный биоэлемент, он относится к числу создателей первичной, доклеточной жизни, непрменный участник создания белковых молекул (ДНК, РНК).

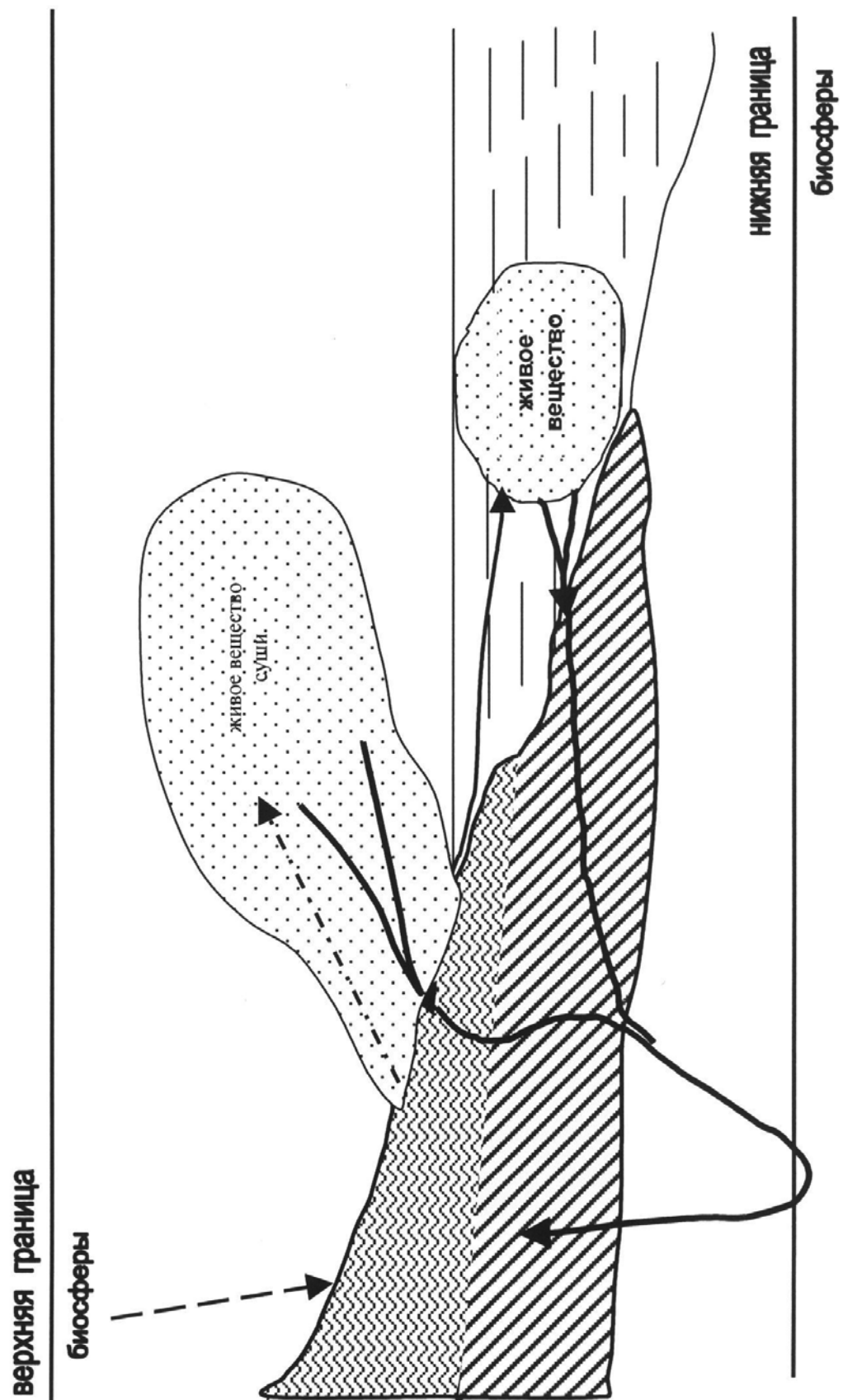
**Особенности.** Первая особенность в его переменной валентности: фосфор бывает 3- и 5-валентный. В земной коре преобладают неорганические соединения 5-валентного фосфора. Все они трудно растворимы в воде, что ограничивает их водную миграцию. Поэтому, несмотря на то, что кларк фосфора в земной коре достаточно высок –  $9,3 \cdot 10^2\%$ , наблюдается постоянный дефицит фосфора в почвах и поверхностном слое океанических вод. Из-за этой своей особенности фосфор часто выступает в качестве лимитирующего фактора развития наземной и водной растительности. Там же, где наблюдается большое содержание фосфора в

почвах, например, над фосфоритовыми месторождениями, развивается пышная растительность. Вторая особенность – фосфор относится к тем немногим элементам, в миграции которых живое вещество играет ведущую роль. Иными словами, этому элементу свойственна преимущественно биогенная миграция.

**Пути поступления фосфора в биосферу и изъятия из нее.** В биосферу фосфор поступает в составе изверженных горных пород, которые содержат такие минералы, как фторапатит ( $\text{Ca}_5[\text{HJ}_4]_3\text{F}$ ), хлорапатит ( $\text{Ca}_5[\text{HJ}_4]_3\text{Cl}$ ) и гидроксилapatит ( $\text{Ca}_5[\text{HJ}_4]_3\text{OH}$ ). Изъятие фосфора из биосферы происходит при минерализации в осадочных горных породах отмершей органической массы, с последующим перемещением этих пород нисходящими тектоническими движениями в недра Земли (рис. 9.5).

**Пути миграции фосфора в биосфере.** Внутрибиосферные пути миграции фосфора начинаются в зоне гипергенеза. Именно в ней азотная кислота, выпавшая вместе с грозowymi дождями, переводит труднорастворимые минералы апатитовой группы в легкорастворимые соединения фосфора. Эти легко растворимые соединения попадают в основном в растительность, служа ей минеральным питанием (см. выше). Далее по пищевым цепям фосфор проходит по всей трофической пирамиде.

На пути выноса легкорастворимых соединений фосфора из зоны гипергенеза встречаются различного рода геохимические барьеры, на которых они вновь превращаются в труднорастворимые соединения. Поэтому в пресных и морских водах содержание фосфора на несколько порядков ниже, чем в литосфере. По данным А.П. Виноградова (1967), концентрация Р в водной среде около  $6 \cdot 10^{-6}\%$ . Источником фосфора в морской воде являются  $\text{PO}_4^{3-}$ , снесенные с берега, Р-органические соединения и  $\text{PO}_4^{3-}$ , образовавшиеся в результате окисления органического вещества (Виноградов, 1967). С суши в моря ежегодно поступает примерно  $3 \cdot 10^{12}$  г фосфора,



*Рис. 9.5. Принципиальная схема круговорота фосфора  
(по данным ряда источников)*

- 1 атмосфера;
- 2 океан;
- 3 литосфера;
- 4 зона гипергенеза
- 5 геохимический перенос речными водами подвижных соединений фосфора;
- 6 биогеохимический перенос подвижных соединений;
- 7 консервация соединений фосфора при литогенезе;
- 8 антропогенный поток с химическими удобрениями;

причем 83% поступает в виде обломков и взвеси, и лишь 17% представлено растворимыми соединениями (Перельман, Касымов, 1999).

Поэтому фосфору свойственна лишь биогенная форма миграции, которая осуществляется птицами, рыбами, а также и целым рядом других сухопутных и морских животных. Местами в биосфере образуются биогенные концентрации фосфора. Примером могут служить острова вдоль западного побережья Южной Америки, где птичий помет превращается в гуано (см. выше). В местах скоплений отмерших остатков организмов могут образовываться залежи фосфоритов. Такими фосфоритоносными слоями могут быть пласты, обогащенные раковинами некоторых родов моллюсков. В Ярославской области такие фосфоритоносные слои выходят вблизи пос. Глебово Рыбинского района.

**Характер изменений круговоротов фосфора с течением времени.** В осуществлении внутрибиосферных круговоротов фосфора решающее значение имеет живое вещество. Эти круговороты нам известны с рифейского периода.

**Влияние человека.** Хозяйственная деятельность привела к существенным нарушениям внутрибиосферных круговоротов фосфора. Главное влияние заключается в том, что широкое применение фосфорных удобрений и высокое содержание этого элемента в канализационных стоках привело к значительному повышению содержания фосфора в водной среде. В результате во многих водоемах наблюдается бурный рост сине-зеленых водорослей, который приводит к эвтрофикации водоемов (снижается в водной среде содержание кислорода, в результате происходят заморы рыбы и т.п.). В Германии 54% озер, а в США даже 70% претерпели эвтрофикацию. Кроме того, при использовании фосфоритов в качестве удобрений наблюдается загрязнение сельскохозяйственных угодий рядом тяжелых (мышьяк, кадмий и т. д.) и радиоактивных элементов семейства урана, содержащихся в фосфоритах.

Итак, все рассмотренные круговороты представляют собой сложное сочетание процессов в основном двух типов: большого круговорота, совершающегося между биосферой и недрами нашей планеты, и ряда внутрибиосферных круговоротов. В боль-

ших круговоротах существенную роль играют литогенез, магматические и метаморфические процессы, идущие в мантии и земной коре. Именно они являются источником большинства химических элементов, участвующих в биогеохимических и биологических процессах. Внутрибиосферные круговороты идут как с участием, так и без участия живого вещества, но все они скоординированы не только между собой, но и с параметрами большого круговорота, причем в этой координации ведущую роль играет живое вещество. Наиболее сложные круговороты присущи кислороду и углероду. Для них характерно наличие нескольких путей поступления, преобразования и изъятия, что повышает устойчивость круговоротов. Круговороты азота и фосфора устроены проще.

Характер круговоротов в геологической истории биосферы не оставался постоянным. Он неоднократно менялся под воздействием как внешних, так и внутренних воздействий на биосферу. Возможные способы самоорганизации биогеохимических процессов стали выясняться лишь в последние годы (см. ниже). Хозяйственная деятельность к началу XXI века приобрела такой размах, что стала существенно воздействовать на сложившиеся природные круговороты. Такое вмешательство человека в естественный ход развития биосферы нередко приводит к целому ряду негативных последствий, которые возможно было бы предотвратить, если бы мы стремились вписывать техногенные круговороты в сложившиеся биосферные.

### **Способы самоорганизации геохимических круговоротов**

В работе А.А. Баренбаума (2000) выясняются способы самоорганизации глобальных геохимических круговоротов. В своих исследованиях он исходил из того, что при активном поступлении углерода из космоса его излишки должны выводиться из круговорота и фиксироваться в неких «резервуарах». В качестве «резервуаров» он рассматривал такие подсистемы биосферы, как

атмосфера, мировой океан, породы земной коры, а также живое вещество, почвенный слой и породы верхней мантии Земли.

Геохимическое равновесие для всех «резервуаров» будет выполняться при условии  $n_i / \tau_i = C = \text{const}$ , где  $n_i$  – количество подвижного углерода во всех его формах, находящегося в данной подсистеме – (резервуаре), а  $\tau_i$  – среднее время пребывания углерода, определяющее скорость обмена углерода данной системы со всеми другими резервуарами системы ( $\tau_i$  – теоретически рассчитываемая величина). Проведя соответствующие расчеты для углерода, кислорода и воды, А.А. Баренбаум получил результаты, приведенные в табл. 9.6. Данные этой таблицы «наглядно демонстрируют, что в пределах точности расчета круговороты воды, кислорода и углекислоты характеризуются практически одной и той же константой геохимического равновесия  $C = 2,7 \times 10^{17}$  г/год. Таким образом, мы имеем дело не с отдельными круговоротами этих веществ, а, как полагал В.И. Вернадский, с их круговоротом в пределах единой геохимической системы. Объединяющим началом такой системы, очевидно, выступает живое вещество, которое, входя общим составным элементом в круговорот воды, углекислоты и кислорода, приводит их скорости циркуляции в геохимическое равновесие с круговоротом воды» (Баренбаум, 2000, с. 281).

Таблица 9.6

**Константы круговорота  
двуокиси углерода, кислорода и воды  
(из работы А.А. Баренбаума, 2000)**

Тип круговорота	Геохимическая константа круговорота ( $\times 10^{17}$ г/год)
Биосферный круговорот $\text{CO}_2$	2,56
Циркуляция атмосферного кислорода	2,75
Геологический круговорот вод Мирового океана	2,64

Проанализировав скорость накопления биогенного углерода и поведение «малоподвижного» углерода, под которым А.А. Баренбаум понимал углерод карбонатных пород и биогенный углерод, запечатанный в осадочных породах, он сделал важный вывод, что в процессе самоорганизации геохимических круговоротов, вероятно, используется два способа. Первый заключается в быстром, скачкообразном изменении величины константы геохимического равновесия системы в результате сильного воздействия. Менее сильные воздействия устраняются системой путем изменения в биосферном цикле соотношения количества живого вещества и неорганического углерода (Баренбаум, 2000, с. 286). Причину сильного воздействия, которая привела к скачкообразному изменению геохимической константы системы А.А. Баренбаум (2000) видит в следующем. На рубеже предпоследнего и последнего галактического года (в начале мезозоя, 150 млн. лет тому назад) произошла «быстрая перестройка всей глобальной циркуляции вещества на Земле, которая сопровождалась изменением скорости основных геохимических процессов. Под воздействием Галактики система как бы скачком перешла из одного состояния равновесия в иное, с другими значениями константы» (с. 288 – 289).

Дальнейшие исследования покажут, прав ли А.А. Баренбаум (2000), связывая причину сильного воздействия на биосферу со сменой сезонов галактического года, или ее надо искать в чем-то другом. Одно несомненно, в геохимических круговоротах главную роль играет живое вещество. Оно есть то объединяющее начало, которое приводит в геохимическое равновесие скорости циркуляции отдельных элементов с круговоротом воды. Важны и два механизма, установленные им в самоорганизации геохимических круговоротов, которые включаются для сохранения устойчивости при нарушении равновесия. Первый – это скачкообразное изменение геохимической константы. Второй – изменение соотношений между биогенным и абиогенным круговоротами углерода в биосфере. Скорее всего, первый механизм порождает этапность в развитии биологических систем, а второй поддерживает равновесие системы в течение этапа.

Итак, приведенный выше материал показывает, что регуляторная функция живого вещества в учении о биосфере занимает ключевое место, поскольку именно она обеспечивает устойчивое функционирование и развитие всей биосферы, принадлежащей к нелинейным неравновесным системам. Пока удалось наметить лишь общую схему того, как живое вещество выполняет эту важнейшую функцию. Предстоит прояснить еще очень многие вопросы. В частности до сих пор мало внимания уделялось изучению прямых и обратных связей, возникающих при выполнении живым веществом своей регуляторной функции. Вероятно, к прямым связям следует отнести те, в результате которых формируется трофическая пирамида биосферы и происходит эволюция живых существ. Обратные связи изучены хуже. По-видимому, в качестве начального звена древнейшего типа обратных связей следует рассматривать те изменения, которые претерпевают естественные тела биосферы под воздействием жизнедеятельности живых существ (изменение газового состава атмосферы, химического состава морской воды и других характеристик среды обитания). Когда эти биогеохимические изменения достигают некоторой критической величины, то сохранение равновесия в биосфере достигается либо изменением соотношения между биогенным и абиогенным круговоротами углерода в биосфере, либо скачкообразным изменением константы геохимических круговоротов, о которых говорилось выше. В обоих случаях происходит изменение условий существования. Те, кто оказался не приспособленным к новым условиям, вымирают, а биосфера, с сохранившейся частью живых существ, продолжала устойчиво развиваться в новых условиях. В геологической летописи биосферы фиксируется ряд «великих вымираний видов». Обычно причину этих явлений связывают с теми или иными внешними воздействиями. Дальнейшие исследования, возможно, покажут, что «великие вымирания видов» обусловлены внутренними причинами, являясь конечным звеном обратных связей.

## Семинар 9

### **Вопросы для обсуждения**

1. Проанализируйте биогенную классификацию химических элементов по В.И. Бгатову (1999) и основные моменты в эволюции живых организмов.

### **Самостоятельная работа в группах по 4 – 5 человек**

Подготовка принципиальных схем, с выделением узловых моментов, по материалам раздела 9 и всего предшествующего материала. Выделить наиболее сложные, спорные, неоднозначные вопросы в круговоротах отдельных элементов и воды, показать связанность и взаимозависимость круговоротов, способы их самоорганизации. На представление каждого круговорота не более 10 минут. Обсуждение, вопросы аудитории.

### **Литература**

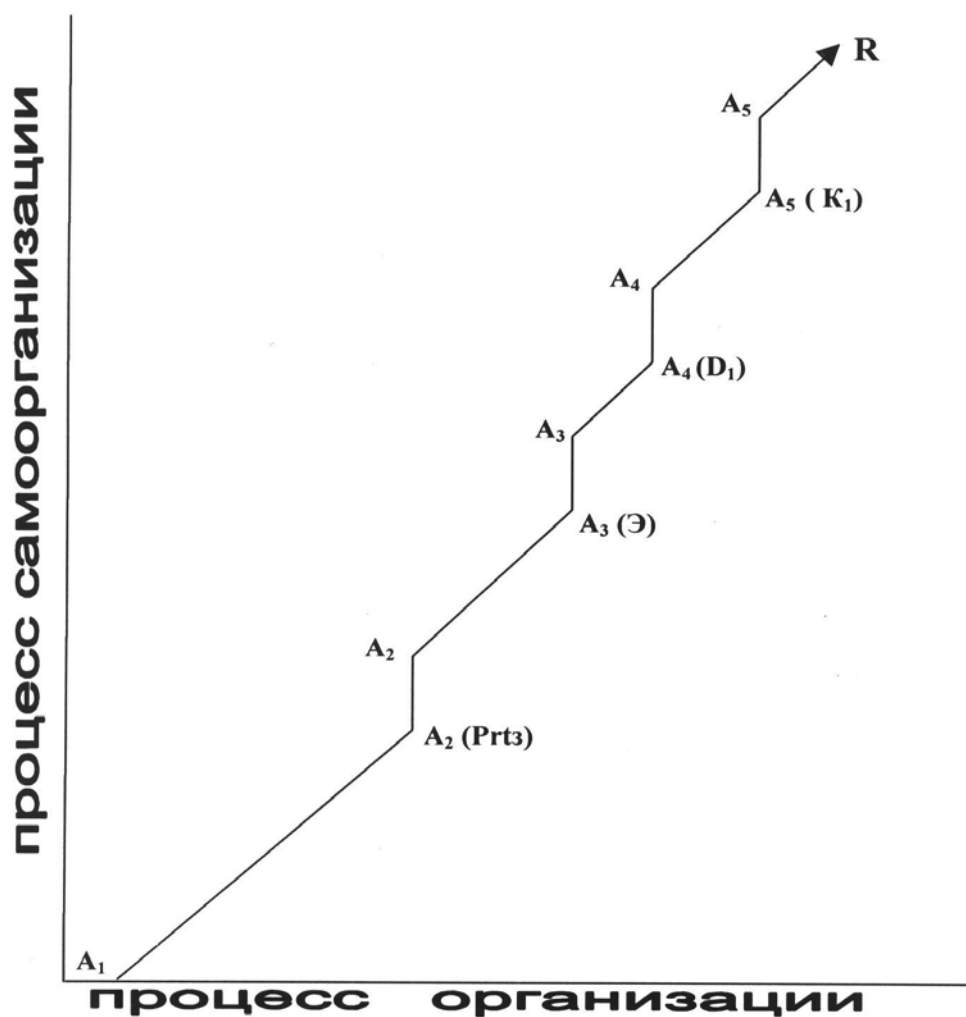
Баренбаум А.А., 2000; Бгатов В.И., 1985, 1999; Вернадский В.И., 1960б, 1980; Гавриленко Е.С., Дерпгольц В.Ф., 1971; Перельман А.И., Касымов Н.С., 1999; Шипунов Ф.Я., 1980.

## 10. Основные этапы развития биосферы

*Появляется в некотором смысле высший  
тип детерминизма – детерминизм  
с минимальной неоднозначностью будущего,  
и с возможностью выхода на желаемое будущее.  
Это – детерминизм, который  
усиливает роль человека.  
Е.Н. Князев, С.П. Курдюмов*

История зарождения и развития биосферы относится к числу фундаментальных междисциплинарных проблем. Для ее решения необходимо всестороннее исследование и знание геологической летописи. Более 200 лет этим занимались геологи. Их трудами создана историческая геология, в которой во временной последовательности систематизирован огромный фактический материал, характеризующий проявления всех основных биосферных процессов в течение 4 млрд. лет. Наиболее изучен период, охватывающий последний миллиард лет (о нем сохранилось больше свидетельств). В последние 20 – 25 лет к исследованиям геологов подключились микробиологи. Это позволило стереть многие белые пятна в ранней истории биосферы. Но, несмотря на достигнутые успехи, история развития биосферы в полном объеме еще не выяснена, хотя многое известно, а некоторые стороны изучены весьма детально.

