

К.И. Геренчук,  
В.А. Боков,  
И.Г. Черванев

# ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕВЕДЕНИЕ

---

*учебник для вузов*

---

*издательство  
Высшая  
Школа*

*К. И. Геренчук  
В. А. Боков  
И. Г. Черванев*

# ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕВЕДЕНИЕ

---

*Допущено  
Министерством высшего и среднего  
специального образования СССР  
в качестве учебника для студентов  
географических специальностей  
университетов*



*Москва  
«Высшая школа»  
1984*

ББК 22.82  
Г37  
УДК 551.4

Рецензенты:

кафедра общего землеведения Белорусского государственного университета имени В. И. Ленина (зав. кафедрой проф. О. Ф. Якушко); д-р географ. наук, проф. Н. А. Солнцев (Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова)

**Геренчук К. И. и др.**  
Г37    **Общее землеведение: Учеб. для географ. спец. ун-тов/ Геренчук К. И., Боков В. А., Черванев И. Г. — М.: Высш. шк., 1984.— 255 с., ил.**

В пер.: 1 р. 10 к.

В учебнике в соответствии с учебной программой охарактеризована географическая оболочка как целостная самоорганизующаяся система. Рассмотрены состав и структура, динамика и развитие оболочки, вопросы прогнозирования изменений под воздействием хозяйствования человека и управления процессами, протекающими в географической оболочке.

1905030000—300  
Г ..... 98—84  
001(01)—84

ББК 22.82  
551

## ПРЕДИСЛОВИЕ

---

Одной из основных задач, стоящих перед естественными науками, является разработка фундаментальных проблем, имеющих междисциплинарное значение. В Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года указано: «В области естественных и технических наук сосредоточить усилия на решении следующих важнейших проблем:

... изучение строения, состава и эволюции Земли, биосферы, климата, Мирового океана, включая шельф, с целью рационального использования их ресурсов, совершенствования методов прогнозирования погоды и других явлений природы, повышения эффективности мероприятий в области охраны окружающей среды; развитие экологии»<sup>1</sup>. Практическая реализация этой задачи в известной мере связана с деятельностью советских географов.

Общее землеведение — основа фундаментального географического образования в нашей стране. Роль этой научной дисциплины и соответствующего ей учебного курса неустанно повышается в связи с экологизацией образования, выполнением ряда международных программ, предусмотренных Всемирной стратегией охраны природы, программой ООН «Человек и среда» и другими документами.

Задачи общего землеведения как учебного курса должны отвечать современной проблематике науки и месту, которое занимает оно в науках о Земле и Космосе. Концепция общего землеведения как учебного курса создавалась на протяжении 50—70-х годов такими крупнейшими учеными-географами, как академики С. В. Калесник, К. К. Марков, на основе учения академиков А. А. Григорьева о географической оболочке и В. И. Вернадского о биосфере как естественных образованиях, не измененных деятельностью человеческого общества. Современное общее землеведение объединяет кроме значительного багажа знаний о географической оболочке, полученных естествоиспытателями второй половины XIX — начала XX в., новые данные и целые системы представлений, которые вызвали революцию в естествознании. Это — космическое землеведение, зародившееся в Советском Союзе в начале 70-х годов; исследования физической географии Мирового океана, результаты разработки проблемы использования естественных ресурсов Земли и управления природными процессами (глобальной экологии); внедрение в науки о Земле концепций общей теории систем и кибернетики о саморегулировании, самоорганизации, наличии сложных

---

<sup>1</sup> Материалы XXVI съезда КПСС. М., 1981, с. 146.

систем управления в географической оболочке. В свете сказанного основную цель общего землеведения можно сформулировать следующим образом: изучение географической оболочки как целого для оптимизации окружающей природной среды и управления географическими процессами на планетарном уровне. Важность решения этой задачи подтверждена международными, межправительственными и другими соглашениями. Она в разных аспектах курируется ООН (комиссия «Человек и биосфера»), ЮНЕСКО, Научным советом стран — членов СЭВ по комплексной задаче «Разработка мероприятий для сохранения природы» (с 1971 г.), Международным советом научных обществ и его Комитетом по проблемам окружающей среды, Международным географическим союзом (комиссия по проблеме «Человек и среда» с 1972 г.) и др. Проблематика общего землеведения приобрела определенное военно-политическое значение.

В учебнике отражены проблемы и современные научные результаты в области изучения географической оболочки — среды обитания человеческого общества и объекта общего землеведения, разработанные преимущественно в течение последнего десятилетия. На основе концепции целостности географической оболочки охарактеризованы процессы энерго- и массообмена в геосферах и между ними, описаны (впервые в учебной географической литературе) механизмы автоматического регулирования и управления, поддерживающие динамические равновесия в природе и могущие служить эффективным средством решения экологических проблем. Обобщены результаты исследований воздействия человечества на планетарные географические процессы, показаны реальные возможности управления этими процессами с целью сохранения природных равновесий, предотвращения экологической «катастрофы», о которой все чаще и все более панически говорят буржуазные ученые, и оптимизации окружающей среды.

Авторы учебника считают, что постановка этого курса в высшей школе в определенной мере определяет характер всего последующего обучения студентов. Несомненно, географ будущего — это специалист в области конструктивно-преобразовательной географии, поэтому в учебнике приведены такие научные факты и изложены такие проблемы, которые в наибольшей мере, по мнению авторов, отвечают современным задачам учебной дисциплины и формирования будущих специалистов.

Введение и вторая глава написаны профессором, доктором географических наук К. И. Геренчуком, главы третья и четвертая — доцентом, кандидатом географических наук В. А. Боковым, главы первая и пятая — доцентом, доктором технических наук И. Г. Черваневым. Общее научно-методическое руководство при создании учебника осуществлено профессором К. И. Геренчуком.

*Авторы*

## ВВЕДЕНИЕ

---

### 1. НАУКА И ЕЕ ЗАДАЧИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ РАЗВИТИЯ ОБЩЕСТВА

Современная эпоха характеризуется небывало стремительным развитием науки, опирающейся на мощную материальную базу растущих производительных сил и огромный интеллектуальный потенциал общества. Можно утверждать, что никогда еще масштабы науки не были такими величественными и никогда не выпадала на ее долю столь громадная ответственность перед человечеством, как в современную эпоху научно-технического прогресса.

Что же такое наука? Советские ученые определяют науку как сферу человеческой деятельности, функция которой — выработка и теоретическая систематизация объективных знаний о действительности. Понятие науки включает в себя не только деятельность по получению новых знаний, но и результат этой деятельности — сумму полученных к данному моменту научных знаний, создающих в совокупности научную картину мира.

Основная задача науки заключается в описании, объяснении и предсказании (прогнозе) явлений объективной реальности на основе открываемых ею законов и закономерностей. Конечная цель науки — разработка и обоснование приемов и способов рационального управления этой объективной действительностью — как природными, так и общественно-экономическими процессами.

Значение науки подчеркнуто на XXVI съезде КПСС: «Условия, в которых народное хозяйство будет развиваться в 80-е годы, делают еще более настоятельным ускорение научно-технического прогресса. В большом значении науки убеждать никого не приходится. Партия коммунистов исходит из того, что строительство нового общества без науки просто невысказимо»<sup>1</sup>.

**Система географических наук.** Современная наука — сложная система человеческих знаний, условно подразделяемая на три большие группы — *естественные, общественные и технические науки*. *Географией* называют систему естественных (физико-географических) и общественных (экономико-географических) наук, изучающих географическую оболочку Земли, природные и производственные географические комплексы и их компоненты. Гео-

---

<sup>1</sup> Материалы XXVI съезда КПСС. М., 1981, с. 42.

графические науки объединяют тесная взаимосвязь между изучаемыми объектами и общность конечной цели, заключающейся в комплексном исследовании природы, населения и хозяйства и в установлении характера взаимодействия между человеческим обществом и географической средой. Естественные географические науки, входящие в этот комплекс, называют *физической географией*.

Физическая география складывается из наук, изучающих географическую оболочку и ее структурные элементы — природные территориальные и аквальные комплексы (общее землеведение, палеогеография, ландшафтоведение), и наук, изучающих отдельные компоненты и части целого (геоморфология, климатология, гидрология суши, океанология, география почв, биогеография и др.).

**Объект изучения общего землеведения.** Объектом изучения общего землеведения является *географическая оболочка*. Это материальная система, возникшая на земной поверхности в результате взаимодействия и взаимопроникновения литосферы, атмосферы, гидросферы и биосферы. Природные тела географической оболочки: горные породы, воды, лед, воздух, живое вещество и другие — имеют различные *фазовые состояния* (твердое, жидкое, газообразное) и разные *уровни организации* (косное, биокосное и живое). Все химические элементы, входящие в состав Земли, присутствуют в географической оболочке. В географическую оболочку поступает как энергия Солнца и Космоса, так и энергия внутренних частей (недр) Земли.

Между частями географической оболочки наблюдается обмен веществом и энергией, проявляющийся в форме атмосферной и океанической циркуляции, движения поверхностных и подземных вод, ледников и др. Взаимодействие частей географической оболочки привело к возникновению такого важного ее свойства, как *целостность*.

Большое разнообразие типов вещества, форм энергии и взаимодействий природных тел в географической оболочке в ходе длительной истории ее развития привели к сложной пространственной дифференциации. Возникли *природные территориальные и природные аквальные комплексы* (ПТК и ПАК) различного ранга: от географических стран и зон до урочищ и фаций. Каждая географическая страна, а также зона занимает значительную часть континента, а урочища и фации обычно приурочены к небольшим участкам территории (балка, овраг, водораздельное пространство и др.). Таким образом, будучи единым целым, географическая оболочка в то же время состоит из относительно самостоятельных частей.

Географическая оболочка служит колыбелью жизни. Лишь на определенном этапе ее развития смогли возникнуть живые организмы как закономерный этап усложнения материи. Затем сами живые организмы в значительной мере изменили облик географической оболочки.

Таковы некоторые основные черты географической оболочки. В дальнейшем будет дана более глубокая ее характеристика.