История становления и развития биосферы рассмотрена по крупным этапам. Они были установлены при нанесении на геохронологическую шкалу рубежей, которые, по мнению большинства исследователей, отражают переломные моменты в развитии биосферы (рис. 10.1). Некоторые исследователи (Заварзин, 1999,



**Рис. 10.1. Принципиальная схема этапности развития биосферы**

- $A_1$  – появление прокариот,
  - $A_2$  – начало расцвета эукариот,
  - $A_3$  – возникновение у эукариот кальцевой функции,
  - $A_4$  – образование озонового экрана, выход живых организмов на сушу, создание ими ландшафтной сферы,
  - $A_5$  – коренное преобразование круговоротов химических элементов и их соединений за счет изменения геохимических констант, появление млекопитающих и покрытосемянных,
  - $R$  – современность и присущий ей переход биосферы в ноосферу.
- Длина отрезков  $A_1 - A_2$ ,  $A_2 - A_3$ ,  $A_3 - A_4$ ,  $A_4 - A_5$ ,  $A_5 - R$  пропорциональна логарифму длительности этапа.

Моисеев, 1999) рассматривают эти переломные моменты как точки бифуркации. При описании поступательного развития биосферы основное внимание уделено следующим вопросам. 1. Когда и как возникли естественные тела биосферы глобальной размерности (атмосфера, океан, ландшафтная сфера и земная кора). 2. Когда и как образовались планетарные неровности земной поверхности в виде континентов и океанических впадин. Это важно потому, что глобальный рельеф определяет, в конечном счете, расположение суши и моря, а также характер морских бассейнов (мелководных или глубоководных). Это в свою очередь влияло на ход многих биосферных процессов. 3. Как и в какой последовательности шло формирование потоков энергии в биосфере, а также геохимическое преобразование естественных тел биосферы глобальной размерности и какую роль в этом играло живое вещество. Этот подход отличается от принятого в исторической геологии, тем что внимание обращается не на великое разнообразие живых организмов, остатки которых сохранились в геологической летописи, а на те новообразования среди них, что, в конечном счете, приводили к перестройке всей системы биосферы.

Все признают, что, судя по геофизическим данным, наша планета состоит из ядра, которое окутывает мантия, выше нее, ближе к земной поверхности, располагается земная кора, а между мантией и земной корой располагается особый слой вязких (расплавленных) пород, названный астеносферой. Общепризнано и то, что земная кора состоит из трех слоев (базальтового, гранитного и осадочного) и что гранитный слой развит только под континентами, слагая их основание. Связь типов земной коры с глобальными формами рельефа земной поверхности хорошо видна на так называемой гипсографической кривой (рис. 10.2). Гранитный слой не кончается у уреза воды, а простирается под водой через весь шельф и материковый склон до его внешней кромки.

Разногласия начинаются с объяснения современного расположения континентов. Существует три системы взглядов. Согласно первой – все океаны древние, а континенты возникли на месте своего современного расположения. Это классическая система взглядов геологов XIX и первой половины XX столетия, в

основе которой лежат представления о платформах, геосинклиналях и складчатых поясах. Приверженцев этой точки зрения называют фиксистами, поскольку они не признают значительных горизонтальных перемещений блоков земной коры. Сторонники второй системы взглядов считают, что есть два типа океанических впадин – молодые и древние. Тихий океан они считают древним. Остальные океаны – молодыми, которые образовались на месте древних платформ. Блоки гранитного слоя расколовшихся и исчезнувших платформ были переплавлены в результате грандиозных излияний базальтов. Эти взгляды, являющиеся разновидностью воззрений фиксистов, были популярны в середине XX века. Приверженцы третьей системы взглядов полагали, что примерно 200 млн. лет тому назад существовал один огромный материк Пангея, который омывался единым океаном. Потом единый материк раскололся на части, и они по вязкому слою астеносферы, залегающей на границе земной коры и мантии, разъехались в разные стороны. Их горизонтальные передвижения продолжались до тех пор, пока они не заняли современного положения. Сторонников этой системы взглядов называют мобилистами, поскольку они придают большое значение горизонтальным движениям земной коры. Первоначально эти взгляды были изложены в начале XX столетия А. Вегенером. Потом они возродились в 60-е годы XX века, когда в результате интенсивного изучения Мирового океана, начавшегося после 2-й мировой войны, была открыта глобальная система срединно-океанических хребтов. В настоящее время предложена пульсирующая модель развития нашей планеты, согласно которой периодически менялся ее общий режим: эпохи сжатия тела планеты чередовались с эпохами роста ее. Тогда попеременно возникало преобладание то горизонтальных тектонических движений, то вертикальных. Возможно, эта гипотеза позволит

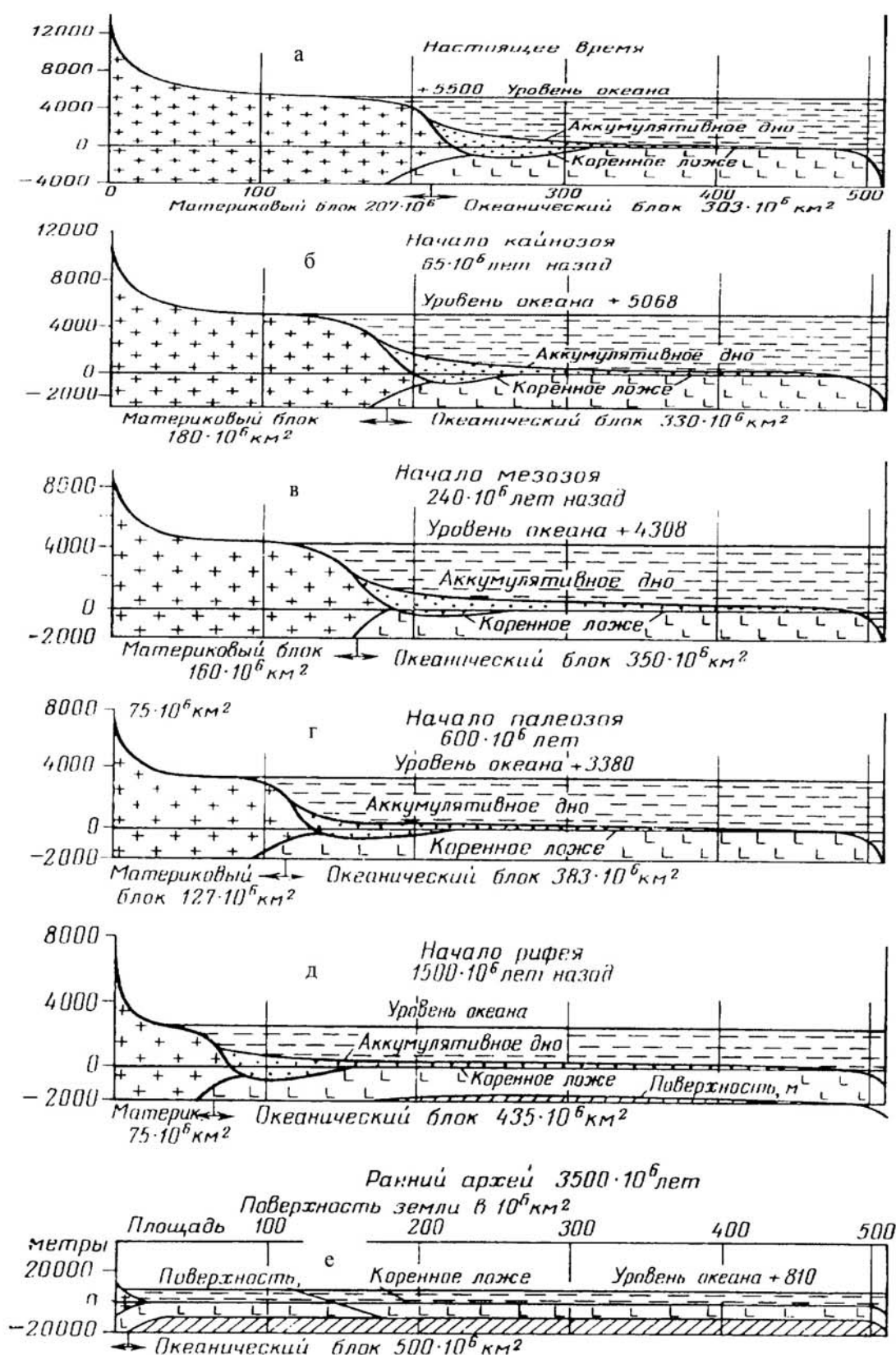


Рис. 10.2. Эволюция гипсографической кривой  
(по Н.П. Васильковскому, 1973)

Условные обозначения к рис. 10.2



за исходный нулевой уровень принята первичная поверхность  
коренного ложа океана;

а — настоящее время (уровень + 5500);

б — начало кайнозоя ( $65 \times 10^6$  лет назад, уровень океана +  
5068);

в — начало мезозоя ( $240 \times 10^6$  лет назад, уровень океана +  
4308);

г — начало палеозоя ( $600 \times 10^6$  лет назад, уровень океана  
+3380);

д — начало рифея ( $1500 \times 10^6$  лет назад);

е — ранний архей ( $3500 \times 10^6$  лет назад, поверхность земли в  
 $10^6 \text{ км}^2$ )

найти компромисс между взглядами «мобилистов» и «фиксистов».

Следующие цифры дают представление о месте биосферы в общем ходе развития нашей планеты. В настоящее время на основе данных абсолютной геохронологии считают, что Солнечная система возникла около 5,0 – 5,5 млрд. лет тому назад. (Этот возраст имеют некоторые метеориты.) Земля как планета сформировалась в пределах 4,6 – 4,7 млрд. лет тому назад (самые древние на Земле архейские породы имеют возраст около  $4,6 - 4,7 \cdot 10^9$  лет). Остатки древнейших цианобактерий найдены в породах, возраст которых оценивается в пределах  $3,5 - 3,9 \cdot 10^9$  лет. Следовательно, на формирование Земли как планеты потребовалось порядка 300 – 800 млн. лет, а добиосферный этап ее развития имел длительность примерно в два раза больше (0,7 – 1,2 млрд. лет).

## **Добиосферный этап развития Земли**

Добиосферный этап развития нашей планеты (от  $4,6 - 4,7 \cdot 10^9$  лет до  $3,5 - 3,9 \cdot 10^9$  лет) охватывал всего 15 – 25% ее общей истории, но именно тогда возникли многие черты, предопределившие появление тех условий, в которых может существовать и развиваться живое вещество.

Первоначальное каменное тело планеты слагалось протопланетным веществом, близким по своему химическому и минеральному составу каменным метеоритам. О степени однородности этого тела нет единого мнения. Одни считают его гомогенным (однородным), другие, и в их числе А.П. Виноградов (1967 и др.), полагают, что ему были присущи первичные неоднородности. Именно из таких неоднородностей очень рано обособилось ядро планеты и облегающая его мантия, в строении которой тоже допускаются первичные неоднородности. Считается, что вещество ядра нашей планеты находится в жидкой фазе, в виде расплава, на это указывают особенности прохождения через ядро сейсмических волн. Предполагается, что в этом расплаве ядра возникли конвективные токи, существующие до сих пор. С ними связывают образование магнитного поля Земли. Взаимодействие магнит-

ного поля с потоком частиц, идущих от Солнца (солнечный ветер), привело к возникновению магнитопаузы, а также внешнего и внутреннего радиационных поясов. Так на самых ранних стадиях развития планеты возникли первые защитные уровни будущей биосферы.

Внешние оболочки нашей планеты (земная кора, гидросфера, атмосфера) появились позже в результате глубинной дифференциации и дегазации первичного вещества мантии. В этих процессах существенную роль играл механизм зонной плавки (см. раздел 5). В результате из легкоплавких компонентов вещества первичной мантии образовался базальтовый слой, а летучие газы сформировали первичную атмосферу. Затем, когда температура на земной поверхности опустилась ниже  $100^{\circ}\text{C}$ , произошла конденсация паров воды и возникла первичная гидросфера. На стыке этих трех оболочек возник внешний круговорот воды. Пространство, занятое им, А.А. Григорьев назвал в 1932 г. географической оболочкой Земли. В этой открытой полуизолированной системе была вода в жидкой фазе, защитные уровни, сложился внутренний круговорот энергии, при котором часть тепловой энергии и геохимической энергии свободного кислорода консервировалась при литогенезе в древнейших осадочных породах. Словом, сложились все необходимые условия появления живых организмов. Ниже приведены результаты реконструкции естественных тел Земли глобальной размерности.

**Атмосфера.** Первичная атмосфера состояла из газообразных продуктов, выделяющихся при вулканических извержениях (около 7% от массы излившихся базальтов). В состав газов входили пары воды, метан, углекислота, аммиак, азот, водород с примесью инертных газов (Ar, Kr, Xe, He) и так называемые кислые дымы, выделяемые вулканами (HF, HCl, борная кислота,  $\text{H}_2\text{S}$  и др.) (Немков, Муратов и др., 1974, Бгатов, 1985). В атмосфере древнего типа преобладали  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ . «Свободный  $\text{O}_2$ , возникавший под влиянием фотодиссоциации в верхних слоях атмосферы, окислял аммиак до свободного азота и воды, а  $\text{CH}_4$  до углекислоты и воды; окислялся также  $\text{H}_2\text{S}$  до  $\text{SO}_3$ ... происходила медленная трансформация газовой смеси в направлении накопле-

ния в ней главного компонента современной атмосферы – азота» (Страхов, 1963, с. 510).

**Океан.** При охлаждении пары воды, находящиеся в первичной атмосфере, переходили в жидкое состояние, формируя первичный океан. В те далекие времена по сравнению с современностью было иное соотношение суши и моря. По реконструкции Н.П. Васильковского (1973), водами первичного океана было покрыто более 98% поверхности Земли, а его средняя глубина составляла около 810 м. Объем воды в первичном океане составлял всего 34% от объема водной массы современного океана. Гипсографическая кривая была очень пологой (рис. 10.2).

Химический состав "первозданного" океана отличался от современного. Воды океана были, несомненно, очень кислыми и являлись по существу более или менее крепким раствором  $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  с  $\text{pH}$ , близким к 1 – 2. В этой воде были растворены также и некоторые газы:  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_4$  и другие углеводороды, а также  $\text{CO}_2$ , но сульфатов еще не было или они существовали только в следах. Тот же свободный кислород, который выделялся при подводных излияниях базальтов, тут же расходовался для окисления  $\text{H}_2\text{S}$  в  $\text{SO}_2$  (Страхов, 1963, Бгатов, 1985). Однако важен сам факт присутствия, пусть и весьма кратковременного, геохимической энергии свободного кислорода, выделявшегося при подводных излияниях базальтов. «К концу начального этапа в результате интенсивно протекавших процессов нейтрализации кислые – за счет сильных кислот – океанские воды превратились в воды хлоридного типа, которые отличались от современных вод этого типа обилием хлоридов  $\text{Al}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Mn}$ , полным отсутствием растворенных карбонатов и ничтожным – сульфатов. Газовая фаза этих вод была представлена главным образом  $\text{CO}_2$ , отчасти  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2$  при полном отсутствии свободного кислорода. ... Иначе говоря, хотя процесс нейтрализации сильных кислот и сопровождался несомненным подъемом  $\text{pH}$ , однако, и по завершении его воды оставались еще значительно кислыми; только носителями кислотности стали уже не сильные кислоты, а слабые – прежде всего, конечно,  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , потом  $\text{H}_3\text{BO}_3$  и др. Нейтрализация сильных кислот в гидросфере и переход к кислотности, обусловленной

$\text{H}_2\text{CO}_3$ , и было основным содержанием начального (азойского) этапа эволюции гидросферы” (Страхов, 1963, с. 510).

**Ландшафтной сферы** еще не было: на дневную поверхность выходили непосредственно горные породы, слагавшие земную кору.

**Земная кора.** В ней сформировался лишь базальтовый слой за счет потоков лав основного состава. Литогенез был в основном представлен его вулканогенно-осадочным типом. Это были, прежде всего, лавы и массы рыхлого пеплового материала и некоторое количество более или менее выветренных терригенных осадков обычного типа. Из числа хемогенных, несомненно, имело место накопление хемогенного кремнезема и, вероятно, основных хлоридов Fe, Al, Mn, сульфидов тяжелых металлов, а также фторидов Ca, Mg, Fe, Al; заведомо не существовало никаких карбонатных накоплений, а также сульфатов Ca и Mg. Полностью отсутствовали галогенные породы (Страхов, 1963).

Итак, в результате добиосферного развития Земли сформировались три из четырех естественных тела глобальной размерности (атмосфера, океан и земная кора литосферы), которые впоследствии войдут в качестве основных элементов в систему биосферы. В газовой оболочке нашей планеты появились первые защитные уровни, которые смягчали воздействие Космоса на поверхность Земли. Океан занимал 98% всей поверхности Земли, хотя объем его водной массы составлял всего лишь 34% современного объема океана, а средняя глубина была порядка 800 м (по сравнению с 4000 м в современном океане). Суша еще была очень невелика (всего около 2%), но внешний круговорот воды уже начал осуществляться. Земная кора состояла из одного базальтового слоя, а среди типов литогенеза явно преобладал вулканогенно-осадочный. Словом, возникли все необходимые предпосылки для возникновения живого вещества: сформировалась система внешнего круговорота воды, в которой поддерживались термодинамические условия, приемлемые для существования живого вещества, в морские воды постоянно поступала геохимическая энергия свободного эндогенного кислорода. Правда, она тут же расходовалась на разнообразные реакции окисления.

## **Современные взгляды на возникновение биосферы**

Человечество всегда интересовал вопрос происхождения жизни на Земле. Еще в XVII веке Реди сформулировал свой знаменитый принцип “все живое от живого”. Этот принцип В.И. Вернадский считал великим эмпирическим обобщением (в современной биосфере невозможен абиогенез). Поэтому в конце XIX и начале XX века среди естествоиспытателей (К. Бернар, Г. Гельмгольц, Г. Рихтер, С. Аррениус и др.) широкое распространение получили идеи вечности жизни и ее занос на нашу планету из Космоса.

В первой половине XX века появились первые результаты исследований А.Н. Баха и его учеников. Они стремились осуществить абиогенный синтез биоорганических соединений. В те же годы А.И. Опарин опубликовал свою знаменитую гипотезу о возникновении жизни в восстановительных условиях первичной атмосферы Земли. Не меньшие успехи были достигнуты во второй половине XX века в биохимии и молекулярной биологии, раскрывшие механизмы синтеза белковых молекул. Как показали многие исследователи, из смеси газов и паров воды могли возникать разнообразные органические соединения при особых внешних воздействиях (ионизирующее излучение, действия электрических разрядов, ультрафиолетовое облучение). Так были экспериментально синтезированы многие простейшие органические соединения (аминокислоты, сахара и т.д.). В добиосферный этап развития нашей планеты защитных уровней еще не было, и до поверхности Земли доходили многие космические излучения. Поэтому появление простейших органических соединений в результате абиогенеза вполне возможно.

В 30-е годы XX века В.И. Вернадский перевел обсуждение возможности происхождения жизни на Земле в совершенно иную плоскость. Первым делом он уточнил формулировку принципа Реди и показал, что этот принцип не отрицает абиогенеза, а только указывает пределы, в которых абиогенез отсутствует (в пределах биосферы). Он подчеркнул: «Научно вопрос о начале жизни

на Земле сводится ... к вопросу о начале в ней биосферы. ... **Говоря о появлении на нашей планете жизни, мы в действительности говорим только об образовании на ней биосферы**” (Вернадский, 1960в, с. 260). «В биосфере всегда наблюдается, говоря терминами геохимии, разнородное живое вещество и жизнь всегда **исполняла одновременно разнородные биогеохимические функции**” (Вернадский, 1960в, с. 256). Он считал, что с самого начала биосферы живое вещество, входящее в нее, должно было быть сложным телом, а не однородным веществом. Его биогеохимические функции по разнообразию и сложности не могут быть уделом одного какого-то вида. “Первое появление жизни при создании биосферы должно было произойти не в виде появления одного какого-нибудь вида организма, а в виде их совокупности, отвечающей геохимическим функциям жизни. Должны были сразу появиться биоценозы” (Вернадский, 1960в, с. 263). В настоящее время мысль Вернадского об одновременном возникновении на Земле четырех основных форм организации живого вещества (организмов, видов, биоценозов и биосферы) находит себе все больше сторонников среди естествоиспытателей (Колчинский, 1990). Еще одну чрезвычайно важную мысль высказал В.И. Вернадский. Он считал, что абиогенез на Земле, если его допустить, должен проходить вне известной нам эволюции. “Дело в том, что эволюционный процесс, какую бы форму его мы ни взяли, всегда идет уже внутри биосферы, т.е. в живой природе” (1960в, с. 263). Сейчас полагают, “что предбиологическая эволюция шла очень быстро. Ее основные “изобретения” (абиогенный синтез органических соединений, формирование матричного синтеза органических молекул, образование жизни вироидного типа, обладающей точным аппаратом самовоспроизведения макромолекулярных комплексов РНК и ДНК, развитие прокариотов) заняли гораздо меньше времени, чем вся последующая эволюция жизни” (Колчинский, 1990, с. 45).

Эти взгляды В.И. Вернадского были блестяще реализованы в последней четверти XX века в исследованиях Г.А. Заварзина. Он показал, что наиболее древние остатки живых организмов, из известных нам, установлены в горных породах, возраст которых примерно 3,5 – 3,9 млрд. лет. Эти окаменелые остатки древней-

ших организмов (цианобактерии) названы микрофоссилиями. В метеоритах, возраст которых более 4,5 млрд. лет, тоже нашли бактериоморфные формы, весьма похожие на микрофоссилии цианобактерий (Заварзин, 1999 и др.). Эти данные свидетельствуют, что примитивные формы живых организмов были распространены и за пределами нашей планеты.

Цианобактерии относятся к прокариотам. Они в те далекие времена были основными продуцентами, т.е. теми, кто создает первичную массу органики из неорганических веществ в результате фотохимических и других реакций. Не исключено, что в короткий добиосферный период биогеохимические процессы были не замкнуты. Однако ограниченность биогенных веществ вынудила биоту создать замкнутые биогеохимические циклы. В результате неминуемо должны были появиться деструкторы, которые стали бы разлагать органическое вещество до исходных неорганических соединений, тем самым решая вопрос с ресурсами для дальнейшего развития биоты. Этими деструкторами тоже были бактерии-органотрофы. Цианобактерии и бактерии органотрофы кооперировались и образовывали четко работающую систему, названную трофической пирамидой. “Трофическая сеть в анаэробных сообществах представляет согласованную систему, не менее четкую, чем транспортная сеть в промышленном производстве” (Заварзин, 1999, с. 101). С этого простейшего биоценоза, образованного бактериями, и возникла биосфера.

Откуда появилась диссимметрия у живого вещества, пока остается тайной за семью печатями. Не исключено, что белковые тела первых цианобактерий “собирались” на кристаллах кварца, которые часто встречаются в прибрежной полосе моря. Среди этих кристаллов кварца были как правые, так и левые формы. И среди белковых тел бактерий стали формироваться также и правые, и левые формы. Правизна и левизна в строении белковых молекул стали передаваться по наследству при размножении. Такое наличие правых и левых форм у органического вещества зафиксировано в некоторых нефтях. При дальнейшем развитии примитивных форм жизни почему-то преимущество получили левые изоморфные молекулы. Возможно, так и возникла диссимметрия живых организмов.

## Древнейший этап развития биосферы

Продолжительность самого первого этапа развития биосферы оценивается в 2,5 – 2,9 млрд. лет (от 3,5 – 3,9 млрд. лет до 1,0 млрд. лет). Он занимал порядка 70 – 75% всей истории биосферы и был в 2,5 – 4 раза продолжительнее добиосферного этапа развития Земли. Самым главным событием этого этапа было появление в океане в результате химической эволюции живого вещества. Оно было организовано в первые примитивные бактериальные биоценозы, состоящие из цианобактерий и органотрофов.

Океан, как показали расчеты Н.П. Васильковского (1973), на этом этапе значительно увеличил свои размеры, хотя его поверхность и сократилась. К концу этапа океан занимал примерно 87% поверхности Земли (против 98% на предшествующем этапе). Значительно (в 2,3 раза) увеличилась водная масса, достигнув 80% объема современного океана. Почти в 3 раза увеличилась и средняя глубина (с 810 до 2510 м). Такое сокращение поверхности океана с одновременным увеличением его водной массы было следствием того, что рельеф земной поверхности стал более расчлененным, более контрастным (увеличился наклон гипсографической кривой), за счет формирования древних платформ, которые по существу представляли собой ядра будущих континентов (см. рис. 10.2).

Самое главное событие – в океане появились древнейшие цианобактерии, которые на дне океана образовывали своеобразные маты. Их окаменевшие остатки, названные строматолитами, широко развиты во всех протерозойских породах. Строматолиты сформировали первые мощные карбонатные пласты на дне океана. Цианобактерии оказались той группой организмов, которая прошла через всю историю Земли и сыграла значительную роль в формировании биосферы современного облика. Появились и сине-зеленые водоросли, относящиеся к прокариотам. Благодаря им возник феномен фотосинтеза. Живые организмы в виде «пленки жизни» отчетливо концентрировались по периферии древних водоемов, особенно вблизи крупных массивов суши. Это происходило из-за того, что воды, стекавшие с суши, несли с собой те

минеральные вещества, которые были нужны для питания организмов. Такая пространственная локализация живого вещества в водоемах вокруг суши имела далеко идущие последствия (Верзилин и др., 1976).

В развитии первых живых организмов произошли интересные изменения. На протяжении этого этапа трижды наблюдался спад в развитии строматолитов, когда сокращались площади, занятые их постройками. Причину этого исследователи видят в периодических изменениях климата, которые приводили к покровным оледенениям. (Цианобактерии, а следовательно, и строматолиты были теплолюбивыми организмами.) Первый ледниковый период зафиксирован около 2,2 млрд. лет назад. Тогда льды толстым слоем покрывали континенты и моря. Охлаждение биосферы, скорее всего, происходило благодаря сочетанию ряда факторов, среди которых немаловажную, а может быть, даже и ведущую роль играло снижение парникового эффекта из-за уменьшения содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере. Причину снижения содержания углекислоты в воздухе видят в широком развитии строматолитов в периоды межледниковья. Связывание  $\text{CO}_2$  происходило в процессе образования карбонатных построек строматолитов. Последнее оледенение, оказавшееся фатальным для строматолитов, произошло как раз в конце этого этапа (перед неопротерозойской революцией). Оледенение обычно заканчивалось, когда из-за наземного вулканизма в атмосфере повышалось содержание углекислоты (порой до 300 раз выше от современного содержания).

Если цианобактерии были теплолюбивы, то эукариоты могли существовать и в холодных водах (первые эукариоты появились примерно 2 млрд. лет тому назад, во время первого похолодания климата). Скорее всего, холодноводные условия, которые не раз возникали в протерозое, способствовали зарождению и дальнейшему развитию эукариот, которые смогли в силу более сложного строения приспособляться к таким условиям существования (Федонкин, 2000).

В целом на этом первом этапе господствовали цианобактерии и бактерии-органотрофы. Они совместно освоили все биогеохимические функции живого вещества (см. табл. 9.1). Кислородную

функцию исполняли цианобактерии, поскольку побочным продуктом их жизнедеятельности был кислород. Так в биосфере появился второй фотосинтетический источник свободного кислорода (наряду с эндогенным). Усиление притока свободного кислорода за счет фотосинтеза привело к существенным геохимическим последствиям. Так впервые под биогеохимическим воздействием живого вещества стал преобразовываться химизм естественных тел биосферы. Благодаря этому, произошли кардинальные изменения в химизме океанических вод. До сих пор характер океанических вод был хлоридным с высоким содержанием восстановителей (сероводорода и закисного железа). Разросшаяся суша способствовала развитию на ней интенсивного химического выветривания. В результате с континентов в океан пошел все возрастающий поток растворенных карбонатов натрия, калия, кальция, магния, железа и марганца. Хлоридный состав океанических вод стал преобразовываться в хлоридно-карбонатный (Виноградов, 1967; Страхов, 1963). О газовой фазе воды древних океанов можно судить по результатам исследований газового состава включений в древних кремнистых породах (табл. 10.1). Данные этой таблицы показывают, как постепенно в биосфере менялся состав растворенных в морской воде газов, а следовательно, и в атмосфере: с течением времени увеличивалось содержание кислорода и азота при одновременном сокращении углекислого газа.

Благодаря возросшему поступлению в океан кислорода за счет появления второго источника (фотосинтеза цианобактерий), постепенно окислялись такие восстановители, как сероводород и закисное железо. Они превращались в сульфаты и окислы железа. В результате океанические воды становились хлоридно-карбонатно-сульфатными. Балансовые расчеты показали, что если исходить из массы органического углерода в осадочных породах, то этой массе должны соответствовать не только масса кислорода в атмосфере, но и кислород, входящий в состав сульфатов океанических вод и в окисные руды железа, так называемые железистые кварциты. (Именно такое биосферное происхождение имеют железные руды Курской магнитной аномалии, дающие сейчас нам лучшее сырье для производства чистого же-

леза.) После того, как были окислены все запасы сероводорода и восстановленного железа в водах первичного океана, кислород из океана стал поступать в атмосферу.

Таблица 10.1

***Средний состав газовой фазы в современной морской воде и во включениях древних кремнистых пород***  
(по Ю.П. Казанскому и др., 1973)

Возраст	Количество определе- ний	Концентрация (в объемных процен- тах)			
		H <sub>2</sub> S, HCl, HF, NH <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> и редкие газы
Современный океан	-	-	3,2	34,1	62,7
Верхний мел	3	-	4,9	20,1	75,0
Средний девон	2	-	7,6	18,0	74,4
Силур	3	-	31,8	13,6	54,6
Верхний протерозой	2	-	37,1	12,6	50,3
Верхний протерозой	11	-	34,5	13,7	51,8
Средний протерозой	3	-	31,8	11,9	56,3
Архей (?) – нижний протерозой	1	31,3	44,2	5,5	19,0
Архей	7	35,1	61,1	-	3,8

**Атмосфера.** Мы не знаем, какой была масса атмосферы на первом этапе развития биосферы, но скорее всего она была значительно меньше современной. Первоначальный состав атмосферы начал меняться за счет появления кислорода. Он поступал в атмосферу сначала за счет фотохимических реакций с H<sub>2</sub>O и CO<sub>2</sub>. Но этот источник, как полагает А.П. Виноградов (1967) мог дать не более 0,1% по сравнению с современной атмосферой. Вторым более мощным источником свободного кислорода был подводный базальтовый вулканизм, но первоначально поступления из этого источника шли на окисление различных соединений, содержащихся в морской воде. И, наконец, третий источник (фотосинтез) – выделение свободного кислорода как побочного про-

дукта жизнедеятельности цианобактерий. Появление свободного  $O_2$  (сразу из трех источников) привело к окислению  $CH_4 \rightarrow CO_2$  и, следовательно, к стабилизации карбонат-бикарбонатной системы в океанической воде. Углекислый газ ( $CO_2$ ) из атмосферы практически нацело был извлечен жизнью, когда начали отлагаться биогенные карбонаты. Продукты серы –  $H_2S$ ,  $SO_2$  и другие перешли в  $SO_4^{2-}$ , изменив состав океанической воды.  $NH_4^{1+}$ , вероятно, был исчерпан организмами и окислен в элементарный азот. Так с помощью биоты создавалась мощная современная азотно-кислородная атмосфера. Когда содержание кислорода достигло примерно 1% от современного уровня, стала возможной жизнь аэробных организмов. Появление их знаменует первую перестройку системы биосферы в истории ее развития.

**Литосфера.** На этом этапе помимо базальтового слоя земной коры стал интенсивно формироваться и гранитный слой. Он сложил фундамент древних платформ, которые по существу представляли собой ядра будущих континентов. Континентальные блоки заняли, по оценке Н.П. Васильковского (1973), порядка 13% ее поверхности. Образование блоков гранитного слоя по существу явилось отдаленным последствием тех геохимических преобразований в океане и атмосфере, возникших под влиянием первых живых организмов (появление свободного кислорода и сокращение содержания  $CO_2$ ). Рост участков суши, изменения химизма атмосферы и океана, в конечном счете, привели к тому, что появился наряду с вулканогенно-осадочным и гумидный тип литогенеза. Именно в нем и происходило пространственное отделение окислов кремнезема от железа и алюминия.

Итак, на этом древнейшем этапе развития биосферы главным событием было появление первых биоценозов живого вещества, образованных бактериями (цианобактериями и органотрофами). Именно благодаря их биогеохимической активности произошли серьезные химические преобразования всех естественных тел биосферы. В целом в биосфере восстановительная среда постепенно сменялась окислительной. Произошли кардинальные изменения состава океанических вод. Они из хлоридных стали сперва хлоридно-карбонатными, а затем и хлоридно-карбонатно-сульфатными. Началось мощное биогенное образование карбона-

тов, а также отложение железистых кварцитов. Появились крупные блоки гранитного слоя земной коры в виде древних платформ, которые образовали ядра будущих континентов. В появлении и разрастании этих древних платформ ряд исследователей видит результат жизнедеятельности живых организмов, которые с момента своего появления начали преобразовывать поверхность нашей планеты. Они способствовали консервации и накоплению солнечной энергии в толщах осадочных пород, окаймлявших древнейшие участки суши. Продолжался рост водной массы океана, усложнялся рельеф земной поверхности. На этом этапе мы впервые фиксируем существенные изменения климата, которые выразились в трех волнах резкого похолодания, сопровождавшихся покровным оледенением. В атмосфере увеличивалось содержание азота и кислорода, исчезал метан и сокращалось содержание  $\text{CO}_2$ . Так к началу неопротерозойской революции бактериальными сообществами была создана новая биогеохимическая среда.

## **Неопротерозойский этап развития биосферы**

Первая перестройка системы биосферы произошла около 1 млрд. лет тому назад, в начале позднего протерозоя (в рифее). К этому рубежу приурочена неопротерозойская революция в развитии живого вещества, в результате которой широкое развитие получили эукариоты. Появилась та принципиально новая форма живого вещества, с жизнедеятельностью и биогеохимической функцией которого связано кардинальное преобразование всей биосферы (поток энергии и круговорот химических элементов). С появлением эукариотов окончательно сложилась принципиальная схема потоков энергии в биосфере (см. рис. 8.1). Этот этап длился до рубежа в 570 млн. лет, когда живые организмы освоили кальциевую функцию, что привело к очередной перестройке биосферы (см. ниже). Таким образом, длительность рассматриваемого этапа примерно 430 млн. лет, или около 11 – 12% продолжительности всей истории биосферы.

**Океан.** Поверхность океана продолжала сокращаться, а его водная масса увеличивалась на 12%. (92% от современного объема). Увеличилась средняя глубина океана до 3200 – 3300 м, среди морских бассейнов существовали глубоководные и мелководные на древних платформах (Васильковский, 1973).

Живое вещество по-прежнему было сосредоточено только в океане, в структуре которого произошли существенные изменения. Увеличение содержания кислорода в атмосфере до 1% от современного привело к увеличению его концентрации и в морской воде, а это создало условия для жизни аэробных организмов. Этим не замедлили воспользоваться эукариоты, которые долго ждали своего часа (более 1 млрд. лет). Именно их массовое развитие называют неопротерозойской революцией. Она выражалась в появлении одноклеточных организмов (протистов) с эукариотной клеткой довольно сложного строения, а также многоклеточных. Необходимо подчеркнуть, что создание трофической системы в бактериальных сообществах, и появление в неопротерозое эукариотных одно- и многоклеточных организмов связано с реализацией одного и того же принципа – **кооперации**. Именно в соответствии с этим принципом на разных уровнях организации живого вещества возникли одно- и многоклеточные организмы, а также экосистемы.

Неопротерозойская революция происходила в океане, который по своему химическому составу начал приближаться к современному составу океанических вод. Атмосфера позднего протерозоя начинала приобретать азотно-кислородный состав, хотя концентрации отдельных газов в ней отличались от современных. Побочный продукт жизнедеятельности цианобактерий – кислород – был с их точки зрения жутким загрязнением биосферы. Но именно биогенный кислород привел к преобразованию геохимических условий, к которым была **вынуждена** приспосабливаться биота.

С тех далеких времен в биоте началось преимущественно морфологическое развитие эукариот, которое привело к биоразнообразию, наблюдаемому сейчас. Мы не знаем, **почему** появились эукариоты, но знаем, **как** они возникли. Появление их связано с образованием комбинаторных соединений различных

бактерий с последующей интеграцией их в целостный организм (Заварзин, 1999). Возникали разные комбинаторные соединения бактерий, которые, в конечном счете, привели к появлению уже среди протистов двух основных типов клеток (растительных и животных). Из протистов (растительных и животных) сначала произошли колониальные, а затем и многоклеточные растительные и животные организмы.

“Все переходы от колониального способа жизни к многоклеточности возможны только для эукариотов. Здесь в большей степени проявляется принцип "матрешки", когда на маленькую куклу надевается большая. Доминирующим становится процесс усложнения с последующей дифференциацией функций клеток внутри организма и формированием тканей, отличающих колонии от многоклеточных организмов” (Заварзин, 1999, с. 100). Остатки этой бесскелетной фауны венда известны из верхнего протерозоя Австралии, Алданского щита Сибири, на Беломорском побережье Кольского полуострова.

Главным событием неопротерозойской революции было появление мощного **фотосинтеза** у водорослей и быстрый и все убыстряющийся рост массы биоса, усложнение его организации. Органическое вещество становится постоянным, обязательным компонентом осадочных пород (от долей процента до 1%, Страхов, 1963). В целом в океане продолжалось хемогенное и биогенное образование больших толщ карбонатных пород – известняков и доломитов. Такое захоронение в осадках большого количества  $\text{CO}_2$  приводило к падению ее содержания в атмосфере.

**Атмосфера**, как уже отмечалось выше, благодаря фотосинтезу зеленых водорослей стала приобретать азотно-кислородный состав. Она освобождалась (благодаря интенсивному карбонатообразованию) и от  $\text{CO}_2$ , все больше приближаясь к современной атмосфере, хотя концентрации отдельных газов в ней еще отличались от современных.

**Литосфера.** Продолжался рост гранитного слоя земной коры, который слагал древние платформы Гондванскую, Северо-Американскую, Восточно-Европейскую, Сибирскую и Китайскую. Этот континентальный блок, по оценкам Н.П. Васильковского (1973), уже занимал чуть меньше 25% земной поверхности.

Гипсографическая кривая стала существенно круче (рис. 10.2). На суше продолжалось идти интенсивное химическое выветривание. Среди литогенезов были представлены уже все типы. Не исключено, что на этом этапе произошло формирование большого круговорота солнечной энергии.

Итак, на этом этапе продолжалось дальнейшее разрастание древних платформ, на которых формировались мелководные морские бассейны. В этих мелководных морях получили широкое распространение эукариоты, как одноклеточные, так и примитивные многоклеточные. И именно их широкое развитие стало главным событием этого этапа. Появление фотосинтеза у водорослей резко усилило кислородную биогеохимическую функцию живого вещества и создало второй фотосинтетический (в дополнение к эндогенному) канал поступления в биосферу свободного кислорода. Это, в свою очередь, способствовало более быстрому геохимическому и биогеохимическому преобразованию водных и воздушных масс биосферы, которые по своему составу стали приближаться к современным.

## **Раннепалеозойский этап развития биосферы**

Этот этап развития биосферы охватывает всего 160 – 170 млн. лет (с 570 млн. лет до 410 – 400 млн. лет, в течение кембрийского, ордовикского и силурийского периодов). По своей продолжительности он сравнительно короткий: охватил всего лишь около 4 – 4,8% всей длительности истории биосферы, но значимость его была колоссальна, так как в течение его создались условия, которые позволили живому веществу освоить новое для них пространство – сушу возникших континентов.

Вторая кардинальная перестройка биосферы произошла 570 млн. лет тому назад, когда среди эукариотов (растений и животных) появились формы, освоившие построение минерального скелета из карбоната кальция.

“Биоминерализация становится внутриклеточным процессом и не зависит от внешних условий. Образовавшийся скелет может растворяться или же захороняться в виде биогенной известняковой породы, созданной кокколитофоридами, фораминиферами – протистами, колониальными губ-

ками, коралловыми группировками или же моллюсками на очень широкой шкале биологической эволюции. Меняется и сопряженный с кальциевым цикл неорганического углерода. Этот цикл в свою очередь сопряжен с циклом органического углерода соотношением 1:1, поскольку осаждение карбоната из бикарбоната требует удаления из сферы реакции агрессивной углекислоты, как это происходит и сейчас в экосистеме кораллов или известковых водорослей” (Заварзин, 1999, с. 99).

В результате стал меняться газовый состав атмосферы: в ней уменьшилось содержание углекислого газа, и увеличилось содержание кислорода за счет фотосинтеза водорослей, которые получили массовое развитие в мелководных морях. В карбонатных породах литосферы содержится в 15 000 раз больше  $\text{CO}_2$ , чем в атмосфере. Растения ежегодно поглощают 1/35 всего  $\text{CO}_2$ , содержащегося в атмосфере. Как только содержание кислорода в атмосфере достигло примерно 10% (от современного уровня), начал образовываться озоновый слой. Это имело далеко идущие последствия: жесткое ультрафиолетовое излучение, губительное для биоты, стало задерживаться озоновым экраном и перестало доходить до дневной поверхности. Создались условия для пышного развития живых организмов на мелководье, а потом и для выхода на сушу животных и растений.