## 2. КРАТКАЯ ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ОСНОВНЫХ ИДЕЙ ОБЩЕГО ЗЕМЛЕВЕДЕНИЯ

Наука как форма человеческой деятельности возникла в Древней Греции в VI — V вв. до н. э. Древнегреческие ученые рассматривали природу как единое целое. Основным методом науки того времени служил логический анализ. Мастерское владение этим методом позволило античным ученым сделать множество замечательных умозаключений, предвосхитивших научные открытия нового времени.

Важнейшими научными результатами землеведческого характера были: обоснование Аристотелем (384—322 гг. до н. э.) идей шарообразности Земли и наличия тепловых поясов на земной поверхности, вычисление Эратосфеном (276—194 гг. до н. э.) окружности Земли, осознание взаимодействия «стихий» и т. д. Эратосфену принадлежит термин «география».

В течение более чем тысячелетнего периода средневековья (III—XV вв. н. э.) в Европе наблюдался упадок науки, обусловленный социальными причинами и укреплением господства религии. В странах Востока продолжали развиваться некоторые идеи античных ученых-мыслителей, появились и новые идеи. Так, среднеазиатский ученый-энциклопедист аль-Бируни задолго до Коперника высказал мысль о гелиоцентрическом строении мира.

Новый этап развития науки начался в эпоху Возрождения. На грани XV и XVI столетий началась эпоха Великих географических открытий. Благодаря знаменитым путешествиям Х. Колумба, Васко да Гама и Ф. Магеллана границы географического кругозора человечества расширились до масштабов всей земной поверхности. Замечательные путешествия совершили русские землепроходцы; они прошли через труднодоступные районы Сибири и в XVII в. вышли к Тихому океану.

Быстрое развитие космологии и небесной механики в XVI—XVII вв. (Н. Коперник, Г. Галилей, И. Кеплер, И. Ньютон) создало базу для теоретического осмысливания накопленных в наблюдениях и путешествиях материалов. Попытка создания научной географии была предпринята голландским географом Б. Варением (1622—1650). Его книга «Всеобщая география» сыграла выдающуюся роль в развитии научной географии. Варений назвал земную поверхность «земноводным кругом», как бы подчеркивая единство суши и океана. Он высказал разумные идеи о внутреннем строении Земли, описал ее внешние оболочки, выделил и охарактеризовал тепловые пояса.

Значительным шагом в становлении идей развития природы стала гипотеза о происхождении Солнечной системы немецкого философа И. Канта (1724—1804). Он пришел к выводу, что саморазвитие — свойство, присущее материи. Еще до Канта идеи о развитии природы высказывались русским ученым-естествоиспытателем мирового значения М. В. Ломоносовым (1711—1765).





А. Гумбольдт (1769—1859)



В. В. Докучаев (1846—1903)

Идеи развития земной коры разрабатывались английским геологом Ч. Ляйелем в XIX в. Примерно в это же время английский натуралист Ч. Дарвин (1859) опубликовал работу «Происхождение видов путем естественного отбора», в которой доказывалась эволюция живой природы. Таким образом, к середине прошлого века принцип эволюции окружающего мира окончательно утвердился в учении о природе.

Многие исследователи связывают зарождение современной научной географии с именем выдающегося немецкого ученого А. Гумбольдта (1769—1859). Он ставил задачей географии «...объять явления внешнего мира в их общей связи, природу как целое, движимое и оживляемое внутренними силами» (Космос. Опыт физического мироописания. М., 1863, с. 3). Ему принадлежит утверждение, что география — это не энциклопедическое соединение естественных наук, что «ее последней целью является познание единства во множестве, исследование общих законов и внутренней связи теллурических (т. е. земных. — К. Г.) явлений» (там же, с. 54). Таким образом, Гумбольдт отчетливо осознавал географическое единство земной поверхности, и эту идею он попытался воплотить в своих трудах, в первую очередь в пятитомном фундаментальном труде «Космос» (греч. космос — порядок).

В XIX в. завершилось изучение основных особенностей устройства земной поверхности. Топографической съемкой были покрыты значительные участки суши. В начале века русскими мореплавателями Ф. Ф. Беллингаузеном и М. П. Лазаревым была открыта Антарктида. Более активно стали исследоваться океаны. К середине века относится возникновение *океанографии*. Значительно рас-



А. А. Григорьев (1883—1968)



В. И. Вернадский (1863—1945)

ширилась сеть метеорологических и гидрологических станций и постов. Обобщение полученных материалов позволило к концу века в общих чертах представить распределение высот и глубин на земном шаре, механизмы и закономерности атмосферной и океанической циркуляции, поставить вопрос об исследовании теплового и водного балансов земной поверхности и атмосферы.

Постепенно выявлялись все более тонкие механизмы взаимодействия природных явлений. Особенно глубоко взаимосвязь природных явлений на земной поверхности была исследована в конце XIX в. выдающимся русским ученым В. В. Докучаевым. Он сформулировал учение об особом природноисторическом теле — почве и о зонах природы.

Идеи А. Гумбольдта и В. В. Докучаева, многочисленные труды по отдельным географическим дисциплинам (геоморфологии, климатологии, географии растений, океанографии и др.), оформившимся в XIX в., позволили ученым подойти к представлению о приповерхностной сфере Земли как особой естественно-исторической системе. Вначале такие представления были высказаны в общем виде (немецкий ученый Ф. Рихтгофен, русские ученые П. И. Броунов, Р. И. Аболин). В 30-е годы текущего столетия представление о приповерхностной оболочке Земли вылилось в учение о географической оболочке, которое было разработано советским географом академиком А. А. Григорьевым. Истоками его учения послужили труды географов XIX в. А. Гумбольдта и В. В. Докучаева, а также замечательные работы выдающегося современника А. А. Григорьева академика В. И. Вернадского — основоположника учения о биосфере. Впоследствии учение о географической оболочке обогатилось новыми разделами. Были сформу-



Л. С. Берг (1876—1950)

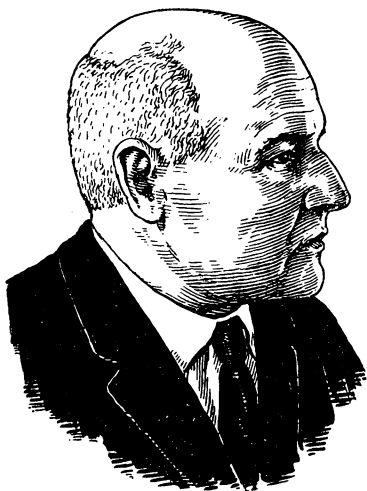


С. В. Калесник (1901—1977)

лированы представления о горизонтальной и вертикальной структуре (пояса и зоны, природные территориальные и аквальные комплексы, симметрия и диссимметрия, азональность и др.), закономерностях динамики и развития географической оболочки и ее составных частей — природных комплексов (Л. С. Берг, К. К. Марков, С. В. Калесник, Н. А. Солнцев, А. Г. Исаченко и др.). В 40-е годы в трудах академика С. В. Калесника было четко определено, что общие закономерности строения и развития географической оболочки изучает особый раздел физической географии — общее землеведение (хотя первые лекции по общему землеведению были изданы проф. А. Н. Красновым в 1895 г.).

### 3. СОВРЕМЕННЫЙ ЭТАП ИЗУЧЕНИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ

Качественно новый этап в развитии географического познания начался во второй половине XX в., т. е. в современную эпоху, которую часто и справедливо называют эпохой научно-технической революции. Среди важнейших задач и достижений этой эпохи называют такие: 1) превращение науки в непосредственную производительную силу, ведущую сферу деятельности человечества; 2) создание новых, потенциально безграничных источников энергии (атомной и ядерной) и искусственных материалов с заранее заданными свойствами; 3) развитие космической техники и дистанционных исследований Земли из Космоса; 4) возрастание взаимодействия наук, комплексных исследований сложных систем и, в первую очередь, изучение географической оболочки космическими методами; 5) резкое ускорение общественного прогресса, усиливающаяся



К. К. Марков (1905—1980)

интернационализация всей человеческой деятельности, и прежде всего в области науки; 6) резкое обострение так называемых экологических проблем, связанных с производственной деятельностью человечества, проблем рационального природопользования, приобретающих глобальный характер.

В эпоху научно-технической революции воздействие человечества на природу из локального стало глобальным. Оно проявляется не только там, где осуществляется, где человек живет и работает, но и в каждой точке земной поверхности. Интенсивность этого воздействия стала сопоставимой с действием природных сил и процессов, а скорость изменений, обусловленных

воздействием человечества на природу, подчас на порядки выше, чем воздействие естественных процессов. Глобальный масштаб воздействия, его интенсификация, высокая концентрация экологических нагрузок на окружающую среду приводят к частым нарушениям природных равновесий и губительным последствиям. Во взаимоотношениях человека с природой сейчас, как никогда, требуется знание законов развития окружающих природных комплексов. Чем глубже будут наши знания, тем сознательнее, обоснованнее и надежнее мы будем выбирать пути и методы воздействия на среду, более полно использовать ресурсы природы. Поэтому в настоящее время изучение природы — одна из первоочередных задач советской науки, а охрана природы стала общегосударственной задачей.

Новые задачи, поставленные перед наукой, потребовали совершенствования принципов и методов получения и обработки информации о природных явлениях, способов теоретических обобщений и прогнозирования.

Наша наука в последние десятилетия стала более целенаправленно применять такие методы исследования, как *эксперимент* и *моделирование*. В отличие от наблюдений это активные способы исследования, позволяющие получить представление о поведении изучаемых объектов в широком диапазоне воздействия внешних факторов.

Построение моделей — аналогов физико-географических объектов (моделями в исследовательских процедурах выступают камеры искусственного климата, бассейны, воспроизводящие основные элементы океанической циркуляции, эрозионные лотки и др.) дает возможность отвлечься от бесконечной сложности реальной действительности и оперировать с относительно простыми системами (объектами — моделями). В моделях на первый план выступают наи-

более существенные черты реальных объектов, определяющие главные особенности их структуры и функционирования.

Значительные изменения произошли в научном географическом языке. Язык науки представляет развивающуюся сложную систему, состоящую из совокупности понятий и терминов и правил их употребления, а также графических и символических средств описания и теоретического обобщения. Для сегодняшней географии характерно более целенаправленное использование логических доказательств, четкое определение понятий. Особенно перспективно использование языка математики. В 60-е годы география пережила «количественную революцию» — так называют время активного внедрения в географические исследования *математических методов, электронно-вычислительных и аналоговых решающих устройств*. Математические методы становятся обычными способами решения географических задач, выявления скрытых географических закономерностей, составления прогнозов развития географической среды. Электронно-вычислительная техника позволила создать единые системы фиксации географической информации, ее обработки и обобщения.