**Океан** на этом этапе занимал около 77% поверхности земли. Но характер морских бассейнов претерпел существенные изменения. Среди них выделялись мелководные эпиконтинентальные моря, геосинклинальные бассейны с более расчлененным рельефом (см. рис. 10.2). И, наконец, существовал третий тип – глубоководные океанические бассейны, типа Тихого океана. Главным сосредоточением морских организмов были мелководные платформенные моря и геосинклинальные бассейны.

Органический мир кембрия, ордовика и силура за последние 200 лет достаточно хорошо изучен палеонтологами. Долгое время исследователей поражала внезапность появления с самого раннего кембрия всех основных типов животного мира и низших растений. Но потом выяснилось, что эта внезапность только кажущаяся. Живые организмы с начала кембрия освоили кальциевую функцию и стали строить свои раковины и скелеты из карбоната кальция, что способствовало лучшему сохранению их остатков в горных породах. Поэтому, хотя все основные типы животных и

примитивных низших растений появились еще во время неопротерозойской революции, на предыдущем этапе, но они смогли продемонстрировать все свое разнообразие только тогда, когда у них появились твердые скелеты и раковины.

Среди животных преобладали беспозвоночные, хотя в ордовике уже появились первые бесчелюстные позвоночные. Все животные и низшие растения обитали преимущественно в мелководных морях древних платформ. К концу этапа биоразнообразие выросло примерно в 10 раз. Возможно, что на этом этапе бактериальные сообщества начали осваивать подземную биосферу.

Интенсивное извлечение карбоната кальция из морской воды привело к тому, что она из хлоридно-карбонатно-сульфатной становилась хлоридно-сульфатной, приближаясь по своему химическому составу к водам современного океана. Однако ее соленость не оставалась постоянной. Она то увеличивалась, то уменьшалась. Разросшиеся континентальные массивы суши поставляли все больше и больше растворимых солей в океан, что не могло не вызвать увеличение его солености. С другой стороны, в мелководных полузамкнутых морях, расположенных на древних платформах, во время регрессий происходило осаждение солей из морской воды, что уменьшало содержание солей в морской воде. В результате сложилось динамическое равновесие, которое поддерживало соленость морских вод около средних значений.

**Атмосфера.** Благодаря фотосинтетической деятельности водорослей, получивших широкое распространение в мелководных бассейнах, шло постепенное накопление кислорода в атмосфере. Одновременно сокращалось в ней и содержание  $\text{CO}_2$ . Она использовалась живыми организмами для построения внутреннего или наружного карбонатного скелета. Когда содержание кислорода достигло 10% современного, произошло формирование последнего защитного уровня биосферы – озонового слоя. Этим были созданы предпосылки для завоевания суши живыми организмами.

**Земная кора.** Разросшиеся в предшествующее время блоки гранитного слоя земной коры образовали древние платформы со сравнительно ровным рельефом. К ним относятся Североамериканская, Русская, Сибирская и Китайская. Платформы были су-

щественно приподняты над океаническим дном, расположенным на базальтовом слое земной коры. Этот континентальный блок занимал порядка 23% земной поверхности. Появление этих платформ хорошо видно на гипсографической кривой (см. рис. 10.2).

Временами морские воды заливали древние платформы полностью или частично. Такие наступления моря называются трансгрессиями. В результате образовывались мелководные обширные эпиконтинентальные моря, где кипела жизнь. Временами воды уходили с древних платформ, которые вновь становились сушей. Такой отход моря называют регрессиями морского бассейна. Для рассматриваемого этапа было характерно три волны трансгрессий и регрессий. По окраинам древних платформ и между ними развивались более глубоководные геосинклинальные бассейны с резко расчлененным рельефом дна и развитым вулканизмом.

Итак, главные события этого сравнительно короткого этапа были связаны с дальнейшим биогеохимическим преобразованием водных и, главным образом, воздушных масс (содержание кислорода неуклонно увеличивалось, а углекислого газа снижалось). Это – следствие освоения живыми организмами кальциевой функции. Увеличение содержания кислорода в атмосфере привело к образованию последнего защитного уровня биосферы (озонового экрана). Создались условия для выхода морских организмов на сушу.

## **Позднепалеозойский этап развития биосферы**

Очередная перестройка биосферы произошла около 410 - 400 млн. лет тому назад, в конце силура, когда образовался наземный растительный покров, изменивший все биогеохимические и геофизические процессы. Тогда произошло формирование четвертого естественного тела биосферы глобальной размерности – ландшафтной оболочки, появившейся на континентах и островах.

О верхней границе этого этапа нет единого мнения. Одни исследователи (Заварзин, 1999) склонны продолжать его вплоть до настоящего времени, не видя принципиальных изменений среди живых организмов. Другие (Баренбаум, 2000) ограничивают его рубежом, расположенным где-то в поздней юре или на границе ее с меловым периодом (150 – 140 млн. лет тому назад). На этом рубеже произошла быстрая перестройка всей глобальной циркуляции вещества в биосфере (см. раздел 9). Если принять последнюю точку зрения, то продолжительность этапа составит около 250 – 260 млн. лет (6,5 – 7,7% длительности всей истории биосферы).

**Океан** на этом этапе все больше приобретал свои современные черты, хотя соотношение суши и моря, а также объем океанических вод не оставались постоянными. На этом этапе наблюдались четыре морских трансгрессии, во время которых морские воды проникали далеко в глубь материков, образуя обширные мелководные эпиконтинентальные моря. В них, равно как и в геосинклинальных морях и открытом океане, обитали самые разнообразные морские животные и растения. Состав их видов, родов и семейств не оставался постоянным, он обновлялся. Наиболее крупные изменения произошли на рубеже палеозоя и мезозоя.

В самом начале этапа, в девонском периоде, в морях были широко представлены самые разнообразные рыбы: панцирные, кистеперые, двоякодышащие и т. д. Недаром девонский период называют «веком рыб». От некоторых из них произошли первые наземные позвоночные. Отдельные представители этой древней фауны рыб дожили до современности и обитают у восточного побережья Африки в районе Коморских островов.

“В океанах продолжается рост биомассы и расползание живой материи по дну; бентос захватывает все новые и новые участки глубокого дна; подвигается в пелагическом направлении и планктон, что, несомненно, также увеличивает биомассу морских организмов. В целом поэтому за относительно короткий промежуток времени живое вещество количественно возрастает, вероятно, не менее чем в 3 – 3,5 раза. Увеличение биомассы живой материи сопровождается усложнением ее качественного состава и, что особенно важно, использованием организмами ряда минеральных компонентов для построения наружного и внутреннего

скелета:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ , фосфатов,  $\text{SrSO}_4$ ,  $\text{BaSO}_4$ ; ряд малых элементов (Cu, V и др.) используются в метаболизме клеток, участвуя в строении сложных металлоорганических соединений (гемоциан и др.). Тем самым в огромной степени увеличивается воздействие биоса на всю геохимию океана и атмосферы... Перемены произошли в составе газовых компонентов гидросферы, где также резко убывла  $\text{CO}_2$  и соответственно возросло содержание  $\text{O}_2$ . Это означало резкий рост Eh и pH морской воды. Впервые она стала щелочной и все более щелочной по мере приближения к современности... Обилие кислорода в морской воде привело к тому, что окислительная пленка становилась в океанах и морях все более мощной и все более длительно существующей. ... В то же время рост биомассы планктона и бентоса и их расползание от берега к центру бассейнов увеличивали площадь развития восстановительной зоны в осадках; зона эта перемещалась все более в пелагическом направлении. Это привело к тому, что осадки центральных областей всех платформенных и геосинклинальных морей стали настолько богаты  $\text{C}_{\text{орг.}}$ , что восстановительная зона в них всегда возникала. Только в центральных частях океанов, в связи с очень малым поступлением в них  $\text{C}_{\text{орг.}}$  и большей стабильностью органического вещества, восстановительной зоны в илах не возникало и до сих пор эта область характеризуется резко окисленными красноцветными осадками” (Страхов, 1963, с. 519, 521).

**Атмосфера** постепенно становится все более азотно-кислородной за счет поступления  $\text{O}_2$ , образовавшегося в процессе фотосинтеза наземных и водных растений и истощения  $\text{CO}_2$  при биогенном образовании карбонатных отложений в морях и океанах.

**Земная кора** континентального типа продолжала наращиваться как вокруг древних платформ, так и путем создания молодых платформ (Западно-Европейской, Марокканской, Скифско-Туранской). Одним из примечательных событий было оледенение части поверхности Земли (это случилось примерно 270 млн. лет тому назад, в позднем палеозое). Тогда льды покрыли древнюю платформу южного полушария Гондвану. Потом это покровное оледенение растаяло. Периодически (через 40 – 60 млн. лет) воз-

никали орогенные эпохи, когда создавались горы. Это сопровождалось резким усилением наземного вулканизма. Во время вулканических извержений увеличивалось поступление на дневную поверхность радиоактивных элементов, что в свою очередь вело к повышению естественного радиоактивного фона как наземной среды, так и морской воды.

**Ландшафтная сфера.** Начало формирования этого самого молодого, по меркам геологического времени, естественного тела биосферы было положено в конце силура – начале девона выходом растений и животных на сушу. Такое расширение поля жизни стало возможным после возникновения последнего защитного уровня биосферы (озонового экрана). Первыми заселили сушу микроорганизмы: силикатные бактерии и лишайники. Они приняли самое активное участие в процессах выветривания горных пород. И с этого момента выветривание превратилось из физико-химического процесса в биогеохимический. Освоение новой сухопутной ниши микроорганизмами привело также к уменьшению содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере и гидросфере.

“В конце силура – девоне началось формирование растительного покрова, когда фотосинтезирующая поверхность была вынесена в атмосферу из водной среды. Кульминация формирования растительного покрова достигла в карбоне. С тех пор наземная жизнь протекает в аэротопе – пространстве от почвы до верхушек деревьев – и в почве как корнеобитаемом слое. Вынос фотосинтезирующей поверхности в атмосферу происходил с образованием органического скелета стебля и с накоплением больших масс целлюлозы и лигнина. Эти соединения изменили количественные соотношения в наземном углеродном цикле. Изменился и атмосферный гидрологический цикл за счет появления эватранспирации (испарения воды наземной растительностью. – *Б.В.П., О.В.Б.*). Отсюда стал иным и процесс денудации. Растительный покров тесно связан с развитием грибного мицелия в почве, поэтому растительный покров следует рассматривать как растительно-грибную систему ... наличие грибов на поверхности континентов как предварительное условие развития растительности чрезвычайно важно, так как обуславливает замыкание углеродного цикла потенциально мощным процессом деструкции, до того как появятся новые продуценты ... Деятельность животных связана, прежде всего, с биотурбацией, но в общих биогеохимических циклах они играют модифицирующую, а не определяющую роль. Вся биосфера этого типа существенно аэробна, исключая лишь относительно небольшие анаэробные карманы в амфибиальных

ландшафтах, где происходило накопление углей – углеродный цикл был разорван. Таким образом, платформенные области стали играть существенно иную роль в экономике планеты” (Заварзин, 1999, с. 98). Об этом говорят и современные оценки источников поступления биогенного кислорода в атмосферу: примерно 50% кислорода дают морские растения и 50% наземная растительность (Физическая география мирового океана, 1979). Если учесть, что суша занимает всего лишь 1/3 поверхности планеты, а моря и океаны 2/3, то процесс фотосинтеза на суше идет интенсивнее примерно в два раза.

В ландшафтной оболочке с самого начала возникает ряд весьма существенных новообразований, которые сыграли значительную роль в развитии всей биосферы. К ним относятся почвы и болота.

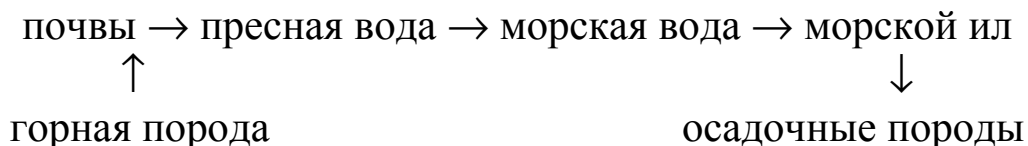
**Почвы.** В них содержание живого вещества достигает нескольких десятков процентов веса. Образование почв началось, когда микроорганизмы физико-химический процесс выветривания превратили в биогеохимический. Не менее важно было развитие в карбоне сплошного покрова наземной растительности, которая своими корнями скрепила верхний рыхлый слой, образовавшийся на материнских породах. Как подчеркивал В.И. Вернадский, почва представляет собой “область наивысшей геохимической энергии живого вещества, это важнейшая по своим геохимическим последствиям лаборатория идущих в ней химических и биохимических процессов” (1960б, с. 98).

Химические элементы в почвах, как указывал В.И. Вернадский (1960г), находятся в трех средах. *Среда А* – это малоизмененные обломки материнских пород, на которых образовалась почва. *Среда В* – живое вещество почвы и его более или менее разложившиеся остатки. В них могут концентрироваться по меньшей мере следующие элементы – В, С, N, О, Н, F, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se(?), Sr, Mo, Ag, Sn, Ba, Au(?), Pl, Bi, Li, Sc, Br, Rb, J, Cs, Ce, (Y). *Среда С* – более или менее стойкие илистые почвенные минералы. Они мало растворимы в воде и концентрируются в почвах в виде тонких осадков. При разрушении почв илистые минералы могут переноситься реками в виде взвеси.

Такая концентрация химических элементов в почвах важна для снабжения развития наземной растительности микроэlemen-

тами. Если водные морские растения все необходимые элементы получают через поверхность тела из морской воды, в которой равномерно в тех или иных концентрациях содержится вся таблица Менделеева, то у наземных растений питание идет через корневую систему из почвы. Все микроэлементы, которые ему необходимы, наземное растение получает только из почвы. В ландшафтной среде нет такого равномерного распределения элементов, как в морской воде. Поэтому создаваемая концентрация элементов в среде В почвы и есть как бы своеобразный страховый фонд для растений. Иногда этот механизм дает сбой, что ведет к недостатку или избытку микроэлементов в почвах. В результате возникают эндемичные болезни растений, а также животных и человека. В последние годы в медицине стали обращать все возрастающее внимание на дисэлементозы и другие пищевые дисбалансы как на причины многих болезней (Терпугова, 2001). Причина таких пищевых дисбалансов кроется в особенностях геохимии почв.

Кроме того, подчеркивал В.И. Вернадский, почвы играют огромную роль в мобилизации вещества на водосборных площадях при литогенезе (формировании состава пресных вод суши):



Почвы и растительный покров суши образовали своеобразный экран, который стал задерживать на суше многие биогенные элементы (N, P, K и ряд других), которые ранее беспрепятственно поставлялись в морские бассейны. Как считают Н.Н. Верзилин и др. (1976), это привело к перераспределению живого вещества между сушей и гидросферой, в которой его масса несколько сократилась.

**Болота и связанное с ними угленакопление.** Одновременно с образованием наземного растительного покрова появились болота, в которых началось угленакопление, достигшее своего максимума в карбоне и начале перми. Потом эпохи угленакопления регулярно повторялись при периодически повторявшихся увлаж-

нениях климата, когда обилие влаги способствовало пышному развитию наземных растений.

Цепочка (растительная масса → торф → бурый уголь → каменный уголь) с точки зрения геохимии – это еще один канал изъятия  $\text{CO}_2$  из атмосферы (помимо биогенного образования карбонатов). По существу почвообразование и угленакпление стали последними штрихами в возникшем большом круговороте солнечной энергии, в том механизме консервации энергии при литогенезе, о котором уже не раз упоминалось ранее (см. разделы 8 и 9).

**Преобразования, произошедшие среди наземных живых организмов**, были значительны. Ландшафтная оболочка – это совершенно другая среда обитания. Только на суше живые организмы в полной мере испытали на себе силу земного тяготения. В водной среде они развивались как бы в невесомости. На суше совсем другая симметрия среды, нежели в водной толще океана. Поэтому в ландшафтной сфере у живых организмов появилось много новых возможностей для развития в самых разных направлениях, которые были незамедлительно реализованы. Отметим некоторые из них.

Пионерами наземной растительности были споровые растения. Но очень быстро, уже в каменноугольном периоде, на смену им пришли представители голосеменных. Они господствовали на суше на протяжении всего этапа. Насекомые появились в древних мелководных водоемах болотистых девонских ландшафтов около 375 млн. лет тому назад. Но они быстро приспособились к наземному образу жизни и широко распространились по сухопутным местообитаниям. В своем эволюционном развитии насекомые не избежали гигантизма: в каменноугольное время размах крыльев некоторых стрекоз достигал 70 см. Огромных размеров были и тараканы. Но такой гигантизм был лишь тупиковой ветвью. Выход из этого тупика был найден насекомыми на следующем этапе развития биосферы, когда появились цветковые растения.

Итак, на позднепалеозойском этапе главным событием в развитии биосферы было формирование ландшафтной сферы, в которой с наибольшей силой проявилась биогеохимическая функция живого вещества. Именно это привело к окончательному

формированию принципиальной схемы потоков энергии в биосфере, существующей до настоящего времени. Все естественные тела глобальной размерности стали приобретать современный облик, в том числе и круговороты химических элементов. В наземных условиях открылись новые возможности для эволюционных преобразований живого вещества. Они реализовались в мире растений появлением голосемянных, в животном царстве среди беспозвоночных – насекомых, среди позвоночных – их наземных форм.

## Современный этап развития биосферы

Этот самый короткий этап (всего около 4% времени существования биосферы) начался около 150 млн. лет тому назад с перестройки геохимических круговоротов. Тогда, по данным А.А. Баренбаума (2000), установились современные константы геохимических равновесий. К началу этапа внутренняя структура биосферы окончательно сложилась в виде системы потоков энергии и круговоротов химических элементов, а все естественные тела глобальной размерности приобрели современные очертания. Скачкообразное изменение основной геохимической константы привело, вероятно, систему биосферы в неустойчивое равновесие, создав условия для возникновения новообразований среди живых существ. К ним относятся следующие крупные эволюционными преобразованиями живого вещества в ландшафтной сфере.

**Появление среди растительности покрытосеменных и дальнейшая их коэволюция с насекомыми.** К тому моменту, когда в меловое время появились цветковые растения, насекомые уже прочно освоились в биосфере, распространившись по всей ландшафтной оболочке. Их "всюдность" и помогла им сыграть решающую роль в возникновении и дальнейшем прогрессе доминирующих в настоящее время цветковых растений. А.Л. Тахтаджан намечает следующую последовательность процесса развития покрытосеменных:

**Деревья → кустарники → полукустарники →  
многолетние травы → однолетние травы**

Современная цветковая растительность, насчитывающая 390 семейств, около 13 000 родов и не менее 240 000 видов, составляет основную массу растительного вещества биосферы. А без насекомых она существовать не может. Поэтому насекомые являются самыми непосредственными участниками производства основной первичной продукции биосферы. Хотя опыление цветковых растений и стало важнейшей функцией насекомых, этим далеко не исчерпывается их биосферная роль. “Потребляя растительную пищу, они трансформируют ее в дефицитные животные белки и сами, в свою очередь, становятся трофической основой существования многочисленных видов позвоночных и беспозвоночных животных. Мир насекомых служит одним из основных каналов, по которому цепи питания рыб, амфибий, рептилий, птиц и млекопитающих обогащаются животным белком” (Мирзоян, Мамаев, 1989, с. 4). Ныне классу насекомых принадлежит более 70% видов животного царства. Насекомые активно включились в трансформацию органического вещества в биосфере. Их возможности еще далеко не исчерпаны. К примеру, тутовый шелкопряд за 40 дней увеличивает свою биомассу в 50 000 раз. На такое способны только бактерии. Насекомые выступают и как важнейшие санитары биосферы. Для человека они интересны как производители ценного технического сырья (лаки и краски, воск, шелк). Они поставляют пищевые продукты (мед) и лекарственные препараты (пчелиный яд, прополис, пчелиное маточное молочко, пергу и т. д.).

**Освоение позвоночными воздушной среды.** Птицы среди сухопутных позвоночных животных появились около 150 млн. лет тому назад. Это событие было весьма значимым для эволюции биосферы. Птицы, наряду с насекомыми, освоили для своего передвижения воздушную среду и стали играть важную роль в миграции химических элементов в биосфере. Они с геохимической точки зрения являются антиподами рек, которые несут химические элементы в конечные водоемы стока, а птицы – с моря в глубь континентов.

**Появление среди позвоночных животных млекопитающих**, которые постепенно заняли среди них доминирующее положение. Среди млекопитающих весьма быстро пошел так называемый процесс цефализации (развитие и усложнение центральной нервной системы и головного мозга). Процесс цефализации постепенно развивался одновременно с эволюцией позвоночных, первые представители которых появились еще в ордовикском периоде. На современном этапе развития биосферы темпы цефализации среди млекопитающих резко усилились, что привело к возникновению новых форм живых организмов, получивших принципиально новые возможности влиять на ход биосферных процессов. Вот как выстраивает эти события появления новых форм Н.Н. Моисеев (1999).