Продолжается усовершенствование картографического языка — одного из самых древних в географии. Карты — это способ графического выражения географических фактов и закономерностей. Одновременно *картографические методы исследования* позволяют получать новые знания о природе земной поверхности. Картографический метод (наряду с моделированием) особенно важен для землеведения, так как непосредственно охватить наблюдениями всю географическую оболочку не представляется возможным.

Более гибкими и разнообразными становятся способы обобщения накопленного материала. Все чаще выдвигаются гипотезы, индуктивные и дедуктивные умозаключения, формулируются постулаты, используются представления об идеальных объектах (моделях). Идеальные объекты конструируются исследователем на основе учета ряда типичных свойств, присущих эмпирической картине, и абстрагирования от тех свойств, которые в рамках поставленной задачи расцениваются как второстепенные. Идеальные модели-понятия хорошо известны в математике и физике (точка, линия, плоскость, абсолютно твердое тело, идеальный газ и др.). Они не существуют в природе. Это лишь прообразы реальных свойств и явлений. Однако благодаря оперированию с идеальными объектами стало возможным выявление закономерностей и законов развития окружающего нас мира. Законы науки применимы в чистом виде лишь к идеальным объектам. Ни один закон не отображает всех свойств реального явления.

В общем землеведении идеальными объектами являются земной шар, эллипсоид вращения, геоид (модели фигуры Земли различного уровня), солярный климат (теоретически возможный климат на Земле, обусловленный лишь величиной солнечной радиации), идеальный континент, геосистема и др.

Быстрый прогресс физической географии был бы невозможен

без глубокого усвоения методологических основ научного познания. *Методология* — это учение о структуре, логической организации, методах и средствах научной деятельности. Она помогает организовать процесс познания, правильно определить основные пути решения поставленных проблем. Методология может быть сравнима со стратегией исследования.

Различают философскую и специально-научную методологию. Философская методология не существует в виде какого-то особого раздела философии — методологические функции выполняет вся система философского знания. Наиболее адекватную философскую базу научного познания дает диалектический и исторический материализм, причем роль методологии осуществляют в равной мере диалектика и материализм. Специально-научная методология, в свою очередь, расчленена на несколько уровней: общенаучные методологические концепции и направления, методологию специальных наук и методику и технику исследования. Методологические принципы философского уровня (законы и принципы материалистической диалектики) служат географу ориентиром в познании самых фундаментальных явлений природной действительности; выбора принципиальных путей научного исследования, определения тенденций развития природной среды. На специально-научных методологических уровнях физико-географ знакомится с концепциями различных естественных наук (физики, биологии, геологии и др.) применительно к своему объекту исследования.

Методологическое значение в земледелии имеет сформулированная нашим выдающимся соотечественником В. И. Вернадским *концепция о роли живых организмов в преобразовании природы земной поверхности*. Лик географической оболочки настолько сильно преобразован живыми организмами, что совершенно непохож на марсианский или венерианский, где поверхность продолжает сохранять свойства, сложившиеся на первоначальном этапе развития планеты. В этой концепции впервые было показано, что значение элементов систем определяется не только их массой (масса живых организмов на Земле на несколько порядков уступает массе атмосферы, не говоря уже о гидросфере и литосфере), но и активностью, и занимаемым местом в структуре взаимодействия в системе.

Методологическое значение имеет *системный подход*, при котором объект исследования рассматривается как совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих элементов. Методы системного анализа используются для исследования географической оболочки как целостной организованной системы.

Для наблюдения за состоянием географической оболочки и изучения процессов, которые в ней имеют место, все шире используются *методы космического земледелия*. Так, все более возрастает применение таких космических методов исследования географической оболочки, как различные виды съемок: фотографическая, фотоэлектронная, спектральная, спектрозональная, геофизическая и др. Благодаря им науки о Земле, в том числе и география, получали и

получают огромную и разностороннюю информацию о строении географической оболочки и процессах, совершающихся в ней. Например, с помощью космических съемок подтверждена и уточнена схема общей циркуляции атмосферы и океанических течений, выявлена огромная роль разломов (линеаментов) земной коры и открыты новые, так называемые *кольцевые структуры (астроблемы)*, образованные падением метеоритов на Землю. Космическими снимками подтверждено наличие *кольцевых течений* в океанах и *подъемы больших масс глубинных океанических вод к поверхности (апвеллинге)*, обуславливающие появление большого количества живых организмов в таких областях. Изучение географической оболочки Земли космическими средствами дистанционного наблюдения только началось, и их дальнейшее развитие сулит большие успехи в развитии науки о Земле.

Качественно новый этап наступил в изучении Мирового океана, который исследуют не только с помощью космических аппаратов, но и специально оборудованных для ведения научных работ кораблей.

Характерной особенностью современных географических исследований является их комплексный характер. Широко развивается международное сотрудничество в проведении таких работ. Примерами комплексных исследований могут служить международные программы, выполнявшиеся научными коллективами и кораблями СССР, США, Франции, Японии и других стран. Этими программами предусматривалось изучение взаимодействия океанических вод и атмосферы в экваториальных, полярных и других районах земного шара.

К сказанному следует добавить распространение в географии комплексных стационарных наблюдений ландшафтного характера при изучении процессов взаимодействия между компонентами природных, производственных и технических комплексов. Они получают все большее развитие в географических учреждениях СССР, ГДР, ЧССР и других стран.

Весь разнообразный комплекс новых методов исследования географической оболочки значительно продвинул наши знания о процессах, протекающих в ней, способствовал развитию теории географической науки, познанию законов, управляющих структурой и динамикой оболочки. Это дало возможность географической науке подняться на новую, более высокую ступень развития. Она уже может ставить перед собой задачи прогнозирования географических явлений и рационального, вполне сознательного управления природными процессами.

#### 4. ЗАДАЧИ И ПРЕДМЕТ ИЗУЧЕНИЯ ОБЩЕГО ЗЕМЛЕВЕДЕНИЯ

Выше было сказано, что *объектом* изучения общего землеведения является *географическая оболочка*, поэтому общее землеведение должно рассматриваться как *учение о географической*

*оболочке.* Основы учения о географической оболочке были созданы в 30-е годы текущего столетия, однако некоторые идеи, а также исследования состава, структуры и эволюции оболочки развивались на протяжении всего предшествующего длительного этапа формирования физической географии и смежных наук.

Определение общего землеведения как учения о географической оболочке еще не в полной мере раскрывает специфику этой науки. В ходе развития любой науки ее объект рассматривается под разными углами зрения, и, как правило, начинается исследование с чисто внешних, поверхностных черт, а затем переходят к выявлению более глубинных, сущностных особенностей. Это связано с определенными закономерностями познания любого объекта, присущими науке, а также и с изменением задач, которые ставит перед наукой общество. Та сторона объекта, которая рассматривается данной наукой на соответствующем этапе развития, составляет предмет ее исследования (Плахотник А. Ф., 1981). Изменение задач, которые решает данная наука при исследовании объекта, означает, таким образом, и изменение ее предмета.

На протяжении многих столетий (вероятно, до середины XIX в.) географы занимались преимущественно описанием земной поверхности. Постепенно наряду с описанием стали решаться задачи научного объяснения явлений, которые удавалось наблюдать. Наиболее отчетливо этот переход наметился в трудах А. Гумбольдта.

В современный период возросшего воздействия человечества на природную среду, ее сильного загрязнения и возникновения дефицита природных ресурсов все более актуальными становятся задачи управления природопользованием, направленного, с одной стороны, на удовлетворение потребностей человечества в природных ресурсах, с другой — на оптимизацию окружающей природной среды, т. е. такое использование ресурсов, которое обеспечивало бы ее нормальное функционирование. Задача оптимизации природной среды решается на нескольких уровнях: *локальном, региональном и глобальном.* Первый связан с преобразованием природной среды на небольших территориях — непосредственно там, где было оказано воздействие. Опыты такого воздействия известны с самых ранних этапов существования человечества. Это ирригация и распашка земель, вырубка леса и т. п. На региональном уровне воздействие на природу складывается из отдельных частных локальных изменений. Примером могут служить изменения на территории обжитых районов суши земного шара. Оптимизация природопользования на региональном уровне требует уже целенаправленных и согласованных воздействий на уровне административной части территории страны, целого государства или группы государств.

Глобальный уровень оптимизации соответствует всей географической оболочке или очень значительной ее части — полушарию, континенту, океану. Это как раз тот уровень, на котором необходимо знание законов строения, функционирования, динамики и развития географической оболочки как целостной природной сис-



темы. Целесообразность и принципиальная возможность оптимизации географической оболочки стала осознаваться относительно недавно, уже в эпоху научно-технического прогресса. Благодаря успехам таких интегрирующих отраслей и наук, как теория систем, кибернетика и математическое моделирование, а также накоплению фактических наблюдений, полученных из Космоса, и возможности непрерывного слежения за состоянием географической оболочки и ее реакциями на техногенную деятельность постепенно сформировалось представление о ней как *целостной организованной системе, обладающей способностью к саморегуляции и автоматическому поддержанию на определенном уровне значений основных жизненно важных параметров и функций*. В таком подходе — новизна задачи и возможностей оптимизации географической оболочки. Оптимизация должна состоять в направленном, наперед рассчитанном, дозируемом воздействии, которое в первую очередь должно затрагивать механизмы, управляющие саморегулированием. Такими представляются авторам современная концепция общего земледения и сущность задач, которые жизнь настоятельно выдвигает перед общим земледением — единственной наукой, изучающей географическую оболочку как целостную систему и поэтому ответственную за успехи человечества в области глобального регулирования состояний окружающей природной среды с целью ее оптимизации.

Следовательно, *современной задачей общего земледения будем считать познание закономерностей строения, динамики и развития географической оболочки для разработки системы оптимального управления происходящими в ней процессами*.

Географическая оболочка, являясь, по существу, природной средой обитания человеческого общества, в настоящее время более или менее изменена хозяйственной деятельностью, а в ряде случаев, будучи тесно с нею связана, образует природно-техническую систему. В этом новом состоянии, которое уже нельзя назвать чисто природным, географическая оболочка приобрела качественно новые черты. Поэтому критерии оптимизации связаны не только с сохранением и улучшением природных свойств, но и с созданием, конструированием новых, неизвестных ранее свойств, сочетаний, состояний, т. е. решением тех задач, которые в современной географической литературе относятся к *конструктивной географии*. Современное общее земледение все более становится *конструктивной наукой*.

Многие проблемы, возникающие в общем земледении на современной конструктивной стадии его развития, настолько сложны и обширны, требуют такой глубокой и разносторонней проработки, использования такого арсенала методов, что непосильны одной какой-либо отрасли знания, науке или даже группе родственных наук. По этой причине задачи оптимизации окружающей природной среды, конструирования природно-технических систем, являющиеся наиболее актуальными на сегодняшний день и в ближайшем будущем, являются задачами междисциплинарными. В этом смысле

общее землеведение должно выступать *интегрирующим звеном* в разработке таких задач.

Необходимо иметь в виду, что разработка модели управления такой сложной системой, как географическая оболочка, — задача кибернетическая, и поэтому она требует *последовательного системного подхода* для своей реализации. Для этого надо вскрыть и глубоко изучить *природные механизмы саморегулирования*, которые управляют процессами энерго- и массообмена, и разработать теорию, которая позволяла бы активно воздействовать на эти механизмы. Такая теория в землеведении пока еще не создана.

Однако понимания современных процессов еще недостаточно для того, чтобы эффективно воздействовать на географическую оболочку. Географическая оболочка — уникальное явление в Солнечной системе. Она не имеет аналогов, изучение которых помогло бы проверить наши теоретические построения. Нет других природных систем, которые использовались бы в качестве ее модели. Из-за непредсказуемости результатов и сложности (опасности) экспериментирования общее землеведение должно опираться на анализ истории развития природы земной поверхности, чтобы путем такого анализа вскрыть причины явлений, уже происходивших в прошлом. Поэтому ближайшим спутником общего землеведения является *палеогеография*, позволяющая использовать знания о прошлом для анализа настоящего и прогнозирования будущего.

В развитии и функционировании географической оболочки очень большую роль играет ее *структура*, обеспечивающая целостность ее как природной системы. Поэтому *изучение структуры географической оболочки* — одна из первых задач общего землеведения.

Географическая оболочка — *динамическая система*. В ней непрерывно происходят движения масс вещества, наблюдаются взаимопереходы энергии, проявляются процессы направленного изменения и ритмики. Все они образуют сложную систему энерго- и массообмена, происходящего между оболочкой и внешней средой, а также между подсистемами географической оболочки. Динамика географической оболочки изучена пока недостаточно. Ее исследование — также *важная задача общего землеведения*.

Для того чтобы сознательно вмешиваться в «жизнь» системы с целью ее оптимизации, необходимо соответствующее знание о ней. Системный анализ географической оболочки делает первые шаги. Очевидно, что его успехами будет в значительной мере определяться реальность решения той задачи, которая была сформулирована выше в качестве современной задачи общего землеведения.

#### Вопросы и задания для самостоятельной работы

1. Какова структура системы географических наук?
2. Что является объектом изучения общего землеведения?
3. Какие положения и идеи современного общего землеведения начали формироваться в античное время?
4. Какой вклад в развитие общего землеведения внес А. Гумбольдт?

5. Какое влияние оказывает НТР на состояние географической оболочки?
6. В чем состоит влияние научно-технической революции на географию?
7. Каковы задачи общего землеведения?
8. Что является предметом изучения общего землеведения в настоящую эпоху?

*Задания для реферата*

9. Каковы главные изменения в характере физико-географических исследований, вызванные научно-технической революцией? Каково значение эксперимента, моделирования, космических методов для общего землеведения?

10. Какие программы международного сотрудничества в изучении глобальных природных процессов вам известны? Каково значение международного сотрудничества для развития общего землеведения?

11. Что такое космическое землеведение? В чем его отличие от традиционного общего землеведения?

12. В чем сущность современной концепции общего землеведения?

## Глава I

# ЗЕМЛЯ ВО ВСЕЛЕННОЙ

---

### 1.1. ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ СТРОЕНИЯ ВСЕЛЕННОЙ И ЕЕ ЭВОЛЮЦИЯ

*Вселенная* — весь мир, безграничный во времени и пространстве и бесконечно разнообразный по тем формам, которые принимает материя в процессе своего развития. Она существует объективно, независимо от сознания человека, ее познающего.

Самое высшее положение в иерархии изученных космических систем занимает *Метагалактика* — совокупность звездных систем, частью которой является все множество (около 1 млрд.) галактик, доступных современным телескопам. Некоторые ученые называют Метагалактикой только доступную для наблюдения область Вселенной. *Наша Галактика*, или *система Млечного Пути*, — одна из звездных систем, входящих в состав Метагалактики.

Считается, что для Вселенной характерна *крупномасштабная однородность*: при рассмотрении очень больших пространств Вселенной в любом таком пространстве встречается примерно равное число галактик. Вселенная *безгранична*, т. е. не имеет какого-либо физического ограничения, поверхности, за которой «ничего нет». Некоторые ученые утверждают, что Вселенная конечна. Вселенная в целом *изотропна*. Это означает, что все ее направления равноправны. В частности, интенсивность так называемого реликтового излучения — продукта процессов начальной эпохи образования Вселенной — не зависит от направления.

Дискретными элементами Вселенной являются небесные тела, и прежде всего звезды. Они образуют *иерархически упорядоченные системы*. Центр нашей планетной системы — *Солнце* — рядовая звезда нашей Галактики. Последняя состоит из звезд различных типов (более 100 млрд. звезд), которые образуют звездные скопления, ассоциации и туманности, а также из межзвездного вещества. Галактику Млечного Пути сокращенно называют *нашей Галактикой*, записывая название с заглавной буквы. Наша Галактика вращается вокруг центра, находящегося на линии, мысленно проведенной в направлении созвездия Стрельца, с периодом около 200 млн. лет. Этот период называется *галактическим годом*. С ним связывают периодичность главных орогенических эпох Земли, в частности каледонской, герцинской, альпийской.

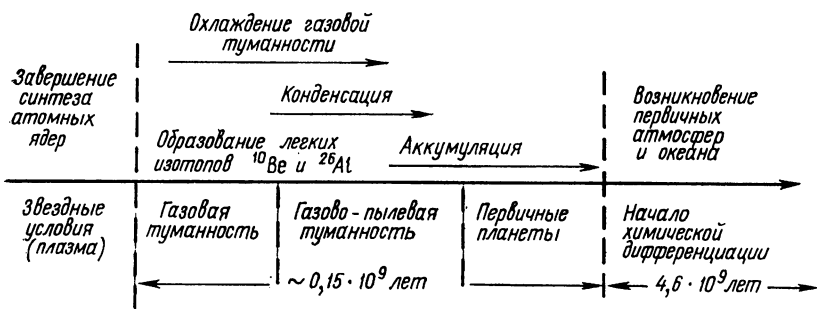


Рис. 1.1. Хронологическая последовательность событий в развитии Солнечной системы (по Г. В. Войткевичу, 1979)

Иерархическая организация Вселенной может быть показана следующим восходящим рядом (от меньших элементов и систем к большему): Земля — Солнечная система — наша Галактика — скопление галактик — ... — Метагалактика — Вселенная. Каждый элемент этой иерархической структуры образует систему, т. е. совокупность небесных тел, объединенных общностью гравитационного поля, движения или другими свойствами.

В настоящее время считается установленным, что развитие известной нам части Вселенной происходит однонаправленно на протяжении 10—20 млрд. лет. Для Вселенной характерно расширение. В далеком прошлом галактики были расположены теснее, чем сейчас. Возможно, что 10—20 млрд. лет назад не было отдельных небесных тел; все вещество находилось в состоянии однородной горячей расширяющейся плазмы. Этапы формирования Вселенной отражает рис. 1. 1. Доказательством того, что Вселенная расширяется, является так называемое красное смещение линий спектра излучений, поступающих от других галактик к Земле. Таким образом, Вселенная является нестационарным объектом. Так называют те объекты, которые характеризуются направленным изменением. Во Вселенной происходит становление и разрушение звезд и звездных систем, образование и трансформация (развитие) вещества. Солнце, Земля, живое вещество географической оболочки — это различные стадии развития вещества одной из частей Вселенной.

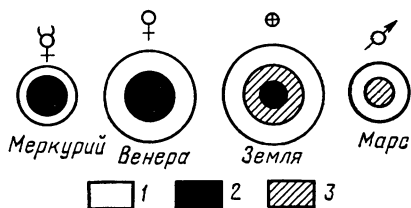
## 1.2. СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА

Солнечная система состоит из Солнца, девяти крупных планет и 32 их спутников, а также большого числа астероидов (из них 1600 занесены в астрономические каталоги). Присутствует твердый материал, находящийся в различной степени размельчения — от малых астероидов до космической пыли. Главная масса вещества системы сосредоточена в Солнце, которое представляет звезду, состоящую в основном из водорода и гелия. Масса всех других элементов Солнечной системы составляет около 1/700 массы Солнца.

Все планеты Солнечной системы по размерам, плотности и хи-

Рис. 1.2. Строение и химический состав планет земной группы (по Г. В. Войткевичу, 1979):

1 — силикатный, 2 — металлический, 3 — сульфидметаллический материал



мическому составу подразделяются на две группы — планеты земного типа и планеты-гиганты: 1) *планеты земного типа* — твердые тела, имеющие значительную плотность; к ним относятся четыре ближайшие к Солнцу планеты — *Меркурий, Венера, Земля и Марс* (рис. 1. 2); 2) *планеты-гиганты* — *Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун*; планеты-гиганты характеризуются большими размерами, но малой плотностью (несколько более  $10^3 \text{ кг/м}^3$ ), так как состоят преимущественно из водорода и гелия, а также соединений кислорода, углерода и азота, способных находиться в твердом (ледяном) состоянии. Считают, что в планетах-гигантах имеется каменное ядро. Девятая планета — *Плутон* изучена очень плохо. По-видимому, ее следует отнести к планетам земного типа (табл. I. 1).