**К первому событию** относится быстрое и массовое исчезновение в конце мелового периода (75 – 70 млн. лет тому назад) динозавров. Причины их вымирания неясны. Однако несомненно, что динозавры, сойдя с арены жизни, открыли дорогу млекопитающим, которые были современниками динозавров, занимая на "иерархической лестнице жизни" более низкую ступень.

**Второе событие** произошло в начале четвертичного периода в одной из групп млекопитающих. Тогда благодаря резкому изменению климата появились предки человека.

“При наступившем похолодании предки человека, австралопитеки, были вытеснены из тропических лесов в саванну. Их вытеснили более приспособленные для жизни в лесу человекообразные обезьяны. Вместо того чтобы погибнуть в опасной саванне, предок человека встал на задние лапы, освободил передние, научился использовать искусственные орудия и превратился из мирного вегетарианца в агрессивного хищника ... На заре палеолита на Земле существовало уже не просто умное животное – стал формироваться человек. Появился каменный топор, умение владеть огнем, навыки коллективной охоты” (Моисеев, 1999, с. 6).

Однако первое же техническое изобретение (каменный топор) показало, что у техники есть и обратная сторона медали. Наши предки, получив в руки топор, не только стали сильнейшими из хищников и, тем самым, вышли из состава биоценоза, но они стали пускать его в дело без всяких ограничений, в том числе и в боях за самку. В развитии наших предков возникала тупиковая ситуация: каменный топор давал преимущества и вместе с

тем неразумное его употребление (без разбора) ставило наших предков на грань исчезновения.

**Третье событие** связано с успешным разрешением возникшей тупиковой ситуации. В стадах наших предков возникло моральное табу: "Не убий!" В этом предположении австрийского антрополога Лоренца виден принцип кооперации в самоорганизации деятельности наших предков. Наиболее жизнеспособными оказались те племена и общины, у которых появилась мораль и которые смогли, учитывая индивидуальные различия соплеменников, выделить и сохранить свою интеллектуальную элиту, усложнив на кооперативных началах структуру своего общественного устройства. Сохранив интеллектуальную элиту, они, благодаря им, усовершенствовали технологию обработки камня и создали метательное оружие. «Эти обстоятельства имели катастрофические последствия: человек за относительно короткое время сделался абсолютным гегемоном, монополистом в животном мире и полностью использовал возможности новой техники. ... В результате он быстро извел крупных копытных – основу своего рациона и поставил свой биологический вид на грань голодного вымирания. Количество населения, судя по сопоставлению неолитических и палеолитических стоянок, сократилось во много раз» (Моисеев, 1999, с. 9). Вновь возникла тупиковая ситуация.

**Четвертое событие** связано с находками, которые помогли выйти из тупика. Человечество изобрело земледелие, т.е. научилось создавать искусственно разбалансированные агроценозы, с которых можно было снимать урожай для своего пропитания. Потом появилось скотоводство. Эти два новшества назвали неолитической революцией.

“В результате качественно изменился характер эволюции биосферы: возникла вторая природа, или техносфера, появились искусственные биогеохимические циклы, т.е. новый круговорот веществ в природе, ранее не существовавший ... рождение собственности и общества потребления, как неизбежного ее следствия, ... появились новые потребности, вернее, расширялись старые ... и, может быть, самый главный результат того относительно спокойного развития биосферы, который мы наблюдаем за последние 10 тыс. лет – постепенное утверждение Разума, как важнейшего элемента биосферы, важнейшего фактора ее развития (Моисеев, 1999, с. 8 – 9).

В этой неолитической революции огромную роль сыграл труд человека, который С.А. Подолинский (1991) очень точно и образно назвал своеобразным усилителем мощности при преобразовании энергии. Благодаря этому человечество, как точно заметил В.И. Вернадский, постепенно стало превращаться в грозную геологическую силу планеты, которая подвела биосферу к глобальному экологическому кризису, который обусловлен двумя обстоятельствами, имеющими фундаментальное значение. “Первое было впервые обозначено еще Т. Мальтусом. Не очень существенно то, что англиканский пастор ошибся в своих расчетах и что уменьшение производства пищи на душу населения в планетарном масштабе началось только на грани 70-х и 80-х годов XX, а не XVIII столетия, как думал Т. Мальтус. Аппетиты человека однажды превзойдут ресурсы беднеющей планеты. И не только в сфере производства пищи, но и любых других ресурсов, необходимых для жизнеобеспечения растущего человечества. Ко второму обстоятельству относится то, что антропогенная нагрузка на биосферу непрерывно растет, причем с все возрастающей скоростью, что грозит потерей устойчивости того квазиравновесия (или "устойчивого неравновесия" по Э. Бауеру). ... Индикаторами приближения к бифуркационному состоянию являются и неизбежное потепление климата, и утончение озонового слоя, и уменьшение биоразнообразия, и множество других фактов. Косвенным подтверждением предположения о возможной потере устойчивости служат и наши эксперименты по компьютерной имитации воздействия ядерной войны на состояние биосферы. После возмущений ядерными взрывами и пожарами биосфера примерно через год снова приходила в состояние равновесия, но качественно отличное от исходного. ... Одной мысли о том, что в борьбе за исчезающие ресурсы оскудевающей планеты будут участвовать не кроманьонцы с их каменным оружием, а государства, владеющие арсеналами ядерных боеприпасов, достаточно, чтобы почувствовать весь, мягко говоря, дискомфорт надвигающегося времени” (Моисеев, 1999, с. 9). Налицо новая тупиковая ситуация.

Выход из тупика может быть найден, если обратиться к принципиальной схеме поддержания равновесия в любых неустойчивых неравновесных системах. В них равновесие поддержи-

вается прямыми и обратными связями управляющего элемента с управляемыми (см. раздел 3). В биосфере функции управляющего элемента выполняет живое вещество. Исследования характера его прямых и обратных связей только еще начались. Однако имеющиеся данные позволяют высказать следующее предположение. К его прямым связям, по-видимому, относятся те, в результате которых формируется трофическая пирамида биосферы и происходит эволюция живых существ. Жизнедеятельность эволюционирующих живых существ изменяет естественные тела биосферы: трансформирует газовый состав атмосферы, химизм вод Мирового океана и целый ряд других характеристик, что нарушает неустойчивое геохимическое равновесие. В качестве обратных связей, скорее всего, следует рассматривать способы поддержания геохимического равновесия, установленные А.А. Баренбаумом (2000) (см. раздел 9) (скачкообразное изменение величины константы геохимического равновесия биосферы или изменение количества живого вещества и неорганического углерода в биосферном цикле). Оба типа обратных связей, в конечном счете, ведут к вымиранию части живых существ. Сама же биосфера с сохранившейся частью живого вещества продолжала устойчиво развиваться в новых условиях. Возможно, что проявления этих древнейших типов обратных связей в виде «великого вымирания видов» фиксировались в геологической летописи. Насколько правомочно это предположение, покажут дальнейшие исследования.

С течением времени в биосфере постепенно складывались предпосылки для формирования иного, менее разрушительного типа обратных связей. Имеется в виду процесс цефализации. Он выражается в развитии у животных головного мозга, что привело к появлению у человека разума, научной мысли и нравственности. Появление разума и научной мысли привело к техническому прогрессу, а нравственности – к появлению простейшей саморегуляции деятельности людей. Пример такой саморегуляции приведен выше: после появления каменного топора сложился моральный принцип «Не убий!» (этот принцип действует и в наши дни в виде замены смертной казни за тяжкие преступления пожизненным заключением). Так в регуляторной функции живого

вещества стала складываться новая составляющая, которая начинает регламентировать и ограничивать деятельность как отдельного человека, так и человечества в целом. Собственно в появлении этого нового типа обратных связей и заключается сущность перехода биосферы в ноосферу.

Появление первых элементов саморегуляции деятельности людей сопровождалось формированием нового механизма саморазвития их общественных систем, на который обратил внимание Г.И. Рузавин (1995). Он подчеркнул, что общественным системам, по сравнению с природными, присущ иной механизм самоорганизации, основанный на передаче благоприобретенного исторического опыта будущим поколениям через воспитание и обучение (наследование «социальной памяти»). Усвоение и использование новыми поколениями всех знаний, полезных навыков и умений, обычаев, норм поведения, традиций предков дают им возможность лучше адаптировать свое поведение и деятельность к изменяющимся условиям окружающей среды. По существу социальные законы и нормы представляют собой многовековой результат самоорганизации общественных систем. С этих позиций становится более понятным происхождение законов, в том числе и рынка, норм морали, права, включая и право собственности, а также законов языка и культуры. Возникшие законы, нормы, принципы деятельности и поведения людей потому такие прочные, что они концентрируют в себе жизнеспособный опыт и традиции многих поколений людей. В них воплотился не случайный опыт отдельных индивидов, а скорректированный кооперативными процессами опыт многовековой практики взаимодействий больших коллективов людей.

В этом механизме самоорганизации общественных систем проглядывает все та же триада, что присуща природным системам, – изменчивость, наследственность, отбор. Но если в биологических системах изменчивости подвержены гены, которые руководят воспроизводством новых поколений, то в общественных системах ей подвержены способы деятельности и поведения людей. Действительно, социальная практика демонстрирует их огромное разнообразие и *изменчивость*, из которого *отбором* в процессе кооперативных взаимодействий и согласований закреп-

ляется в «социальной памяти» все лучшее, что показывает в сложившихся условиях наибольшую эффективность. А из отобранных способов, проверенных в социальной практике, формируются те образцы, которые затем через воспитание и обучение передаются (*наследуются*) следующими поколениями.

Хотя синергетика в современном виде сформировались лишь в конце XX века, но о многих ее положениях отдельные исследователи догадывались уже в XVIII веке. В частности, на присутствие самоорганизации в развитии такой экономической системы, как рынок, указывал основоположник классической политической экономии А. Смит. Он писал, что рынок направляется *невидимой* рукой. Невидимая рука – это своеобразный художественный образ, которым он очень точно передал сущность самоорганизации.

«Каждый отдельный человек старается употреблять свой капитал так, чтобы продукт его обладал наибольшей стоимостью. Обычно он и не имеет в виду содействовать общественной пользе и не сознает, насколько содействует ей. Он имеет в виду лишь собственный интерес, преследует лишь собственную выгоду, причем в этом случае он невидимой рукой направляется к цели, которая не входила в его намерения. Преследуя свои собственные интересы, он часто более действенным образом служит интересам общества, чем тогда, когда сознательно стремится служить им» (Цит. по Рузавину, 1995, с. 64).

Первым из экономистов, кто стал применять понятие "самоорганизация" для объяснения механизма функционирования рынка, был лауреат Нобелевской премии по экономике Ф. фон Хайек. Конкуренция «способствует снижению издержек производства, поиску новых технологий, методов улучшения ассортимента и качества товаров. Через механизм ценообразования рынок информирует его участников о тех возможностях, которыми они располагают для рационального использования все уменьшающихся ресурсов общества. Очевидно, что чем эффективнее используются эти ресурсы, тем в большем выигрыше оказывается все общество в целом. Конкуренция, таким образом, способствует поискам новых приемов и методов хозяйствования, когда используются знания всех участников рынка. ... Вот почему Ф. Хайек рассматривал

конкуренцию как процедуру открытия. Преследуя свои личные цели, люди в условиях рыночной экономики, при свободной конкуренции способствуют общественной пользе потому, что их индивидуальные интересы и предпочтения сталкиваются с другими, взаимно корректируются и координируются. В результате этого и происходит тот бессознательный процесс самоорганизации рынка, который осознается в виде установления равновесия между спросом и потреблением, с одной стороны, и предложением и производством – с другой. Такое равновесие А. Смит называл даже естественной ценой, которая не нуждается в каком-либо регулировании со стороны государства» (Рузавин, 1995, с. 70).

**В общественных системах** в качестве источника воздействий, порождающих нелинейные отрицательные связи, которые приводят к упорядочиванию взаимодействий между их элементами, выступает общество в целом в виде органов его власти. В общественных системах взаимоотношения между организацией и самоорганизацией значительно сложнее, чем в природных. С одной стороны, законы, нормы, правила деятельности и поведения людей, на которые так или иначе опираются органы власти, сами возникли в процессе самоорганизации. С другой стороны, органы власти могут по своему усмотрению устанавливать разные соотношения между организацией и самоорганизацией, следуя трем сценариям.

*Первый сценарий*, в соответствии с которым органы власти могут игнорировать процессы самоорганизации и их результаты, действовать по собственному разумению. В этом случае в общественных системах возникает то, что называется тоталитарными режимами, при которых процессы самоорганизации в общественных системах заменяются директивами, спускаемыми сверху. Именно к этому типу относится централизованно-плановая административно-командная экономика, которая существовала в СССР на первом этапе, с 1921 по 1991 г. Она оказалась неэффективной потому, что в такой экономике использовались знания и умения не всех участников сферы общественного производства, а только небольшого числа лиц, которые осуществляли централизованное планирование. И будь те, кто планировали, даже семь пядей во лбу, они все равно физически не смогут сколько-нибудь

полно учесть запросы, вкусы, потребности разнообразных групп людей, не смогут учесть все новации в способах производства. При таком подавлении организацией процессов самоорганизации никогда не будет востребован и использован с пользой для всего общества огромный массив рассеянной информации, который существует только в головах людей. Именно отсутствием опоры на знания и умения всех участников сферы общественного производства можно объяснить провалы таких кампаний, как внедрение повсеместно посевов кукурузы, химизации и механизации сельского хозяйства и др. Сама по себе идея, что кукуруза хороша как кормовая культура, великолепна. Но способ ее реализации ни к чему хорошему не привел. То же самое можно сказать о механизации и химизации сельского хозяйства.

*Второй сценарий.* Придерживаясь его, органы власти самоустраняются от всяких воздействий на те или иные общественные системы, к примеру, на рынок. Такая позиция основывается на том представлении, что «некоторые социально-экономические и культурно-гуманитарные структуры в состоянии развиваться самостоятельно без государственного и иного вмешательства извне, чисто эволюционно путем самоорганизации и саморегулирования. Принцип «невидимой руки» и экономической свободы, по мнению М. Фридмана, главы чикагской экономической школы монетаристов, в состоянии объяснить, как «сложная, организованная и постепенно развивающаяся система может эволюционировать и процветать без всякого центрального управления, и как согласие в ней может быть достигнуто без какого-то трения». Именно такой саморазвивающейся сложной системой он считает рынок. Правительственное же вмешательство в регулирование рынка не принесет никакой пользы и даже из-за некомпетентности может привести к обратному результату. Поэтому он резко выступает против вмешательства правительства в экономику» (Рузавин, 1995, с. 70). Однако США и Западная Европа в 1929 – 1933 гг. пережили глубокий экономический кризис, названный Великой депрессией. Этот кризис привел к падению производства почти наполовину, к невиданному раньше уровню безработицы и снижению жизненного уровня трудящихся и заставил по-иному взглянуть на самоорганизацию рынка. Только после того,

как президент США Ф. Рузвельт провел государственное регулирование рынка в налоговой и кредитной сфере, кризис был преодолен. Великая депрессия показала, что одной самоорганизации рынка для устойчивого его развития недостаточно, что и она может привести к пагубным последствиям. Это увидели в России в 90-е годы XX века (Дубовских, 1999).

*В третьем сценарии* в развитии общественных систем оптимально сочетаются процессы самоорганизации и организации. Организация (государственное регулирование) осуществляется в интересах всего общества, устанавливая приоритетные пути развития (аттракторы), в рамках которых и должна развиваться самоорганизация. В экономике этот сценарий развил Д.М. Кейнс в теории макроэкономического регулирования рынка государством.

Итак, на современном этапе развития биосферы главные события были связаны с теми представителями живых организмов, которые успешно на предшествующем этапе освоили новую для себя среду обитания – сушу, создав на ней ландшафтную сферу. К этим главным новообразованиям среди живого вещества относятся покрытосеменные растения. Их дальнейшая совместная эволюция с насекомыми позволила им занять доминирующее положение. Это и появление птиц, которые наряду с насекомыми освоили воздушную среду, не порывая связей с ландшафтной сферой. Но главное событие произошло среди позвоночных (появление млекопитающих). Ряд эволюционных преобразований млекопитающих привел к появлению человека, который постепенно стал грозной геологической силой. Обуздать ее способно только самоограничение деятельности людей и человечества в целом, которое начало складываться при взаимодействии Научной мысли с Моралью и Нравственностью. Так в регламентирующей функции живого вещества стал возникать новый тип обратных связей. Появились предпосылки перехода биосферы в ноосферу.

## **Семинар 10.1**

### **Вопросы для обсуждения**

1. Понятие точки бифуркации, параметры системы, в которой это явление может произойти.
2. Основания для построения различных геохронологических шкал.
3. Три основные гипотезы о происхождении современного расположения континентов.
4. Добиосферный этап развития Земли. Взгляды на формирование планеты Земля, ее гидросферы, атмосферы и литосферы.

## **Семинар 10.2**

### **Вопросы для обсуждения**

1. Происхождение жизни. Условия первичной биосферы: факты и гипотезы о абиогенезе, биогенезе, панспермии.
2. Развитие биосферы с момента появления живого вещества и до первой глобальной перестройки. Изменения параметров океана, атмосферы, литосферы и роль в этом живого вещества.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Покажите, что живое вещество на планете должно было появиться в виде микроорганизмов, образующих биоценозы.
2. Почему круговорот воды, по сути, задал внешние границы развития биосферы как системы?
3. Какие условия были необходимы для формирования гранитного слоя литосферы?

### **Индивидуальные задания**

1. Построить круговую диаграмму и обозначить на ней два изученных периода в виде секторов. Считать время по максимальным значениям.
2. Построить гипсографическую кривую тех же периодов, оставить место для последующих. Указать состав океанической воды, воздуха, литосферы, глубину океана, относительное участие лито- и гидросферы в образовании поверхности планеты.

### **Доклады в группах, готовят 2 – 5 человек**

Задача – выбрать сведения, которые касались бы состояния биосферы и живого вещества для выделенных периодов в истории биосферы из статьи Сергеева В.Н., Нолла Э.Х., Заварзина Г.А. Первые три миллиарда лет жизни от прокариот до эукариот // Природа. 1996. № 6.

## **Семинар 10. 3**

### **Вопросы для обсуждения**

1. Какие события являются основанием для выделения неопротерозойского этапа развития биосферы?
2. Чем характеризуется раннепалеозойский этап в развитии биосферы? Какие изменения в биогеохимических круговоротах произошли с появлением кальциевой функции?
3. Позднепалеозойский этап развития биосферы. Причины и следствия образования ландшафтной сферы. Основные феномены, связанные с появлением этого тела глобальной размерности.
4. Что является основанием для выделения современного этапа развития биосферы? Основные события этого периода.

### **Вопросы для самопроверки**

1. В чем состоят биогеохимические функции живого вещества и как происходит специализация в выполнении этих функций по группам организмов? В какой последовательности, по Вашему мнению, появлялись эти биогеохимические функции? Чем обосновывается намеченная Вами последовательность формирования биогеохимических функций?
2. Расскажите об основных процессах преобразования естественных тел биосферы, в которых участвуют прямо или косвенно живые организмы.
3. Выделите главные моменты, связанные, по Вашему мнению, с каждой глобальной перестройкой в развитии биосферы. Используйте круговую диаграмму и гипсографические кривые.

4. Как Вы себе представляете процесс цефализации? Какие основные моменты Вы выделили бы в этом процессе?

### **Индивидуальные задания**

1. Достроить круговую диаграмму и обозначить на ней все этапы в виде секторов. Считать время по максимальным значениям.

2. Построить гипсографическую кривую всех периодов. Указать состав океанической воды, воздуха, литосферы, глубину океана, относительное участие лито- и гидросферы в образовании поверхности планеты.

### **Доклады в группах, готовят 3 – 5 человек**

Задача – выбрать сведения, которые касались бы состояния биосферы и живого вещества для выделенных этапов в истории биосферы из работы Федонкина М.А. Холодная заря животной жизни // Природа. 2000. № 9. С. 3 – 12.

### **Литература**

Баренбаум А.А., 2000; Васильковский Н.П., 1973; Верзилин Н.Н., Верзилин Н.М., 1976; Вернадский В.И., 1960в; Виноградов А.П., 1967; Давиташвили О.Ш., 1948; Жмур С.И. и др., 1997; Камшилов М.М., 1979; Колчинский Э.И., 1990; Меннер В.В., 1962.

# 11. Переход биосферы в ноосферу

*Возникновение ноосферы –  
означает лишь, что в биосфере  
решающим фактором ее сохранения,  
преобразования и развития  
становится человечество.*

***И.И. Мочалов***

Раздел посвящен представлениям В.И. Вернадского о ноосфере, переход к которой наметился в новейшее время. Эта тема неразрывно связана с тем, как на рубеже XX и XXI веков стало восприниматься учение о биосфере и представления о ноосфере. Если учение о биосфере ученые мира разделяют почти безоговорочно, то в отношении ноосферы нет такого единства, особенно в нашей стране. Поэтому важно выяснить, в чем кроются причины неприятия рядом ученых взглядов В.И. Вернадского о ноосфере.