Таблица I.1. Планеты Солнечной системы

Планета	По отношению к земным:			Средняя плотность, г/см <sup>3</sup>
	диаметр	масса	расстояние от Солнца	
<i>Планеты земной группы</i>				
Меркурий	0,38	0,055	0,387	5,52
Венера	0,95	0,815	0,723	5,22
Земля	1,00	1,000	1,000	5,517
Марс	0,53	0,107	1,524	3,97
<i>Планеты-гиганты</i>				
Юпитер	11,11	317,82	5,203	1,30
Сатурн	9,41	95,28	9,539	0,68
Уран	3,98	14,56	19,19	1,32
Нептун	3,88	17,28	30,06	1,84
Плутон	0,47 *	0,11	39,75	6

\* Очень ненадежное значение.

По современным представлениям первичное Солнце образовалось из холодной рассеянной газовой материи. Оно обладало небольшим моментом вращения. Вскоре после образования первичного Солнца произошло гравитационное сжатие, которое уплотнило вещество в центральных частях небесного тела. Уменьшение объема Солнца привело к увеличению скорости его вращения. Это, в свою очередь, увеличило центробежную силу, которая зависит от скорости и радиуса вращения. Центробежная сила уменьшила гравитационное давление вещества, особенно на экваторе, поэтому в об-

ласти экватора произошло истечение материи, образовавшей газовый диск. Часть материи, вероятно, рассеялась, другая часть пошла на «постройку» планет. Считают, что *первичный протопланетный материал* был представлен сильно ионизированным разреженным газом, т. е. плазмой. Лишь после значительного снижения температуры атомные ядра приобрели электронные оболочки, стали возможными химические реакции, образовались первые химические соединения.

Разделение планет Солнечной системы на две группы объясняют дифференциацией вещества газового диска под действием двух сил: тяготения и магнитного поля. Первая притягивала частицы к центру системы в соответствии с плотностью вещества, магнитное поле удерживало частицы на различных расстояниях от Солнца в зависимости от их заряда.

### 1.3. ЗЕМЛЯ

В настоящее время считается общепринятым, что планета Земля состоит из *ядра*, средний радиус которого 3500 км (свыше половины радиуса всей планеты), *мантии* мощностью  $\sim 2900$  км и *земной коры* средней мощностью 35 км на материках и 6—7 км под океанами. Ядро подразделяют на *внешнее* и *внутреннее* (ядрышко), мантию — на *верхнюю*, *среднюю* и *нижнюю*. В верхней мантии на глубинах в интервале 100—350 км находится *астеносфера* — слой пониженной вязкости и прочности, который (по отношению к вышележащей толще) называют также *субстратом*. Лежащая на астеносфере часть верхней мантии вместе с земной корой называется *литосферой*. Литосфера — это твердая (каменная) оболочка Земли.

Согласно современным представлениям ядро Земли сформировалось в результате *аккреции* (слипания, соударения) *металлических частиц* (преимущественно железа) на ранних стадиях формирования Солнечной системы. *Первичная мантия* — преимущественно силикатная. Из нее в процессе гравитационного расслоения (дифференциации) образовались земная кора, атмосфера и гидросфера (рис. 1.3). Дифференциация происходила в условиях разогрева и частичного расплавления. Более тяжелые элементы и соединения погружались в направлении центра Земли, «тонули», а более легкие — вытеснялись к поверхности, «всплывали».

В результате плавления и дегазации (выделения газов из расплава) вещества мантии на поверхность Земли поступали базальтовая магма, растворенные в ней водяной пар и газы. Выделившиеся из магмы водяной пар и газы образовали *первичную атмосферу*. Она состояла из  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{HCl}$ , а также инертных газов. Преобладал диоксид углерода. *Первичная атмосфера* Земли была вос-

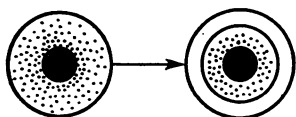


Рис. 1.3. Схема образования современной Земли в результате гетерогенной аккумуляции. Заштрихованы сульфидметаллическая и металлическая фазы, светлый фон — силикатная среда (по Г. В. Войткевичу, 1979)

становительной, т. е. не содержала свободного кислорода. Только незначительные его количества формировались за счет расщепления молекул водяного пара ультракоротковолновой солнечной радиацией.

Конденсация водяного пара привела к образованию *первичной гидросферы*. Считают, что первичная гидросфера была солоноводной. Пресные воды — результат круговорота воды. Для океана, как и для атмосферы, была характерна восстановительная среда. В дальнейшем решающую роль в изменении состава атмосферы и гидросферы сыграло появление фотосинтезирующих организмов.

Дифференциация вещества Земли с начала ее образования происходила по-разному. По современным моделям эволюции планеты ядро формировалось в течение относительно короткого времени, и вряд ли его формирование продолжается в современную геологическую эпоху. Что же касается других процессов миграции вещества (в особенности центробежных), то они, видимо, продолжают на протяжении всей истории Земли как небесного тела.

#### 1.4. КОСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЗЕМЛЮ.

Положение в пространстве, строение, характеристики вещества и физические поля планеты оказывают влияние на ее взаимодействия с окружающим Космосом. Рассмотрим только одну сторону этого взаимодействия — воздействие внешней среды на Землю.

Расстояние между Землей и Солнцем определяет важнейший энергетический параметр — количество солнечной радиации, поступающей на Землю. Земля получает двухмиллиардную часть радиации, излучаемой Солнцем. Это количество энергии обеспечивает и поддерживает характерную для земной поверхности термодинамическую обстановку.

От положения Земли в ряду планет зависит *плотность вещества Земли*, а с учетом ее размеров — и *масса планеты*. Средняя плотность вещества Земли высокая ( $5,5 \text{ г/см}^3$ ) — в два раза выше плотности гранита. Произведение средней плотности на объем ( $1,0834 \cdot 10^{21} \text{ м}^3$ ) дает массу Земли. Она составляет  $5,976 \cdot 10^{24} \text{ кг}$ . Такая масса достаточна для того, чтобы удерживать атмосферу планеты. Верхняя граница атмосферы представляет изоповерхность между гравитационным потенциалом и кинетической энергией молекул воздуха (преимущественно водорода). Чем больше гравитационная сила, тем больше объем и масса атмосферы.

*Атмосферное давление*, создаваемое столбом воздуха, находящимся над земной поверхностью, определяет наличие воды в жидком состоянии. При отсутствии давления вода испарилась бы, так как нарушилось бы фазовое равновесие, отвечающее данной температуре и давлению.

*Фазовые переходы воды*, сопровождающиеся переносом энергии, взаимодействие воды и газов атмосферы с горными породами создают качественное своеобразие географической оболочки и явля-



ются необходимым условием существования жизни — высшей формы организации материи.

Большое значение для обеспечения постоянства термодинамической обстановки на земной поверхности имеют атмосфера как фильтр электромагнитного излучения и океан — конденсатор тепла. Существенным астрономическим фактором этого постоянства является круговая форма орбиты планеты. Сжатие орбиты — ее *эксцентриситет* составляет всего 0,0167, т. е. близок к 0. Поэтому количество электромагнитной энергии, поступающей от Солнца, меняется в течение года незначительно — в пределах 5 % (максимум в начале января) и не влияет на температуры на земной поверхности и на их изменения в течение года.

Велико значение *Луны* — спутника Земли. Она создает *приливное торможение суточного вращения планеты*. Это имеет большое географическое значение (если рассматривать длительные отрезки времени). Приливное торможение вызывает замедление суточного вращения, уменьшает полярную сплюснутость Земли, силу Кориолиса, отклоняющую движущиеся массы воздуха и воды, т. е. влияет на циркуляцию атмосферы и вод океана, от которых, в свою очередь, зависят условия климата. Считают, что из-за замедления суточного вращения продолжительность суток за 1 млрд. лет возросла на 6 ч.

Некоторые ученые полагают, что взаимодействие с Луной — один из основных факторов первичного разогрева планеты. Луна постепенно удаляется от Земли. Если допустить, что первоначально она была значительно ближе, то, следовательно, и приливообразующая сила была выше. Приливная волна создает в теле планеты внутреннее трение, сопровождающееся выделением теплоты.

## 1.5. СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫЕ СВЯЗИ

*Солнечно-земными связями* называют реакции внешних оболочек Земли на изменения солнечной активности.

Энергетической базой солнечно-земных связей служат *солнечная радиация* и *солнечный ветер*. В количественном отношении поток солнечной радиации мало изменчив, поэтому ее количество является одной из мировых констант. Качественные изменения солнечной радиации, связанные с флуктуациями интенсивности в различных частях спектра, значительны. Они обусловлены появлением и исчезновением *солнечных пятен, факелов, протуберанцев, хромосферных вспышек* и других периодических явлений, называемых *солнечной активностью*.

Как показали наблюдения за количеством солнечных пятен, которые ведутся учеными на протяжении 200 лет, уровень солнечной активности изменяется с периодичностью около 11 лет. График на рис. I. 4 характеризует изменение во времени *показателя солнечной активности* — *числа Вольфа* ( $w$ ). Наряду с 11-летним имеет место слабовыраженный 90-летний цикл солнечной активности. Накладываясь друг на друга, циклы обуславливают непериодическую измен-

чивость солнечной активности, воздействующую на процессы в географической оболочке. Установлена, в частности, корреляция между 11-летним циклом солнечной активности, с одной стороны, и такими явлениями, как землетрясения, колебания уровня озер, урожайности сельскохозяйственных культур, численности насекомых, повторяемости эпидемических заболеваний, смертность населения, с другой стороны. Механизм связей между этими разнородными явлениями еще не изучен, хотя и привлекает

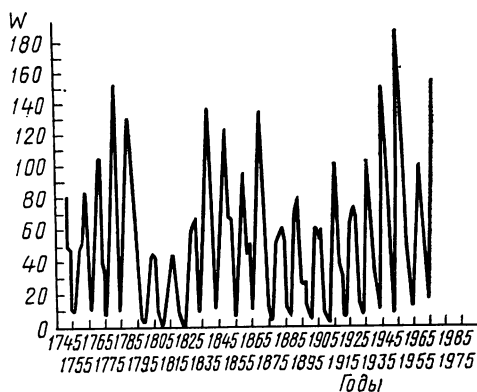


Рис. 1.4. Вариации среднегодовых значений чисел Вольфа с 1749 по 1980 г. (по данным Цюрихской службы Солнца; из кн. Л. И. Мирошниченко, 1981)

все большее внимание. В качестве одного из примеров, характеризующих сложные взаимоотношения между солнечной активностью и географической оболочкой, приведем новые данные о воздействии активных процессов на Солнце (солнечных бурь) на климат Земли. Установлено, что во время солнечных вспышек увеличивается интенсивность потока коротковолнового излучения. Это приводит к увеличению потока заряженных частиц и коротковолновой радиации, проникающих в атмосферу.