## **Представления В.И. Вернадского о ноосфере**

В начале 1944 г., незадолго до смерти, В.И. Вернадский опубликовал небольшую статью «Несколько слов о ноосфере». В ней он выразил непоколебимую уверенность в том, что биосфера, независимо от нашей воли, переходит в качественно новое состояние – ноосферу (сферу разума). Статья небольшая, но 9 страниц текста несут интеллектуальный заряд небывалой силы. Их нельзя спокойно читать, не ощущая того огромного эмоционального накала, который передает читателям автор. Конечно, надо учитывать, что она писалась во время крупных и долгожданных побед нашей армии над фашистскими захватчиками. Но для В.И. Вернадского это были не просто победы армии его страны.

Это было, с точки зрения великого натуралиста XX века, неоспоримое подтверждение тому, что «нельзя безнаказанно идти против принципа единства всех людей как закона природы». Никто не может безнаказанно нарушать Законы Природы. Для Владимира Ивановича это было еще одно зримое подтверждение того, что биосфера постепенно переходит в ноосферу. В работе он дал только несколько общих пояснений, что он понимает под этим термином.

«Ноосфера есть новое геологическое явление на нашей планете. В ней впервые человек становится крупнейшей геологической силой. Он может и должен перестраивать своим трудом и мыслью область своей жизни, перестраивать коренным образом по сравнению с тем, что было раньше. Перед ним открываются все более и более широкие творческие возможности. И, может быть, поколение моей внучки уже приблизится к их расцвету. Здесь перед нами встала новая загадка. Мысль не есть форма энергии. Как же может она изменять материальные процессы? Вопрос этот до сих пор научно не разрешен. ... Лик планеты – биосфера – химически резко меняется человеком сознательно и главным образом бессознательно» (Вернадский, 1980, с. 218 – 219).

Главная мысль статьи: труд человека, направляемый его Разумом, должен идти в унисон Законам Природы, а не наперекор им! В.И. Вернадский не успел дать развернутого объяснения ноосферному процессу, пояснить, как понимает все его составляющие. Он успел только обозначить это принципиально новое явление в развитии биосферы, показать, что процесс цефализации, открытый американским палеонтологом Дана, неминуемо ведет к появлению человеческого Разума.

Но и до 1944 г., в течение многих десятилетий, В.И. Вернадский неоднократно обращался в своих размышлениях к ноосфере. Мысли о ней рассыпаны по всем его произведениям. Анализируя его труды, можно получить достаточно полное представление о том, что он думал о ноосферном процессе. К этому вопросу мы вернемся, но прежде посмотрим, как на рубеже веков воспринимается научным миром его учение о биосфере.

## О восприятии научным сообществом учения о биосфере

Первые лекции о биосфере В.И. Вернадский прочел в 20-е годы XX столетия в Париже и Берлине. В те же годы во Франции и Германии была опубликована на французском и немецком языках его книга «Биосфера». Инициатором публикаций на английском языке основных идей о биосфере В.И. Вернадского был великий англо-американский эколог Дж. Ивлин Хатчинсон. Он работал в Йельском университете США одновременно с сыном В.И. Вернадского, Георгием Владимировичем, который по его просьбе перевел на английский язык две статьи отца. Так англоязычные страны получили возможность познакомиться со взглядами В.И. Вернадского. Но до последнего времени ученый мир этих стран мало знал о результатах той гигантской работы, проделанной В. И. Вернадским.

В СССР по идеологическим соображениям замалчивались работы В.И. Вернадского, а если и издавались, то с большими купюрами (пропусками). В 1988 г. Б.В. Поярков был в кабинете-музее В.И. Вернадского, который помещается в основанном им Институте геохимии и аналитической химии РАН. Там его поразила маленькая стопка прижизненно изданных произведений великого ученого, которая несоизмеримо мала по сравнению с оставленным им архивом неизданных научных трудов. Только в 80-е годы XX столетия, через сорок с лишним лет после смерти великого ученого, началось полное издание его трудов, которое продолжается до сих пор.

Для того чтобы понять, как шло распространение трудов Вернадского за рубежом, приведем две выдержки из работ зарубежных авторов. Первая взята из предисловия к английскому изданию его книги «Биосфера», которая вышла в 1998 г. на английском языке в Нью-Йорке. Это предисловие написали ведущие ученые Англии, США, Испании, Италии, Мексики, Канады, Австралии, Голландии, Японии.

«Железный занавес, разделявший послевоенную Европу, и холодная война сильно ограничили возможности научного обмена между западом и Россией. Это обстоятельство многие десятилетия служило препятствием

для возможности ознакомиться с трудами Вернадского научному сообществу, читающему по-английски. Его неизвестность на Западе, – безусловно, один из самых ярких примеров того времени, который приносят политические барьеры на пути распространения научных знаний. Подобно тому, как Периодическая система элементов редко ассоциируется в США с именем ее творца Дмитрия Менделеева, так и идеи Вернадского зачастую получают распространение здесь без имени их создателя. ... В западной науке в послевоенный период идеи Вернадского проявились главным образом в той междисциплинарной форме научной деятельности, которую называют биогеохимией, геомикробиологией, изучением экосистем, экологией и изучением химических циклов в окружающей среде. Осуществляемое и поныне исследование потоков углерода, серы и азота в гидросфере, литосфере, атмосфере и в биоте основано на подходах, предложенных Вернадским» (Маргулис и др., 2000, с. 757, 758).

Вторая выдержка не менее показательна.

«В июле 1988 г. в Публичной библиотеке Браттсборо мы наткнулись на статью о Владимире Вернадском (1863 – 1945), русском геологе и геохимике. Одна только фраза Вернадского оглушила нас, – это было, как гром среди ясного неба: «Всегда найдутся ученые, которые отчетливо ощущают и воспринимают живую природу нашей планеты, преисполненную постоянным биением жизни. Для них понимание единства природы является путеводной нитью научных исследований». Вернадский подчеркнул именно тот аспект наук о Земле, который мы напряженно искали. Спустя несколько месяцев мы поделились впечатлениями об этом с Линн Маргулис, которая незадолго до этого перешла в Массачусетский университет в Амхерсте. Она глубоко осознала важность работ Вернадского и стала использовать его выводы в лекциях и публикациях» (Мак-Менамин и др., 2000, с. 681).

Этих двух свидетельств достаточно, чтобы показать, как в научном мире в конце XX в. переоткрыли сделанное В.И. Вернадским. В настоящее время его взгляды быстро распространяются по всему миру. Но надо сказать, что с признанием его системы взглядов дело обстоит не так просто. Это связано с той особенностью его трудов, которая стала осознаваться лишь в самое последнее время. Эти особенности очень ярко показал Г.А. Заварзин (2000).

«В науке периодически происходят революционные изменения. Если говорить о естествознании, то в 1856 г. революцию вызвала книга Дарвина «Происхождение видов», а в 1955 г. двойная спираль Уотсона и Крика. Каждый раз такие поворотные события и определяли умонастроение общества на многие десятилетия и привлекали сотни и тысячи последовате-

лей. Но постепенно идея исчерпывается и на смену ей приходит новая, включающая старую как свою составную часть. Сейчас в естествознании тоже происходит революция, но незаметная для непосвященных, потому что она связана не с внезапным открытием, а с серией работ на периферии внимания научного сообщества.

Молекулярная биология неожиданно для себя осознала, что она уже не находится в центре интересов естествознания: в Европейском союзе число сторонников биотехнологий упало с 59% в 1991 г. до 45% в 1993 г., несмотря на хорошо организованную кампанию в ее защиту. Более того, в 1992 г. в Рио-де-Жанейро правительства многих стран приняли конвенцию, не только ориентированную на совершенно иные ценности, но и иногда прямо ограничивающую некоторые аспекты молекулярной биологии, в частности введение генетически модифицированных организмов в природу. Действия политиков, реагирующих на общественное мнение и формирующих геополитические установки, опередили действия профессиональных организаторов науки, оказавшихся слишком инерционными» (с. 599).

Г.А. Заварзин показал, что и эволюционная теория, и генетика, и молекулярная биология развивались по пути, который называется в науке редуccionистским. Образно говоря, это путь по «вертикали вниз», в глубь познания живых организмов. А в последние десятилетия XX века научные интересы сместились в сторону анализа более крупных систем. «Потребовались люди с иным типом мышления – генералисты. Объединение происходило в течение двух последних десятилетий вокруг комплекса идей, которые обычно связывают с именем В.И. Вернадского, – я бы назвал *русской парадигмой*. ... Она появилась в ответ на универсальное использование теории Дарвина для объяснения всего происходящего в мире с помощью рыночной логики «выживания наиболее приспособленных», причем критерием приспособления служит выживание. ... В 60-х годах XX столетия в ответ на идеи Римского клуба, по сути возродившие мальтузианские «пределы роста», поиск пошел в направлении не истории происхождения («по вертикали»), а выяснения системы взаимодействия («по горизонтали»). ... Появился загадочный термин «устойчивое развитие» (Sustainable Development), характеризующий эволюцию именно системы, а не индивидуума» (Заварзин, с. 600 – 601, 603).

Еще более четко определил особенности взглядов В.И. Вернадского биолог К.М. Хайлов (2000): «Под «биологической парадигмой» будем понимать комплекс базовых идей и логический

аппарат классической биологии, расширенный синтетической теорией эволюции; под «биогеохимической парадигмой» будем понимать комплекс идей и логику умозаключений В.И. Вернадского с некоторыми расширениями, которые касаются жизни биосферы и человечества в ней» (с. 706). В «биологической парадигме», пишет К.М. Хайлов, характерно следующее. «Поскольку находящееся вне «живого тела» косное вещество не может быть, по определению, включено в «живое», вводится играющая важную роль в биологии концепция «окружающая среда» и добавляется формальное утверждение о «единстве организма и среды». Однако живое и косное вещества с точки зрения биологии не равно важны, живое несравненно важнее. Поэтому декларируемое «единство» в практике биологических исследований обычно не соблюдается: биологи подробнейшим образом изучают организмы и их виды; косные вещества, как находящиеся в составе живых тел, так и вне них, специально не изучают, передают наукам о Земле. Живое биоорганическое и косное, в основном неорганическое, вещества в биогеохимии считают равно важными, так как без обоих жизнь невозможна. ... Биогеохимия изучает не *жизнь* (организмы, *био без гео*), а жизнь на Земле (*био вместе с гео*); этому соответствуют ее объекты – биокосные системы. ... Биогеохимический подход чрезвычайно расширяет горизонт исследований земной жизни и живой природы, приводит его в соответствие с уровнем естествознания XX в., дает целый ряд ориентиров в решении главной задачи современного человечества – доказательно сформулировать условия, при которых выживание человечества на фоне сильнейшего антропогенного кризиса возможно» (Хайлов, 2000, с. 706 – 708).

Русская, биогеохимическая парадигма, начало которой положил В.И. Вернадский, сразу определила живому веществу ведущую роль в поддержании равновесия в той глобальной открытой неравновесной нелинейной системе, которая получила название биосферы. Этот новый статус живого вещества, регулятора глобального равновесия в биосфере, который выявил В.И. Вернадский, был определен им за многие десятилетия до того, как развилось то новое междисциплинарное направление в науке, которое называли синергетикой. Он сумел заглянуть на семь де-

сятилетий вперед! Вот что значит переход от «традиционной вертикали», которой придерживалась и придерживается классическая биология, к «горизонтали». Возникает вопрос: что «лучше» или «правильнее»? Ответ однозначен: обе парадигмы хороши, каждая для своей сферы и своего времени. Просто надо знать и понимать различия между ними, реально оценивая возможности каждой (что каждая из них может дать, а чего не может).

## **Современное восприятие взглядов В.И. Вернадского о ноосфере**

Рассмотрим вначале взгляды тех, кто разделяет его представления и способствует их дальнейшему углублению и развитию, а затем его оппонентов.

### ***Взгляды тех, кто pro***

Ф.Т. Яншина (2000) проанализировала его труды и неопубликованные материалы научного архива и свела воедино те конкретные условия, необходимые, с точки зрения В.И. Вернадского, для становления ноосферы.

**1. Заселение человеком всей планеты.** Условие выполнено: на земле не осталось места, где не побывал бы человек и на котором не сказалось бы воздействие его деятельности.

**2. Резкое преобразование средств связи и обмена информацией между разными странами.** Это условие выполнено. Современные транспортные средства, телекоммуникации, интернет, сделали далекое близким.

**3. Усиление связей между всеми государствами и народами Земли.** Это условие начинает успешно реализовываться. Достаточно напомнить о таких всемирных организациях, как ООН, Всемирная торговая организация, о регулярных совещаниях глав государств и правительств, всевозможных конференциях, в том числе конференция ООН в Рио-де-Жанейро в 1992 г. Все это спо-

способствует сближению взглядов народов разных стран на пути дальнейшего развития человечества.

**4. Преобладание геологической роли человека над другими геологическими процессами, протекающими в биосфере.** Условие выполнено. Достаточно упомянуть современные глобальные экологические проблемы, появившиеся из-за неосознанного мощнейшего воздействия хозяйственной деятельности на биосферные процессы. Нарушения в озоновом слое, изменение под влиянием загрязнения состава поверхностных вод суши и океана, через «парниковый эффект» человечество стало влиять на климат, а через него и на уровень Мирового океана.

**5. Расширение границ биосферы и выход в Космос.** Условие успешно выполняется.

**6. Открытие новых источников энергии.** В XX веке человечество освоило атомную энергию и подошло к освоению термоядерной энергии.

**7. Равенство всех рас и религий.** Это условие не выполнено, но сделаны важные шаги в этом направлении (декларацию ООН о правах человека).

**8. Увеличение роли народных масс в решении вопросов внешней, внутренней политики и экополитики (политики по отношению к окружающей среде).** Условие начинает выполняться по мере увеличения демократических стран, политики которых начинают все больше прислушиваться к общественному мнению. Например, в 1992 г. на конференции ООН в Рио-де-Жанейро правительства многих стран приняли конвенцию о запрете введения в природу генетически модифицированных организмов.

**9. Свобода научной мысли и научных исканий от давления религиозных, философских и политических построений и создание в общественном и государственном строе условий, благоприятных для свободной научной мысли.** На это условие В.И. Вернадский обращал особое внимание. Он подчеркивал, что в отличие от других сфер духовной жизни человека (культуры, искусства, религии), которые определяют самобытность народов, их своеобразие, наука, научная мысль – едины для всего человечества, на всем земном шаре. Поэтому наука должна свободно

развиваться. Только в этом случае она будет способна создать систему регламентаций и ограничений деятельности людей, которая обеспечит сохранение неустойчивого равновесия в биосфере и даст человечеству шанс выжить.

**10. Подъем благосостояния трудящихся, создание реальной возможности не допустить недоедания, голода, нищеты и ослабить влияние болезней.** Улучшение условий жизни в мире идет очень неравномерно. Это одно из самых сложных для выполнения условий, поскольку зависит от целого ряда факторов, и в первую очередь от демографического. С проблемой численности человечества все обстоит значительно сложнее, чем предполагал Мальтус. Сейчас предложены нелинейные математические модели развития демографической ситуации (Садовничий и др., 2000). Согласно им выделяются три существенно различных эпохи развития человечества. *Первая эпоха* началась около 4,4 млн. лет тому назад и длилась порядка 2,8 млн. лет. Для нее характерен линейный рост населения (в логарифмическом масштабе). Закончилась эта эпоха в раннем плейстоцене (по геологическому времени) или в палеолите (по историческому времени). *Вторая эпоха* продолжалась около 1,6 млн. лет и закончилась в 1965 г., когда численность населения была близка к 3,5 млрд. чел. Скорость роста численности населения была пропорциональна квадрату этой численности (выражалась гиперболической кривой). Переход к эпохе, когда должна произойти стабилизация численности человечества, займет около 80 лет (в середине XXI в.) Численность населения достигнет 14 млрд. чел.

Реально повлиять на развитие нелинейных процессов в глобальной демографической системе весьма проблематично даже при наличии политической воли. Эти процессы определяются в значительной степени поведением человечества как развивающейся динамической системы. Возможности изменить исторический ход событий весьма ограничены (Садовничий и др., 2000). Мы с Вами живем в этот переходный период и наблюдаем крайне неравномерный по регионам рост численности населения и его благосостояния. Развитые страны Западной Европы, США и Канада стабилизировали рост численности населения и достигли

высокого уровня его благосостояния. Но есть и такие страны, которые по этим параметрам сильно отличаются от них.

**11. Разумное преобразование первичной природы Земли с целью сделать ее способной удовлетворять все материальные, эстетические и духовные потребности численно возрастающего населения.** Формулировка, данная Ф.Т. Яншиной, с нашей точки зрения, требует уточнения. Не даны критерии, что считать разумным, а что неразумным. Кроме того, в этой формулировке фигурирует слово *потребности*. Это слово вызывает настороженность, так как напрямую связано с так называемым основным законом коммунизма: *все более полное удовлетворение все возрастающих материальных потребностей человека*. Встанет вопрос, до каких пределов будут возрастать потребности человека и хватит ли ресурсов биосферы удовлетворять эти все возрастающие и ничем не ограниченные материальные потребности?

С нашей точки зрения, точнее отражает взгляды В.И. Вернадского такая формулировка: **преобразование биосферы с целью повышения качества жизни**. Качество жизни определяется такими показателями: продолжительность жизни (ожидаемое при рождении и фактическое); состояние здоровья человека; уровень знаний и образовательных навыков, иными словами степень развития духовной сферы человека: доход (измеряемый долей валового внутреннего продукта, приходящегося на душу населения); уровень занятости; степень реализации прав человека. На первое место выходит здоровье человека, развитие его духовной сферы, а материальные потребности стоят ниже, там, где им и полагается быть. Они не цель жизни человека, а вспомогательное средство поддержания его жизни и обеспечение условий развития личности, самореализации его способностей и талантов. Недаром психологи считают, что потребность в самореализации есть одна из основных потребностей человека.

Несколько слов о преобразовании биосферы. В истории человечества прослеживается две стратегии его взаимодействия с Природой: либо человек переделывает природу под создаваемую им технику, либо человек конструирует технику под природу, вписывая свою деятельность в ход биосферных процессов. В пер-

вом случае происходят те нежелательные последствия для человека, которые принято называть экологическими проблемами. Во втором случае – таких сбоев не происходит, а может увеличиться КПД использования солнечной энергии. Вот где таится источник получения всех материальных благ, помогающих повысить качество жизни без нарушения законов устойчивого функционирования биосферы. Именно это и имел в виду В.И. Вернадский.

Посмотрим, как выполняется это условие, но предварительно договоримся называть реализацию первой стратегии взаимодействия Человека и Природы, когда природу переделывают под создаваемую технику, антиноосферными тенденциями. Ноосферными тенденциями назовем реализацию второй стратегии (вписывание техники в ход биосферных процессов). В настоящее время в мире и в нашей стране прослеживаются как ноосферные, так и антиноосферные тенденции, но последних становится все меньше и меньше.

**12. Исключение войн из жизни общества.** Это условие В.И. Вернадский считал чрезвычайно важным для создания и существования ноосферы. Оно еще не выполнено. Но в целом воля народов мира направлена на исключение войн из жизни человечества, хотя путь к этому будет долг и непрост.

### ***Возражения тех, кто contra***

Читать возражения всегда не особенно приятно, но поучительно: они высвечивают то, что осталось непонятым. Важно выяснить причины появления разногласий. В целом возражений немного и относятся они к разным сторонам учения о ноосфере. Объединяет их одно – они касаются именно того, чем отличается система взглядов В.И. Вернадского от классического естествознания и широко известных обществоведческих теорий, включая марксизм-ленинизм. Приведем эти возражения.

**В.А. Кутырев (2001) подчеркивал:** «Переход биосферы в ноосферу считался несомненным благом, несущим человечеству разрешение всех проблем. ... Тревожные экологические тенденции современности заставляют критически отнестись к этим сте-

реотипам. Думается, что учение о ноосфере с самого начала несло в себе элементы утопии, что в нем переплелись ценностные и бытийные подходы, что ценностные характеристики ноогенеза были однозначно положительными, а это противоречит диалектике жизни. Надо различать трактовку ноосферы как утопии и ее реальное состояние. Одно не должно заслонять другое. ... Ноосфера как гармония – сциентистский аналог социально-политической утопии коммунизма и прочих благ, более ранних мечтаний о рае. В соответствии с духом времени она опирается на науку, так к ней и надо относиться, хотя против утопий и надежд вообще выступать нет смысла» (с. 626 – 628).

**Б.М. Миркин (2001):** «Утопизм Вернадского проявился в вере в возможность преобразования биосферы в ноосферу с помощью человеческого разума и изменения положения человека в трофической системе, перевод людей на автотрофное питание, синтезируемую пищу. Не говоря уже о технологических сложностях производства синтетического белка и тяжких последствий такой диеты для здоровья человека. Утопичность ноосферы Вернадского заключена в неминуемом возрастании вложенной энергии. А между тем при нынешнем гетеротрофном питании основным источником производства пищи служит экологически чистая и неисчерпаемая солнечная энергия. Ноосфера станет гарантией выживания лишь в том случае, если будет организована в полном соответствии с четырьмя законами экологии Коммонера («Все связано со всем; все должно куда-то деваться; ничего не дается даром; природа знает лучше»). Создаваемые человеком экосистемы надо встроить в биосферу так, чтобы она сохранялась как саморегулирующаяся целостность, и ее защитные функции гасили нарушения при хозяйственной деятельности людей» (с. 648).

**А.Л. Васильев (2001)** приводил такие доводы против ноосферы. 1. «По определению В.И. Вернадского ноосфера (сфера разума) есть результат эволюции биосферы как результат, прежде всего, научной деятельности человека» (с. 650). И далее он перечисляет, что происходит с планетой Земля под воздействием разума человека (список современных экологических проблем). А теперь зададим вопрос, который классикам за ненадобностью не приходил в голову: «Способен ли человек осознать, что, возом-

нив себя царем Природы, он фактически оказался ее пленником?» Или – иначе: «Способно ли человечество остановить свой безумный, все ускоряющийся бег в тупик – к полному самоуничтожению, оглянуться, *ужаснуться* и встать на путь перерождения с целью *выживания*?» На этот ключевой вопрос я отвечаю отрицательно! *Уже поздно...*» (с. 653 – 654). 2. «Если согласиться, что развитие человечества можно рассматривать, как управляемый процесс, то следует определить объект, цель, и алгоритм управления. Объект – человечество – открытая космическая динамическая система, как часть биосферы (или живого вещества, по В.И. Вернадскому). Цель – сохранение, выживание системы. Алгоритм – законы развития, управления системой. Очень давно, в армии, в первый же день и на всю оставшуюся жизнь, мне внушили: «Если есть два солдата, один из них должен быть старшим». Такой руководитель или назначается, или выбирается, или самопровозглашается: «Слушай мою команду!» В первичной ячейке общества, в семье, ведь тоже кто-то принимает на себя функции руководителя. А как управлять человечеством? Кто им руководит: Бог, Аллах, Будда, Высший Разум, пришельцы-инопланетяне, поставившие когда-то на планете Земля космический эксперимент и наблюдающие за его ходом, Глобальный Предиктор? Ведь кто-то должен *вырабатывать* законы, заповеди, стандарты поведения человечества и *обеспечивать* их выполнение» (с. 651).

**Д.Р. Винер (2001):** «Для тех, кто стремится к триумфу разума в космическом масштабе (космисты), равно как и для тех, кто идеализирует природу, реальные живые люди «как они есть» – лишь помеха на пути к желанной мировой гармонии. Поэтому все космисты по Кутыреву, в конечном счете, приходят к мысли «о новом человеке» – то ли сверхчеловеке, то ли гуманоиде, который не станет мешать дальнейшему прогрессу мысли и технологии. ... Стремление к насильственной переделке людей, какими бы благими целями оно ни руководствовалось (включая «гармонию с природой»), всегда остается чрезвычайно опасным, чему свидетель – вся советская история. И культ ноосферы, и культ природы равно игнорируют индивидуальную ответственность и

отвергают компромисс с несовершенной реальностью» (с. 647 - 648).

### ***Анализ возражений***

Вначале остановимся на возражениях, вызванных, скорее всего, явным недоразумением. Нигде в своих работах В.И. Вернадский не считал переход к автотрофному питанию человека условием перехода биосферы в ноосферу. Он говорил об автотрофности питания человека как о весьма важном, но чрезвычайно трудном направлении научных исследований. Б.М. Миркин говорит, что если уж биосфера и перейдет в ноосферу, то не с помощью научной мысли, а благодаря экологическим законам Коммонера. Но ведь эти же законы как раз и возникли в результате работы научной мысли! Б.М. Миркин говорит о важности вписывания человеческой деятельности в ход функционирования биосферы. Это и отвечает 11-му условию Вернадского перехода биосферы в ноосферу (см. выше). Такие недоразумения, скорее всего, возникли из-за того, что Б.М. Миркин привык оперировать понятийным аппаратом экологии, входящей в классическую биологию, а системный биогеохимический подход В.И. Вернадского ему чужд и не понятен. Хотя учение о биосфере и ноосфере показывает ту планетарную системную организацию, в которой функционируют живые объекты классической биологии, включая человека.

Расхождения во взглядах, скорее всего, происходят и из-за того, что оценку истинности учения о биосфере и ноосфере оппоненты В.И. Вернадского проводили на основе одного хорошо знакомого естествоиспытателям критерия истинности знания (соответствия объективной реальности). Вряд ли это допустимо: биосфера существует несколько миллиардов лет, и учение о ней правомерно сравнивать с объективной реальностью. Ноосферы еще нет в Природе, наметились лишь условия перехода к ней. Поэтому оценивать взгляды о переходе к ноосфере надо по другому критерию: по степени соответствия их принципам устойчивого функционирования биосферы. Взгляды В.И. Вернадского о ноосфере соответствуют принципам устойчивого функционирования биосферы. Условия перехода постепенно начинают вхо-

дить в нашу жизнь, правда, не так быстро и последовательно, как хотелось бы. Кроме того, любому переходному периоду свойственно сосуществование противоположных тенденций (ноосферных и антиноосферных), что и наблюдается в настоящее время. Эту характерную черту переходного периода, видимо, не учли оппоненты В.И. Вернадского.

А.Л. Васильев утверждает, что нет системы управления человечеством. Это действительно так. В.И. Вернадский говорил о другом: человечество превратилось в грозную разрушительную геологическую силу, обуздать которую может только новая составляющая в регуляторной функции живого вещества (система регламентаций и ограничений деятельности людей и человечества в целом). В создании ее важнейшую роль играет Научная мысль, порожденная Разумом, и высокие морально-нравственные качества. Появление этой составляющей и означает переход биосферы в новое качество (ноосферу). Речь идет не о наличии сложившейся системы управления человечеством, а о необходимости формирования саморегулирования деятельности людей. Ведущую роль в этом призвано сыграть нахождение оптимального соотношения процессов организации и самоорганизации в обществе (см. раздел 10).

Причина расхождения оппонентов с В.И. Вернадским в отношении оценки роли Разума, Научной мысли, путей и методов совершенствования качеств личности, скорее всего, возникла из-за разного смысла, который вкладывается в эти понятия. Оппоненты Вернадского оперируют обыденным понятием разума, когда говорят: «О каком торжестве Разуме можно говорить, когда за окном кабинета ученого возникло столько экологических проблем, и все они зародились не без «помощи» науки». Детальный анализ этих экологических проблем, на котором сейчас не будем останавливаться, показывает, что все они, равно как и все просчеты в нашем взаимодействии с природой, возникли и возникают не из-за знаний, а из-за полужнаний, знаний узкого специалиста. Это результат узкой специализации наук и ученых.

Иной смысл вкладывал в эти понятия В.И. Вернадский. При свойственном ему макроподходе объект исследования рассматривался в геологическом, планетарном и даже космическом мас-

штабах. Он применяет прием натурализации, т.е. представления объекта исследования как внешне проявленного, вещественноподобного состояния, которое подчиняется естественным законам Природы. Наиболее яркий пример такой натурализации – это представление научной мысли в качестве «естественного тела». «Вернадский уподобляет научную деятельность самой жизни, распространяя понятие познание на множество вне узконаучных форм познания. Он пишет: «Наука ... отнюдь не является логическим построением, ищущим истину аппаратом. Познать научную истину нельзя логикой, можно только жизнью. Действие – характерная черта научной мысли». По сути дела, наука в этом понимании есть особым образом преобразованная совокупность человеческой жизнедеятельности, включающей в себя политическую, религиозную, этическую, эстетическую и другие стороны своего бытия. Это что-то близкое, быть может, к цельному знанию русской философии единства» (В. Моисеев, 2001, с. 733). Жизнь самого В.И. Вернадского как раз и является ярким примером именно такой жизнедеятельности (см. раздел 2).

Принятое им понимание науки, научной мысли наложило отпечаток на его работы по истории науки. «Изучение развития научного знания стало для Вернадского продолжением изучения геологической эволюции биосферы. С этой точки зрения он исследует истинную динамику всемирной и отечественной научной мысли, тесно связывая ее с историей техники и культуры. Личность не растворяется в этом грандиозном биосферном процессе, но только становится личностью, концентрируя в себе превышающие ее индивидуальное существование масштабы бытия» (В. Моисеев, 2001, с. 735). Как пишет Г.И. Швебс (2001), наука для В.И. Вернадского – «продукт сложной интеллектуальной и социальной среды, демократических свобод, интернационализация культурной жизни. Если эти условия разрушаются, если наука не подпитывается и не дополняется другими типами рациональности, то она неизбежно приходит в упадок» (с. 633). «Уничтожение или прекращение одной какой-либо деятельности человеческого сознания сказывается угнетающим образом на другой. Прекращение деятельности человека в области ли искусства, религии, философии или общественной жизни не может не

отразиться болезненным, может быть, подавляющим образом на науке» (Вернадский, 1981, с. 50 – 51).

Приведенных данных достаточно, чтобы в общих чертах показать, как понимал науку и научную мысль В.И. Вернадский и почему он придавал ей такое значение в переходе биосферы в ноосферу. В одном из его писем к сыну есть такие строки: «Я очень рад, что ты очень ярко и просто выразил мою мысль о ноосфере, как синтез природного, и исторического процесса» (Цит. по работе Медведева, 2001, с. 624). В этом и состоит гениальное прозрение Вернадского. Он увидел, что объединяющим началом и природного и исторического процессов как раз и является научная мысль. Она – квинтэссенция и природного, и исторического процессов. Предпосылки к появлению научной мысли создаются в природном процессе (цефализация, см. раздел 10), а окончательное свое развитие этого феномена происходит в историческом процессе. Появившись и оформившись, научная мысль начинает постигать природный процесс и служит объединяющим началом большого разнообразия культур, возникающих в историческом процессе.

Причины расхождения в оценке роли Разума, Научной мысли, скорее всего, кроются в отличии культурной среды, в которой воспитывался и творил В.И. Вернадский, от той, в которой жили и работали его оппоненты. Это ясно видно из анализа развития краеведения в России в XVIII – XX вв., проведенного А.М. Селивановым (2005), и одной из работ С.К. Мамардашвили (1988). А.М. Селиванов показал, что краеведение в России возникло как локальный синтез природного и исторического, соединение науки с житейской практикой и нравственностью, т.е. в краеведении в той или иной мере происходит реализация ноосферных принципов на локальном уровне (в микромасштабе). Он подчеркнул, что массовое краеведческое движение в России во второй половине XIX века и начале XX в. открыло широкий простор для творческого развития личности, что особенно ценилось культурной элитой провинции. «Русская умственная культура XIX и начала XX века может считаться созданием общественной самостоятельности» (Вернадский, 2002, с. 182). В.И. Вернадский видел, как в пореформенной России при массовом развитии краеведче-

ского движения научная мысль начинает овладевать массами образованных людей. Показателен и опыт их студенческого Братства (см. раздел 2). Как пишет Г.П. Аксенов (1988), «члены Братства очень остро осознавали свой личный долг и свою ответственность за все происходящее. Нет, и не может быть, никакой отдельной человеческой жизни, отдельных от общего дела целей и задач, а есть только отдельное, личное выполнение общих задач, личный способ осуществления общего дела. Тем самым, все остальные вопросы – политические, экономические, общественные – были переведены в область этики и оказались пронизаны личностным отношением, им было сообщено некое единство» (с. 93).

В известной мере этот опыт Братства, отразившийся в учении о ноосфере, основывался на важнейшем принципе, который лежит в основе сознания и цивилизации – «*cogito ergo sum*» (мыслю, следовательно, существую.) Этот принцип «утверждает, что возможность способна реализоваться **только мной** при условии моего собственного труда и духовного усилия по своему освобождению и развитию (это, конечно, труднее всего на свете). Но лишь так душа может принять и прорастить «высшее» семя, возвысится над обстоятельствами, в силу чего и все, что происходит вокруг, оказывается не необратимо, не окончательно, не задано целиком и полностью. Иначе говоря, не безнадежно. В вечно становящемся мире для меня и моего действия всегда есть место, если я готов начать все с начала, начать от себя» (Мамардашвили, 1988, с. 59). В этой социокультурной среде происходило становление личности и творчества В.И. Вернадского. В иной среде жили и работали его оппоненты. В 1930-е годы власть разгромила отечественное краеведческое движение (Селиванов, 2005). Стали исповедоваться другие идеологические установки. Широчайшее распространение получил принцип «Я (мы) и они», который не способствует объединению усилий, а противопоставляет позиции людей. Этот принцип, как конечное звено цепочки, возник из-за широчайшего распространения в те годы нигилизма, который коротко можно определить, «только не я могу» (могут все остальные – другие люди, бог, обстоятельства, естественные необходимости и т.д.). Иными словами, возможность связана в таком случае с допуском

самодействующего, за меня работающего механизма (будь то механизм счастья, социального и нравственного благоустройства, высшего промысла, провидения и т.д.)» (Мамардашвили, 1988, с. 59). В этих различиях социокультурных сред, вероятно, и кроются корни разных взглядов на роль Разума и Научной мысли.

Оппоненты взглядам о ноосфере верно отмечали, что для торжества Разума человек должен обладать совершенно иными, чем ныне, более высокими качествами. Они были правы в том, что сформировать эти качества нельзя, так же как нельзя **наильно** сделать человека счастливым. И в этом оппоненты Вернадского абсолютно правы. Культурная среда, которая их окружала, давала немало свидетельств этому. Но В.И. Вернадский нигде и никогда ни слова не говорил о формировании таким путем нового человека. Вся его жизнь и научное творчество говорят о другом. Он видел иной путь совершенствования человеческих качеств – это путь свободного развития личности в творческом общении, направленном на научное познание единого природного и исторического процесса. Главное в этом процессе – соединение глубоких знаний с высокой моралью и нравственностью. В молодости именно этот путь открыло для себя их студенческое Братство (см. раздел 2). Такой путь во многом близок восточной философии, знакомству с которой В.И. Вернадский уделил немало времени и внимания. Восточная мудрость гласит: **«хочешь познать истину, усовершенствуй самого себя»**.

Итак, междисциплинарное обобщение, сделанное В.И. Вернадским, предвосхитило многие научные открытия второй половины XX века. Оно объединило в единое целое природный и исторический процесс, разрушив между ними непроходимую стену, существовавшую прежде. Такой подход резко отличается от сложившихся традиций классической науки, разделенной на множество специализированных дисциплин. Поэтому понять учение о биосфере и особенно ноосфере нелегко, а принятие этого учения происходит далеко не сразу, тем более в части построения практической деятельности, исходя из результатов междисциплинарных обобщений. Видимо, в этом и кроются корни высказанных возражений по поводу взглядов В.И. Вернадского о переходе биосферы в ее новое состояние – ноосферу.

## **Семинар 11.1**

### **Вопросы для обсуждения**

1. История создания учения о ноосфере.
2. Особенности «биогеохимической парадигмы» в развитии современной науки.
3. Основные условия развития ноосферного процесса.
4. Роль научной мысли и морально-нравственных качеств в преобразовании планеты.

## **Семинар 11.2**

### **Круглый стол**

Современное восприятие взглядов В.И. Вернадского о ноосфере:

1. Взгляды «за».
2. Взгляды «против».

### **Литература**

Васильев А.Л., 2000; Вернадский В.И., 1977; 1980; Винер Д.Р., 2000; Гиляров А.М., 2000; Кутырев В.А., 2000; Маргулис Л. и др., 2000; Медведь А.Н., 2000; Миркин Б.М., 2000; Моисеев Н.Н., 2000; Огурцов А.П., 2000; Селиванов А.М., 2005; Флоренский К.П., 2000; Хайлов К.М., 2000; Швебс Г.И., 2000; Яншина Ф.Т., 2000.

## 12. Заключение

С середины XVII века феномен биосферы привлекал внимание многих естествоиспытателей. Но только в начале прошлого века наука в своем развитии достигла того уровня, который позволил В.И. Вернадскому создать учение о биосфере и ноосфере. Особенности примененного им подхода (междисциплинарный синтез знаний) показаны в таблице 12.1 (строка 3). Сущность учения, созданного гением В.И. Вернадского, главного научного итога XX века, говоря предельно кратко, передают 4 основных положения.

1. Биосфере присущи такие системные свойства, как полужамкнутость, нелинейность, неравновесность. *Полужамкнутость* указывает, что у биосферы есть ряд защитных уровней, включая озоновый экран, которые предохраняют все живое от губительного воздействия Космоса. *Нелинейность* передает особый характер влияния тех или иных факторов: в формулах, описывающих их взаимодействие, переменные величины имеют степень, отличную от единицы (отсюда и название «нелинейная»). В линейных системах, с которыми обычно имеют дело, результат пропорционален величине воздействия, а в нелинейных системах малые воздействия могут приводить к очень большим изменениям. Это для нас непривычно и заставляет быть предельно внимательным к незначительным, на первый взгляд, влияниям, которые порой могут иметь весьма существенные последствия. *Неравновесность* говорит о том, что биосфера все время находится в неравновесном состоянии и в ней неустойчивое равновесие поддерживается живым веществом, благодаря присущим ему биогеохимическим функциям. Развитие в таких открытых нелинейных неравновесных системах осуществляется за счет оптимального сочетания процессов организации и самоорганизации.

Таблица 12.1

**Основные моменты истории познания  
феномена биосферы и ее перехода в ноосферу**

Объект	Цель	Аспект	Метод	Критерии оценки ре- зультатов
С середины XVII века до конца XIX века в работах Б. Варениуса, А. Гумбольдта, Э. Зюсса появляются упоминания о существовании биосферы				
В 20 гг. XX века В. И. Вернадский создал учение о биосфере, В 80 – 90 гг. XX века оно получает всеобщее признание				
Биосфера (тела и силы, образующие ее)	Выявить организованность биосферы, ее системные свойства и механизм устойчивого функционирования	Регуляторная роль биогеохимических функций живого вещества	Междисциплинарный синтез (движение мысли по горизонтали)	Соответствие объективной реальности
С начала XX века в основном в работах В.И. Вернадского, отчасти А.П. Павлова, Ч. Шухерта устанавливается факт превращения человечества в грозную геологическую силу и определяются условия перехода биосферы в ноосферу. Во второй половине XX века создаются методы системного анализа, а в 80 – 90 гг. XX века – синергетика, методы стратегического управления и планирования, системогенез профессиональной деятельности, концепция устойчивого развития.				
В XXI веке начинается реализация основных положений учения о биосфере и ноосфере в практической деятельности.				
Организация деятельности людей и человечества в целом	Повышение качества жизни населения благодаря реализации концепции устойчивого развития путем преобразования деятельности людей, исходя из системных свойств биосферы и принципов ее устойчивого функционирования и развития	Синтез природного и исторического процессов (соединение науки с житейской практикой, с моралью и нравственностью). Постановка только благих целей и достижение их только благими средствами	Системный анализ, синергетика, стратегическое управление и планирование, системогенез профессиональной деятельности	Соответствие системным свойствам биосферы и принципам ее устойчивого функционирования и развития Степень реализуемости (взаимоувязка цели, средств и времени)

2. Устойчивость функционирования биосферы обеспечивают три принципа (*круговорот вещества и энергии, кооперация, конкуренция*). Их реализация создает в биосфере трофическую (пищевую) пирамиду. Основание пирамиды составляют продуценты, (всевозможные растения, производящие первичное органическое вещество из неорганического материала). Выше располагаются консументы (все животные, в том числе и люди), преобразующие первичное органическое вещество в разнообразные виды органики. Венчают пирамиду деструкторы (грибы и микроорганизмы). Они, разлагая отходы жизнедеятельности и отмершие ткани продуцентов и консументов на исходные химические элементы, замыкают круговорот биогенов. Устойчивость трофической пирамиды обеспечивается определенными соотношениями между продуцентами, консументами и деструкторами и сложившимися пищевыми цепями, по которым в определенных пропорциях идет поток биогенов.

3. Все процессы, протекающие в обществе, включая и экономическую деятельность, по своей сути представляют собой своеобразное проявление биосферных. Это следует из того, что «...мы живем в биосфере и ощущаем ее всем своим существом. Все передается нам через биосферу. Выше и ниже ее человек может проникать только логическим путем, разумом. В сущности человек, являясь частью биосферы, только по сравнению с наблюдаемыми на ней явлениями, может судить о мироздании. Он висит в тонкой пленке биосферы и лишь мыслью проникает вверх и вниз» (Вернадский, 1980, с. 19 – 20). На смену стереотипу мышления о том, что природа живет по естественным законам, а общество – по своим, общественным, и между ними непроходимая стена, должно прийти понимание – биосфера и общество, которое является ее частью, живут и развиваются по единым законам. Поэтому хозяйственная деятельность, как своеобразный биосферный процесс, должна быть построена по образу и подобию трофической пирамиды биосферы. Основание экономической пирамиды составляют добывающие отрасли (добыча полезных ископаемых, сельское хозяйство, охота, рыболовство) (аналог продуцентов). Выше располагаются перерабатывающие отрасли (аналог консументов), а венчают пирамиду отрасли,

перерабатывающие отходы производства и потребления (аналог деструкторов). Устойчивое развитие экономики страны и любого ее региона обеспечивается соблюдением пропорций между добывающими, перерабатывающими и утилизирующими отраслями хозяйства и строгим соблюдением параметров материальных и финансовых потоков, которые связывают их в единое целое.