В стратосфере происходит взаимодействие указанного потока с молекулами кислорода, которые расщепляются на атомы (ионизируются), а затем в результате фотохимических реакций превращаются в трехатомный кислород — озон. Таким образом, содержание озона в стратосфере увеличивается.

Озон эффективно поглощает коротковолновую радиацию. Повышение содержания озона приводит к тому, что даже при увеличении потока радиации, обусловленного возрастанием солнечной активности, поступление коротковолновой радиации в нижние слои атмосферы может не измениться.

Однако изменение потока коротковолновой радиации и возрастание фильтрующей роли озона приводят к изменениям в стратосфере. Слой озона нагревается задерживаемыми солнечными лучами и увеличивает температуру стратосферы. В ней происходит перераспределение плотности воздуха и давления, что приводит к изменению стратосферной циркуляции. Она, в свою очередь, воздействует на динамику тропосферы — один из важных климатообразующих факторов. Характер циркуляции определяет перенос теплоты и влаги, а следовательно, условия тепло- и влагообмена, влияющие на жизнь растений, продуктивность полей и условия жизни людей. Таков только один из «механизмов» осуществления солнечно-земных связей.

## 1.6. МАГНИТОСФЕРА ЗЕМЛИ

Самой внешней и протяженной оболочкой Земли является *магнитосфера* — область околоземного пространства, физические свойства которой определяются магнитным полем Земли и его взаимодействием с потоками заряженных частиц. Земля постоянно подвергается воздействию корпускулярного излучения Солнца — *солнечного ветра*.

Солнечный ветер распространяется с большой скоростью от солнечной короны. Он состоит из протонов и электронов. При взаимодействии солнечного ветра с магнитным полем Земли образуется *ударная волна* (рис. 1.5), за которой следует переходная область, где магнитное поле солнечной плазмы становится неупорядоченным. Переходная область примыкает к магнитосфере Земли, граница которой — *магнитопауза* — проходит там, где динамическое давление солнечного ветра уравнивается давлением магнитного поля Земли.

Внутри ударной волны находятся *радиационные пояса*, в которых заряженные частицы — электроны и протоны — перемещаются по спиральным траекториям в направлении магнитных силовых линий. Взаимодействуя с верхними слоями атмосферы, эти частицы вызывают *полярные сияния*, *ионизируют атмосферу* и создают *слои ионосферы*. Образование магнитосферы и ионизированных слоев атмосферы — формы взаимодействия планеты с внешним окружением. Эти структурные элементы служат *внешним экраном* географической оболочки, защищающим ее от солнечного ветра.

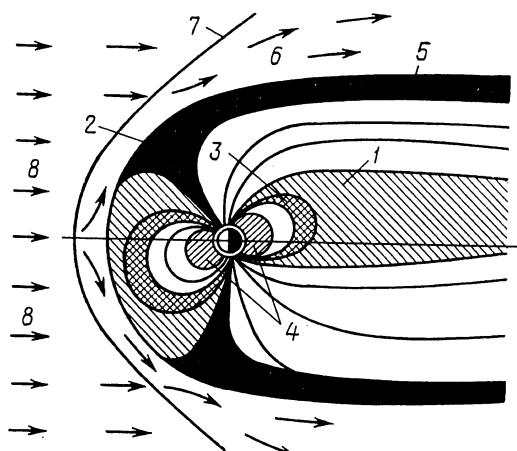


Рис. 1.5. Меридиональное сечение магнитосферы Земли, построенное по данным измерений с помощью спутников (по К. А. Куликову, Н. С. Сидоренкову, 1977):

1 — плазменный слой — «хвост» магнитосферы, 2 — полярная щель, 3 — радиационный пояс, 4 — плазма-сфера, 5 — плазменная мантия, 6 — магнитопауза, 7 — фронт ударной волны, 8 — солнечный ветер

В отсутствие магнитосферы весьма активная в биологическом отношении часть солнечной радиации беспрепятственно проникала бы в атмосферу, частично достигала земной поверхности и вызывала бы процессы, губительные для жизни.

## 1.7. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ

Земля в первом приближении представляет собой *магнитный диполь*. Магнитный диполь — это стержень, концы которого имеют противоположные магнитные полюса. Магнитное поле

Земли в целом подобно магнитному полю такого стержня. Ось диполя на  $11,5^\circ$  отклоняется от оси вращения Земли. Точки пересечения оси диполя с земной поверхностью называют *геомагнитными полюсами*. Геомагнитные полюса не совпадают с географическими. Координаты геомагнитных полюсов на 1970 г. следующие: северного —  $78^\circ 30'$  с. ш.;  $70^\circ$  з. д.; южного —  $78^\circ 30'$  ю. ш.,  $110^\circ$  в. д.

Линия, вдоль которой магнитная стрелка, способная вращаться вокруг горизонтальной оси, занимает горизонтальное положение, называется *магнитным экватором*. На магнитном экваторе наклонение (магнитной стрелки) равно 0. Точки, в которых магнитная стрелка устанавливается вертикально, называются *магнитными полюсами*. Магнитные полюса не совпадают ни с геомагнитными, ни с географическими. Их положение непостоянно. Координаты магнитных полюсов на 1970 г. следующие: северного —  $75^\circ 42'$  с. ш.,  $101^\circ 30'$  з. д.; южного —  $65^\circ 30'$  ю. ш.,  $140^\circ 18'$  в. д.

Положение магнитных полюсов заметно меняется во времени. Между магнитным экватором и магнитными полюсами наклонение меняется в интервале  $0—90^\circ$ . Если внутрь Земли направлен северный конец стрелки — *наклонение положительное*, если южный — *отрицательное*. Положительное наклонение имеет место в северном магнитном полушарии, отрицательное — в южном.

Линии равных наклонений называются *изоклинами*. Если установить магнитную стрелку на вертикальной оси, то мы заметим, что ее положение, как правило, отличается от направления географического меридиана. Плоскость большого круга, в которой находится магнитная стрелка, называется *магнитным меридианом данной точки*. При перемещении по земной поверхности положение стрелки будет изменяться: магнитные меридианы смежных точек различаются, поэтому они не образуют привычной для нас правильной сетки.

Угол между географическим и магнитным меридианами данной точки называется ее *склонением*. Магнитное склонение *положительное* (восточное), если северный конец стрелки отклоняется к востоку от географического меридиана, если к западу — *отрицательное* (западное). Линии одинакового склонения называются *изогонами*.

Магнитное поле характеризуется *напряженностью  $H$* , которая измеряется в амперах на метр (А/м). Напряженность магнитного поля Земли возрастает с широтой. Наряду с закономерным изменением характеристик магнитного поля по земной поверхности имеют место *глобальные* (мировые), *региональные* и *локальные* особенности или аномалии. Они связаны с неоднородностью внутреннего строения Земли. Некоторые аномалии используются в качестве поисковых признаков полезных ископаемых, прежде всего железной руды. Например, в районе Курской магнитной аномалии — одного из крупнейших месторождений железной руды — напряженность магнитного поля в 4 раза выше нормальной.

## 1.8. ДВИЖЕНИЯ ЗЕМЛИ

Земля совершает множество движений одновременно. В географии принято учитывать и анализировать три из них: *орбитальное движение, суточное вращение и движение системы Земля — Луна.*

**Движение Земли вокруг Солнца.** Вокруг Солнца Земля движется по орбите, мало отличающейся от круга. Эксцентриситет земной орбиты  $e=0,017$ , средний радиус орбиты 149,6 млн. км. 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). Большая полуось орбиты Земли, равная 149,6 млн. км, принимается за единицу при измерении расстояний в пределах Солнечной системы.

Скорость движения Земли на орбите тем выше, чем меньше радиус-вектор (расстояние от Земли до Солнца). Средняя орбитальная скорость Земли 29,765 км/с. В перигелии Земля бывает в начале января. Следовательно, в это время движение по орбите происходит быстрее, поэтому зимнее полугодие в северном полушарии короче, чем в южном.

Под действием притяжения других планет положение плоскости земной орбиты, а также ее форма медленно изменяются на протяжении миллионов лет: наклон эклиптики — от 0 до 2,9°, а эксцентриситет — от 0 до 0,067.

Земная ось наклонена по отношению к плоскости орбиты. Она образует с нею угол, равный  $66^{\circ}33'$ . В процессе движения ось перемещается поступательно, поэтому на орбите возникают 4 характерные точки. В дни равноденствий радиус-вектор находится в плоскости экватора, а светораздельная линия делит все параллели пополам. Благодаря этому солнечные лучи на экваторе в полдень падают отвесно и на всем земном шаре день равен ночи (на полюсах происходит смена дня и ночи). Различают *весеннее и осеннее равноденствия*. В дни *солнцестояний* плоскость экватора находится по отношению к солнечному лучу (и радиусу-вектору орбиты) под углом  $23^{\circ}27'$ . Солнце в этот момент находится в зените над одним из тропиков. Различают *летнее и зимнее солнцестояния*.

С наклоном земной оси к плоскости орбиты связано наличие таких характерных параллелей, как тропики и полярные круги. *Полярный круг* — параллель, широта которой равна углу наклона земной оси к плоскости орбиты. *Тропик* — параллель, широта которой есть угол, дополняющий угол наклона земной оси до прямого. Полярные круги являются границами распространения полярного дня и полярной ночи. В полярный день (ночь) Солнце в течение суток или более не заходит (не восходит). Продолжительность полярного дня (ночи) закономерно возрастает с широтой места от 1 сут (полярный круг) до полугода (полюс). Тропики являются границами зенитального положения Солнца в полдень. На тропиках

Солнце бывает в зените один раз, в пространстве между ними — два раза в году.

Установлено, что угол наклона земной оси к плоскости орбиты меняется с периодом около 40 тыс. лет. Это важный географический фактор. От угла наклона оси зависит *контрастность сезонов года* (в особенности в умеренных широтах): чем меньше этот угол, тем в больших пределах меняется в течение года угол падения солнечных лучей. Кроме того, указанный угол определяет, как было показано выше, *положение полярных кругов и тропиков*. Чем он больше, тем ближе между собой эти параллели и тем больше пространство, которое отделено ими в приполярном (полярные круги) и приэкваториальном (тропики) поясах. С увеличением угла наклона изменчивость угла падения солнечных лучей уменьшается, уменьшается и выраженность сезонов года. Таким образом астрономический фактор, преломляясь через фактор радиационный, воздействует на природу земной поверхности, обуславливая сезонный ритм ее изменения.

**Вращение Земли.** Суточное вращение Земли происходит вокруг оси, которая в силу гироскопического эффекта стремится сохранять постоянное положение в пространстве. Вращение Земли происходит равномерно. Отрезок времени между двумя последовательными прохождениями плоскости меридиана данной точки через центр Солнца называют *солнечными сутками*. Вращение Земли происходит против часовой стрелки, если смотреть с северного полюса.

Географические следствия суточного вращения Земли следующие:

1. *Смена дня и ночи*, т. е. изменение в течение суток положения Солнца относительно плоскости горизонта данной точки. С этим изменением связаны *суточный ритм солнечной радиации*, интенсивность которой зависит от угла наклона земной оси, *ритмы нагревания и охлаждения, местной циркуляции воздуха, жизнедеятельности живых организмов*.

2. Ось вращения, полюсы и экватор являются основой *географической системы координат*. Экватор служит *плоскостью симметрии*, относительно которой размещаются пояса освещения, меняется величина солнечной радиации и другие важные параметры. От полушария (северного или южного) зависит направление силы Кориолиса, а от широты — ее величина; полюсы не участвуют в суточном вращении.

3. Деформация фигуры Земли — *сплюснутость с полюсов (полярное сжатие)*; она связана с возрастанием центробежной силы от полюсов к экватору.

4. Существование *силы Кориолиса (геострофической, или поворотной силы)*<sup>1</sup>:

$$F = 2m v \omega \cdot \sin \varphi,$$

---

<sup>1</sup> Названа по имени Г. Кориолиса (1792—1843) — французского ученого-механика, которому принадлежит определение силы.

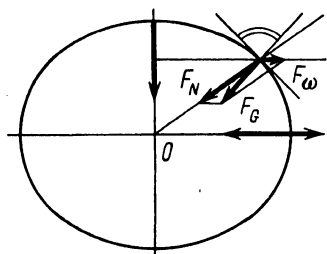


Рис. 1.6. Сила тяжести  $F_G$  — равнодействующая сил тяготения  $F_N$  и центробежной  $F_\omega$

где  $m$  — масса,  $v$  — скорость движущегося тела,  $\omega$  — угловая скорость вращения Земли,  $\varphi$  — широта данной точки. Сила Кориолиса действует только на движущиеся тела, пропорциональна их массе и скорости движения и зависит от широты, на которой расположена точка. Чем больше угловая скорость, тем больше сила Кориолиса (т. е. с удлинением суток за счет действия приливного трения сила Кориолиса уменьшается). Последний фактор существен только в вековом аспекте: для небольших отрезков

времени угловая скорость принимается постоянной.

5. Суперпозиция центробежной силы и силы тяготения на Земле дает *силу тяжести*. Сила тяжести — это векторная разность между силой тяготения и центробежной (рис. 1.6). Центробежная сила растет от 0 на полюсах до максимального значения на экваторе. В соответствии с уменьшением центробежной силы от экватора к полюсу сила тяжести растет в том же направлении и достигает максимума на полюсе (равна силе тяготения).

Деформация фигуры Земли, обусловленная различиями силы тяжести, еще в большей мере подчеркивает увеличение центробежной силы (уменьшение силы тяжести) к экватору и, таким образом, еще более способствует сплюснутости Земли с полюсов.

Ось вращения Земли медленно описывает относительно некоторого направления — оси эклиптики — конус с углом около  $23,5^\circ$ . Это движение называется *прецессией*. Вследствие прецессии происходит смещение точки весеннего равноденствия навстречу орбитальному движению Солнца — так называемое *предварение равноденствия* (примерно на 20 мин в год). За 26 тыс. лет осуществляется один цикл этого движения. Он создает еще один циклический процесс, придающий изменениям в природе крупномасштабную периодичность.

**Гравитационное взаимодействие Земли с Луной и Солнцем.** Естественный спутник Земли Луна обращается вокруг Земли по эллиптической орбите со средним радиусом 384 400 км (т. е. несколько большим, чем 60 земных радиусов — сокращенно  $60 R$ ). Система Земля — Луна, которую мы будем рассматривать, имеет *общий центр масс*, удаленный от центра Земли на  $\frac{3}{4}$  ее радиуса. Оба небесных тела перемещаются относительно центра масс таким образом, что любая точка одного небесного тела описывает одинаковую орбиту. Следовательно, в каждой такой точке возникает одинаковая центробежная сила, не зависящая от широты места (в отличие от суточного вращения).

На каждую точку Земли действует кроме центробежной сила тяготения, направленная к Луне. Она зависит от расстояния до возмущающей массы. Если от центра массы Луны до центра массы Земли расстояние равно  $60 R$ , то до ближайшей к Луне точки оно

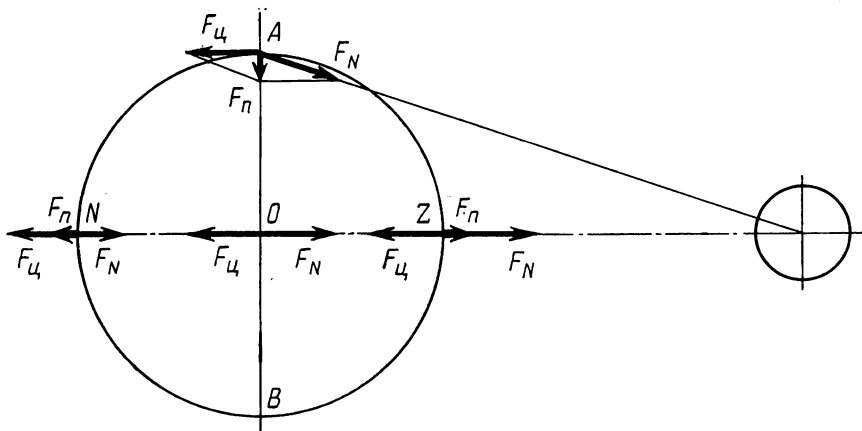


Рис. 1.7. Образование приливообразующей силы под воздействием Луны (пояснения в тексте)

составляет только  $59 R$ , а до самой дальней —  $61 R$ . По закону всемирного тяготения величина силы тяготения обратно пропорциональна квадрату расстояния между центрами масс. Следовательно, в точке  $Z$  (рис. 1.7) сила тяготения больше, чем в точке  $O$ , а в точке  $N$  — меньше, чем в любой из точек тела Земли. Величины сил показаны векторами.

Как уже отмечалось, центробежная сила в любой точке одинакова, так как каждая точка описывает одинаковую орбиту. В центре массы Земли имеет место равенство сил тяготения и центробежной. В точках  $Z$  и  $N$  равенства нет: в точке  $Z$  сила тяготения больше центробежной, а в точке  $N$  — больше центробежная сила. Это приводит к образованию *приливных деформаций* — выпуклостей, или стоячих волн.

Вследствие вращения Земли приливные выступы образуются в каждый следующий момент уже в новых местах земной поверхности, поэтому за промежуток времени между двумя последовательными верхними (или нижними) кульминациями Луны приливные выступы обойдут вокруг всего земного шара и за это время в каждом месте произойдет два прилива и два отлива.

Аналогичное взаимодействие происходит между Землей и Солнцем (а также другими небесными телами, но оно незначительное). Масса Солнца несопоставимо велика по сравнению с массой Луны. В то же время расстояние от Земли до Солнца также значительно больше, чем до Луны, поэтому величина солнечного прилива примерно в 2,2 раза меньше, чем лунного. Так как взаимное положение Земли, Луны и Солнца постоянно меняется, то изменяются и величины солнечных и лунных приливов. Солнечные приливы изменяют величину лунных приливов. Если приливные волны лунного и солнечного происхождения суммируются, прилив называется *сизигийным*, если вычитаются — *квадратурным*.



Приливные выступы — стоячие волны — стремятся сохранить по отношению к возмущающим телам одно и то же положение. В результате притормаживается суточное вращение Земли. Средняя величина такого торможения (изменение длительности суток) ничтожно мала, около  $1/40\,000$  с/год. Однако за длительные промежутки времени (в геологическом масштабе) это приводит к заметным последствиям: удлинению суток, уменьшению полярной сплюснутости Земли, уменьшению силы Кориолиса. Некоторые ученые пытаются объяснить торможением суточного вращения Земли различные тектонические и географические процессы.

В заключение заметим, что приливные явления происходят не только в гидросфере, но и в других оболочках Земли. Высота приливной волны в литосфере в средних широтах может достигать 0,4 м. Вертикальные движения, вызванные приливной волной, приводят к выделению тепловой энергии, обусловленной внутренним трением вязкого вещества Земли.

### 1.9. ФИГУРА ЗЕМЛИ

*Фигура Земли* — понятие модельное. Это некоторая идеализация, модель, с помощью которой стремятся описать форму планеты. В зависимости от цели описания пользуются различными моделями формы планеты — различными фигурами. Мы расположим известные модели формы Земли в ряд от наиболее общей ко все более детализированным, считая их последовательными приближениями к истинной форме.