4. Обуздать разрушительное действие грозной геологической силы, в которую превратилось человечество в процессе своего развития, может только человеческий Разум, направляемый взаимодействием Научной мысли и Нравственности. Человечество должно разработать и ввести в действие систему регламентаций и ограничений своей деятельности, исходя из системных свойств биосферы и принципов ее устойчивого функционирования и развития. Такая система регламентаций и ограничений явится новой составляющей в регуляторной функции живого вещества. Она начинает формироваться при переходе биосферы в ноосферу. В результате труд человека, направляемый его Разумом и Нравственностью, будет идти в унисон с законами Природы, по которым биосфера устойчиво функционирует и развивается более 3,5 млрд. лет.

Особенности реализации в практической деятельности основных положений учения о биосфере и ноосфере показаны в таблице 12.1 (строка 6). Эта реализация пошла по двум взаимосвязанным направлениям. Первое – преобразование сложившегося природопользования (хозяйственной деятельности с телами и силами биосферы) на основе введения системы регламентаций и ограничений, исходя из системных свойств биосферы и принципов ее устойчивого функционирования. Начало ему было положено еще в конце XX века. Второе направление – стратегическое планирование устойчивого развития регионов, призванное обеспечить высокое качество жизни населения. Оно начало складываться лишь в XXI веке. Такая последовательность действий определяет связь «Учения о биосфере и ноосфере» с курсом «Основы природопользования». В нем речь пойдет о воплощении в повседневную практическую деятельность с помощью современных методов управления учения В.И. Вернадского о биосфере.

# Литература

1. Абалкин, Л.И. Тектология А. Богданова: на пути к новой парадигме / Л.И. Абалкин // Вопросы философии. – 1995. – № 8. – С. 3 – 7.
2. Агошкова, Е.Б., Эволюция понятия системы / Е.Б. Агошкова, Б.В. Ахлибинский // Вопросы философии. – 1998. – № 7. – С. 170 – 178.
3. Аксенов, Г.П. “И все великое – не сон ...”. Владимир Иванович Вернадский. Материалы к биографии / Г.П. Аксенов // Историко-биографический альманах серии “Жизнь замечательных людей” Т. 15. – М.: Молодая гвардия, 1988. – С. 132 – 149.
4. Аксенов, Г.П. Сила Братства / Г.П. Аксенов // Природа. – № 2 – 1988. – С. 82 – 93.
5. Аксенов, Г.П. В.И. Вернадский. Фотоальбом / Г.П. Аксенов, В.С. Неаполитанская. – М.: Планета, 1988. – 239с.
6. Алексеев, Г.Н. Энергия и энтропия / Г.Н. Алексеев. – М.: Наука, 1985. – 263 с.
7. Баренбаум, А.А. Механизмы самоорганизации при глобальном геохимическом круговороте вещества на Земле / А.А. Баренбаум // Синергетика. Тр. семинара. – Т. 3. – М.: Изд-во МГУ, 2000. – С. 275 – 295.
8. Белов, Н.В. Источники энергии геохимических процессов / Н.В. Белов, В.И. Лебедев // Природа. – 1964. – № 5. – С. 23 – 28.
9. Бгатов, В.И. История кислорода земной атмосферы / В.И. Бгатов. – М.: Недра, 1985. – 87с.
10. Бгатов, В.И. Биогенная классификация химических элементов / В.И. Бгатов // Философия науки. – 1999. – № 2. – С. 2 – 12.
11. Будыко, М.И. Эволюция биосферы / М.И. Будыко. – Гидрометеиздат, 1981. – 488 с.
12. Васильев, А.Л. Сохранится ли ноосфера Вернадского в XXI веке / А.Л. Васильев // В.И. Вернадский: PRO ET

CONTRA. – СПб.: Изд-во Русского Христианского гуманитарного университета, 2000. – С. 650 – 654.

13. Васильковский, Н.П. Непостоянство уровня мирового океана в геологическом прошлом / Н.П. Васильковский // Океанология. – 1973. – Т. XI11, вып. 6. – С. 1026 – 1040.

14. Верзилин, Н.Н. Биосфера, ее настоящее, прошлое и будущее / Н.Н. Верзилин, Н.М. Верзилин. – М.: Просвещение, 1976. – 223 с.

15. Вернадская-Толль, Н.В. Штрихи к портрету (Письма В.С. Неаполитанской) / Н.В. Вернадская-Толль // В.И. Вернадский: PRO ET CONTRA. – СПб.: Изд-во Русского Христианского гуманитарного университета, 2000. – С. 154 – 161.

16. Вернадский, В.И. Проблемы биогеохимии / В.И. Вернадский. – М.: Наука, 1980. – 320 с.

17. Вернадский, В.И. Размышления натуралиста. Научная мысль как планетное явление / В.И. Вернадский. – М.: Наука, 1977. – 190 с.

18. Вернадский, В.И. Избран. соч., кн. 2 / В.И. Вернадский. – М.: Изд-во АН СССР, 1960 а.

19. Вернадский, В.И. Биосфера. Избран. соч., т. 5 / В.И. Вернадский. – М.: Изд-во АН СССР, 1960 б. – С. 7 – 104.

20. Вернадский, В.И. Об условиях появления жизни на Земле. Избран. соч., т. 5 / В.И. Вернадский. – М.: Изд-во АН СССР, 1960 в. – С. 252 – 266.

21. Вернадский, В.И. Об анализе почв с геохимической точки зрения. Избран. соч., т. 5 / В.И. Вернадский. – М.: Изд-во АН СССР, 1960 г. – С. 316 – 324.

22. Вернадский, В.И. Несколько слов о ноосфере. Проблемы биогеохимии / В.И. Вернадский. – М.: Наука, 1980. – С. 212 – 222.

23. Вернадский, В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения / В.И. Вернадский. – М.: Наука, 1987. – 339 с.

24. Вернадский, В.И. Страницы из истории почвоведения (памяти В. В. Докучаева) / В.И. Вернадский // Труды по истории науки в России. – М.: Наука, 1988. – С. 268 – 285.

25. Вернадский, В.И. Памяти А.Н. Краснова / В.И. Вернадский // Труды по истории науки в России. – М.: Наука, 1988. – С. 297 – 302.

26. Винер, Д.Р. Культ Вернадского и ноосфера / Д.Р. Винер // В.И. Вернадский: PRO ET CONTRA. – СПб.: Изд-во Русского Христианского гуманитарного университета, 2000. – С. 645 – 646.
27. Виноградов, А.П. Введение в геохимию океана / А.П. Виноградов. – М.: Наука, 1967. – 196 с.
28. Гавриленко, Е.С. Глубинная гидросфера Земли / Е.С. Гавриленко, В.Ф. Дерпгольц. – Киев: Наукова думка, 1971. – 272 с.
29. Гиляров, А.М. Вернадский, дарвинизм, Гея: критические заметки на полях «Биосферы» / А.М. Гиляров // В.И. Вернадский: PRO ET CONTRA. – СПб.: Изд-во Русского Христианского гуманитарного университета, 2000. – С. 690 – 698.
30. Горелов, А.А. Концепции современного естествознания: учеб. пособие / А.А. Горелов. – М.: Центр, 1997. – 208 с..
31. Гумилев, Л.Н. Ритмы Евразии. Эпохи и цивилизации / Л.Н. Гумилев. – М.: Экопрос, 1993. – 576 с.
32. Давиташвили, Л.Ш. История эволюционной палеонтологии от Дарвина до наших дней / Л.Ш. Давиташвили. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1948. – 575 с.
33. Даль, В.И. Толковый словарь живого великорусского языка / В.И. Даль. – М.: Госиздат иностранных и национальных словарей, 1955.
34. Ермолаев, М.М. Введение в физическую географию / М.М. Ермолаев. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1975. – 260 с.
35. Забелин, И.М. Его Космос / И.М. Забелин // Пути в неизвестное. Писатели рассказывают о науке. – Сб. 21. – М.: Советский писатель, 1988. – С. 384 – 420.
36. Заварзин, Г.А. Индивидуалистический и системный подходы в биологии / Г.А. Заварзин // Вопросы философии. – 1999. – № 4 – С. 89 – 106.
37. Заварзин, Г.А. Смена парадигм в биологии / Г.А. Заварзин // В.И. Вернадский: PRO ET CONTRA. – СПб.: Изд-во Русского Христианского гуманитарного университета, 2000. – С. 599 – 605.
38. Жмур, С.И. и др. Следы древнейшей жизни в космических телах Солнечной системы / С.И. Жмур и др. // Природа. – 1997. – № 7. – С. 3 – 10.

39. Исаева, В.В. Синергетика для биологов. Вводный курс: учеб. пособие / В.В. Исаева. – Владивосток, ДВГУ. – 2003.

40. Калесник, С.В. Основы общего землеведения / С.В. Калесник. – М.; Л.: Учпедгиз, 1947. – 483с.

41. Камшилов, М.М. Эволюция биосферы / М.М. Камшилов. – М.: Наука, 1979.

42. Князев, Е.Н. Синергетика как средство интеграции естественнонаучного и гуманитарного образования / Е.Н. Князев, С.П. Курдюмов // Высшее образование в России. – 1964. – № 4. – С. 31 – 36.

43. Колчинский, Э.И. Эволюция биосферы / Э.И. Колчинский. – Л.: Наука, 1990. – 236 с.

44. Кондакова, Г.В. Современное состояние микробиологических исследований глубинных флюидов литосферы / Г.В. Кондакова // Бурение сверхглубоких и глубоких параметрических скважин. Состояние технологии бурения, комплексные исследования и основные направления повышения эффективности. Матлы Всероссийского совещания. – Ярославль, 2001. – С. 93 – 96.

45. Кутырев, В.А. Утопическое и реальное в учение о ноосфере / В.А. Кутырев // В.И. Вернадский: PRO ET CONTRA. – СПб.: Изд-во Русского Христианского гуманитарного университета, 2000. – С. 626 – 629.

46. Кузнецов, П.Г. “Его действительное открытие ...”. Предисловие. В кн.: Подолинский С.А. Труд человека и его отношение к распределению энергии / П.Г. Кузнецов. – М.: Ноосфера, 1991. – С. 7 – 10.

47. Лавриненко, В.П. Концепции современного естествознания / В.П. Лавриненко. – М., 1997. – 205 с.

48. Лаппо, А.В. Следы былых биосфер / А.В. Лаппо. – М., 1979. – 173 с.

49. Лебедев, В.И. Солнечная энергия и проблема образования сиалического слоя земной коры / В.И. Лебедев, В.М. Синицын // Бюл. МОИП. Отдел геологический. – 1968. – Т. XI, 111, вып. 1.

50. Лукашевич, И.Д. Что такое жизнь? Биологический этюд / И.Д. Лукашевич. – СПб., 1909. – 32 с.

51. Мак-Менамин, М. Гиперморе: жизнь на суше / М. Мак-Менамин, Д. Мак-Менамин // В.И. Вернадский: PRO ET

CONTRA. – СПб.: Изд-во Русского Христианского гуманитарного университета, 2000. – С. 681 – 684.

52. Маргалев, Р. Облик биосферы / Р. Маргалев. – М.: Наука, 1992. – 314 с.

53. Маргулис, Л. Предисловие / Л. Маргулис, М. Черути, С. Голубтч и др. // В.И. Вернадский: PRO ET CONTRA. – СПб.: Изд-во Русского Христианского гуманитарного университета, 2000. – С. 757 – 760.

54. Медведь, А.Н. Идеи В.И. Вернадского и научное творчество Л.Н. Гумилева / А.Н. Медведь // В.И. Вернадский: PRO ET CONTRA. – СПб.: Изд-во Русского христианского гуманитарного университета, 2000. – С. 619 – 625.

55. Меннер, В.В. Биостратиграфические основы сопоставления морских, лагунных и континентальных свит / В.В. Меннер. – М.: Труды ГИН АН СССР, 1962. – Вып. 65. – 372 с.

56. Миркин, Б.М. Экологический гамлетизм / Б.М. Миркин // В.И. Вернадский: PRO ET CONTRA. – СПб.: Изд-во Русского Христианского гуманитарного университета, 2000. – С. 647 – 649.

57. Моисеев, Н.Н. Тектология Богданова – современные перспективы / Н.Н. Моисеев // Вопросы философии. – 1995. – № 8. – С. 8 – 13.

58. Моисеев, Н.Н. Логика динамических систем и развитие природы и общества / Н.Н. Моисеев // Вопросы философии. – 1999. – № 4. – С. 3 – 10.

59. Моисеев, В.И. Вернадский // В.И. Вернадский: PRO ET CONTRA / В.И. Моисеев. – СПб.: Изд-во Русского Христианского гуманитарного университета, 2000. – С. 730 – 735.

60. Мочалов, И.И. Владимир Иванович Вернадский (1863 – 1945) / И.И. Мочалов. – М.: Наука, 1982. – 487 с.

61. Николас, Г. Самоорганизация в неравновесных системах / Г. Николас, И. Пригожин. – М.: Мир, 1979.

62. Оборин, А.А. Концепция организованности подземной биосферы и проблемы устойчивого развития человечества / А.А. Оборин, С.А. Иларионов, Л.М. Рубинштейн и др.; Институт экологии и генетики микроорганизмов УРО РАН, Пермь // V Международная конференция «Проблемы загрязнения окружающей среды – 2001». – Волгоград; Пермь, 2001. – С. 37.

63. Огурцов, А.И. История науки как путь к ноосфере концепция В.И. Вернадского / А.И. Огурцов // В.И. Вернадский: PRO ET CONTRA. – СПб.: Изд-во Русского Христианского гуманитарного университета, 2000. – С. 721 – 729.

64. Перельман, А.И. Геохимия ландшафта / А.И. Перельман, Н.С. Касымов. – М.: Астрей-2000, 1999. – 768 с.

65. Подолинский, С.А. Труд человека и его отношение к распределению энергии / С.А. Подолинский. – М.: Ноосфера, 1991. – 82 с.

66. Раушенбах, Б.В. Увидеть красоту / Б.В. Раушенбах // Пристрастие. – М.: Аграф, 1997. – С. 92 – 105.

67. Рейтлингер, Е.А. Этапность развития фораминифер и ее значение для стратиграфии каменноугольных отложений / Е.А. Рейтлингер // Вопросы Микропалеонтологии. – 1969. – Вып. 12. – С. 3 – 33.

68. Риклефс, Р. Основы общей экологии / Р. Риклефс. – М.: Мир, 1979. – 424 с.

69. Руденко, А.П. Самоорганизация и синергетика / А.П. Руденко // Синергетика. Тр. семинара. – Т. 3. – М.: Изд-во МГУ, 2000. – С. 61 – 99.

70. Рузавин, Г.И. Самоорганизация и организация в развитии общества / Г.И. Рузавин // Вопросы философии. – 1995. – № 8. – С. 63 – 72.

71. Садовничий, В.А. Устойчивость глобального развития и хаотичность региональных явлений в нелинейных динамических процессах / В.А. Садовничий, В.В. Козодеров, Л.А. Ушаков и др. // Синергетика. Тр. Семинара – Т. 3 – М.: Изд-во МГУ, 2000. – С. 5 – 39.

72. Садовский, В.Н. Система / В.Н. Садовский // Философский энциклопедический словарь. – М.: Советская энциклопедия, 1983. – С. 610 – 611.

73. Селезнев, И.А. О термофильности микроорганизмов в глубоких слоях литосферы / И.А. Селезнев; Институт экологии и генетики микроорганизмов УРО РАН, Пермь // V Международная конференция “Проблемы загрязнения окружающей среды – 2001”. – Волгоград; Пермь, 2001. – С. 94.

74. Селиванов, А.М. Историческое краеведение / А.М. Селиванов. – Ярославль: ЯрГУ, 2005. – 367 с.
75. Синергетическая парадигма: многообразие поисков и подходов. – М.: Прогресс, Традиция, 2000.
76. Сеницын, В.М. Сиаль: историко-генетические аспекты / В.М. Сеницын. – Л., 1972 – 167 с.
77. Страхов, Н.М. Типы литогенеза и их эволюция в истории Земли / Н.М. Страхов. – М.: Госгеолтехиздат, 1963. – 530 с.
78. Терпугова, О.В. Эндокринологические аспекты проблемы дисэлементозов и других пищевых дисбалансов / О.В. Терпугова. – Ярославль: Изд-во Александр Рутман, 2001. – 48 с.
79. Уайт, Д. От философии к всеобщей организационной науке: источники и предшественники тектологии А. Богданова / Д. Уайт // Вопросы философии. – 1995. – № 8. – С. 38 – 49.
80. Урманцев, Ю.А. Симметрия природы и природа симметрии / Ю.А. Урманцев. – М.: Мысль, 1974. – 230 с.
81. Флоренский, К.П. В.И. Вернадский – натуралист, естествоиспытатель / К.П. Флоренский // В.И. Вернадский: PRO ET CONTRA. – СПб.: Изд-во Русского Христианского гуманитарного университета, 2000. – С. 64 – 73.
82. Хайлов, К.М. «Жизнь» и «жизнь на Земле»; две научные проблемы / К.М. Хайлов // В.И. Вернадский: PRO ET CONTRA. – СПб.: Изд-во Русского Христианского гуманитарного университета, 2000. – С. 705 – 711.
83. Хильми, Г.Ф. Основы физики биосферы / Г.Ф. Хильми. – Л., 1966. – 300 с.
84. Чижевский, А.Л. Земное эхо солнечных бурь / А.Л. Чижевский. – М.: Мысль, 1976. – 366 с.
85. Шадриков, В.Д. Проблемы системогенеза профессиональной деятельности / В.Д. Шадриков. – М.: Наука, 1983.
84. Шафрановский, И.И. Симметрия в природе / И.И. Шафрановский. – Л.: Недра, 1985. – 167 с.
85. Швобс, Г.И. Ноосфера, как символ цивилизации нового типа / Г.И. Швобс // В.И. Вернадский: PRO ET CONTRA. – СПб.: Изд-во Русского Христианского гуманитарного университета, 2000. – С. 681 – 684.

86. Шеховцова, Н.В. Состояние микробиологических исследований кернов пород глубоких и сверхглубоких скважин / Н.В. Шеховцова // Бурение сверхглубоких и глубоких параметрических скважин. Состояние технологии бурения, комплексные исследования и основные направления повышения эффективности. Мат-лы Всероссийского совещания. – Ярославль, 2001. – С. 180 – 183.

87. Шипунов, Ф.Я. Организованность биосферы / Ф.Я. Шипунов. – М.: Наука, 1980. – 291 с.

88. Шмальгаузен, И.И. Факторы эволюции / И.И. Шмальгаузен. – М.: Наука, 1963. – 450 с.

89. Шнитников, А.Н. Изменчивость общей увлажненности материков северного полушария / А.Н. Шнитников // Записки Геогр. Общества СССР. – Нов. Сер., 1957. – Т. XVI.

90. Яншина, Ф.Т. Ноосфера В. Вернадского: утопия или реальная перспектива? / Ф.Т. Яншина // В.И. Вернадский: PRO ET CONTRA. – СПб.: Изд-во Русского Христианского гуманитарного университета, 2000. – С. 635 – 646.

91. Ястребов, М.В. Экология в терминах и определениях / М.В. Ястребов. – Ярославль: ЯрГУ, 2001. – 96 с.

92. Mandelbrot, D.D. The fractal geometry of nature / D.D. Mandelbrot. – Freeman: N.Y, 1983. – 486 p.

Учебное издание

**ПОЯРКОВ** Будимир Владимирович  
**БАБАНАЗАРОВА** Ольга Владимировна

**Учение о биосфере и переходе ее в ноосферу**

**Учебное пособие**

Редактор, корректор А.А. Аладьева  
Компьютерная верстка И.Н. Ивановой  
Компьютерная графика О.В. Карунина

Подписано в печать 12.07.07. Формат 60×84/16.

Бумага тип. Печать офсетная.

Усл.-печ. л. 18,6. Уч.-изд. л. 14,0.

Тираж 150 экз. Заказ .

Оригинал-макет подготовлен  
в редакционно-издательском отделе ЯрГУ.  
Ярославский государственный университет.

150000 Ярославль, ул. Советская, 14.

Отпечатано

ООО «Ремдер» ЛР ИД № 06151 от 26.10.2001.  
г. Ярославль, пр. Октября, 94, оф. 37.  
тел. (4852) 73-35-03.