*Первое приближение — сфера.* Это наиболее грубая и наиболее общая модель формы планеты. В задачах общего землеведения довольно часто удается обойтись этой моделью. Сплюснутость Земли с полюсов не играет для географа существенной роли. Однако Земля, как уже отмечалось, имеет одну ось вращения и экваториальную плоскость — плоскость симметрии (а также плоскости симметрии меридианов). Сфера не имеет выраженной единственной оси симметрии — все ее оси равноправны, их бесчисленное множество, так же как и экваторов. Это несоответствие сферической модели Земли ее реальной форме ощутимо проявляется при изучении горизонтальной структуры географической оболочки, характеризующейся выраженной поясностью и известной симметрией относительно экватора (с элементами дисимметрии, см. гл. II).

*Второе приближение — эллипсоид вращения.* Тип симметрии эллипсоида отвечает указанным выше особенностям формы Земли (выраженная ось, экваториальная плоскость симметрии, меридиональные плоскости). Эта модель используется в высшей геодезии для расчета координат, построения картографических сеток, других вычислений. Разность полуосей эллипсоида вращения составляет 21 км. Большая полуось равна 6378,160 км, малая — 6356,777 км; эксцентриситет —  $1/298,25$ . Положение поверхности эллипсоида вращения легко вычисляется, но не определяется с помощью физического эксперимента.

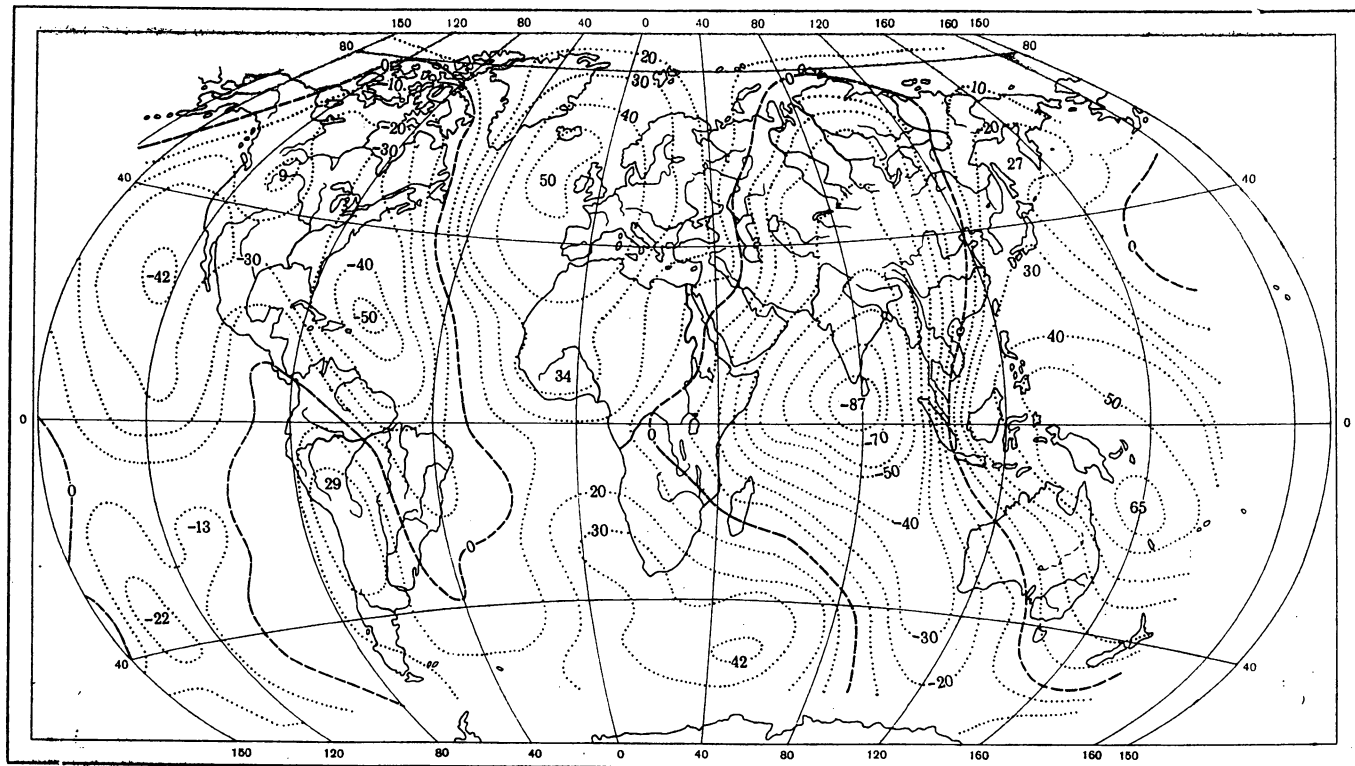


Рис. 1.8. Карта геоида по спутниковым данным. Изолинии отклонения (м) геоида от эллипсоида вращения (по М. М. Ермолаеву, 1975)

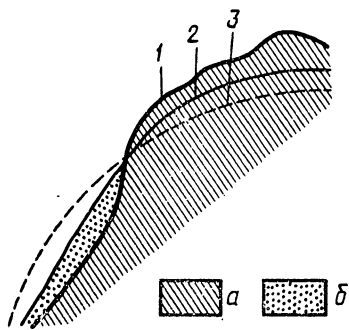


Рис. 1.9. Соотношение положений поверхностей литосферы 1, геоида 2 и эллипсоида вращения 3. Вертикальный масштаб сильно увеличен:

а — литосфера, б — океан

*Третье приближение — трехосный эллипсоид.* Установлено, что экваториальное сечение Земли также эллипс, разность полуосей которого всего около 200 м, а эксцентриситет  $1/30\ 000$ . Наличие экваториального сжатия свидетельствует о сложном внутреннем строении планеты, проявляющемся в несимметричном распределении масс. В географических исследованиях эта модель почти не используется.

*Четвертое приближение — геоид.* Буквально слово «геоид» означает землеподобный. Это название крайне неудачно, так как провоцирует к отождествлению истинной формы Земли и этой фигуры, что неверно.

Геоид — это уровенная (или изопотенциальная) поверхность, совпадающая со средним уровнем Мирового океана и являющаяся геометрическим местом точек пространства, имеющих одинаковый потенциал силы тяжести. Это означает, что на такой поверхности невозможно самопроизвольное горизонтальное перемещение массы (качение, сползание), т. е. она горизонтальна в обиходном понимании. На самом деле, такая поверхность имеет сложную неправильную форму (т. е. не является плоскостью, как нам могло бы показаться при наблюдении, в опыте). Уровенная поверхность в любой точке перпендикулярна отвесу. По закону сообщающихся сосудов жидкость в двух сосудах устанавливается на одной и той же уровенной поверхности. Благодаря таким свойствам уровенных поверхностей можно проследить их положение (в том числе и геоида) с помощью простых средств: отвеса, уровня, нивелира и других геодезических приборов. В этом практическое значение и важность этой модели фигуры Земли.

На рис. 1.8 приведена поверхность геоида, построенная относительно эллипсоида вращения. Изолинии характеризуют участки поверхности геоида, находящиеся выше (знак плюс) и ниже (знак минус) поверхности эллипсоида. Видны валообразные меридиональные поднятия и опускания геоида. На рис. 1.9 показано соотношение между реальной поверхностью Земли и поверхностями эллипсоида и геоида.

**Вопросы и задания для самостоятельной работы**

1. С какими небесными телами гравитационно взаимодействует Земля?
2. Между какими небесными телами наблюдается преимущественно одностороннее воздействие, а между какими — взаимодействие?
3. Какое значение имеют для формирования диалектико-материалистического мировоззрения утверждения о нестационарности Вселенной?
4. Дайте анализ табл. 1.1. Какая из планет могла бы служить моделью Зем-

ли? Какие сходство и различия между условиями на поверхности этой планеты и Земли вам известны?

5. Чем объясняются различия в плотности вещества планет земной группы и планет-гигантов?

6. Почему в гравитационном поле вещество дифференцируется по плотности? Какое воздействие это явление оказало на форму Земли?

7. Как изменились бы условия на земной поверхности, если бы орбита Земли была более эллиптической?

8. Известно, что в начале геологической истории Земли сутки были короче, т. е. скорость суточного вращения была больше, чем теперь. Как это отражалось на условиях и процессах в географической оболочке?

9. Почему магнитосфера всегда обращена хвостом в сторону, противоположную направлению на Солнце?

10. Какое значение имеет магнитосфера для географической оболочки?

11. Сколько полюсов у Земли?

12. Пользуясь картами изоклин и изогон, проследите положение магнитного экватора, а также магнитного меридиана, проходящего через ваш город.

13. По карте напряженности магнитного поля выделите мировые аномалии.

14. В каком случае на Земле исчезли бы полярные круги и тропики?

15. Могут ли полярные круги и тропики совместиться, в каком случае? Как изменятся при этом природные условия на земной поверхности?

16. Как изменится природа земной поверхности, если уменьшится скорость вращения Земли (необходимо учесть изменение силы Кориолиса, изменение фигуры Земли, перераспределение суши и моря, изменение структуры течений и циркуляции атмосферы, климатические изменения)?

17. Считают, что на ранних стадиях развития Солнечной системы Луна была значительно ближе к Земле, чем сейчас. Как это должно было сказаться на термодинамических условиях на земной поверхности?

## Глава II

# ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ОБОЛОЧКА, ЕЕ СОСТАВ И СТРУКТУРА

## II.1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ

*Географическая оболочка* — наиболее сложная и разнообразная (контрастная) часть Земли. Ее специфические особенности сформировались в ходе длительного взаимодействия природных тел в условиях земной поверхности.

Одна из характерных особенностей оболочки — *большое разнообразие вещественного состава*, значительно превышающее разнообразие вещества как недр Земли, так и верхних (внешних) геосфер (ионосферы, экзосферы, магнитосферы). В географической оболочке вещество встречается в трех агрегатных состояниях, обладает широким диапазоном физических характеристик — плотности, теплопроводности, теплоемкости, вязкости, раздробленности, отражательной способности и др. Поражает большое разнообразие химического состава и активности вещества.

Вещественные образования географической оболочки неоднородны по структуре. Выделяют *косное*, или неорганическое, вещество, *живое* (сами организмы), *биокосное* вещество. Каждый названный тип вещества включает сотни и тысячи видов, а число видов живых организмов составляет от 1,5 до 2 млн. (по разным оценкам).

Другая особенность географической оболочки — *большое разнообразие поступающих в нее видов энергии и форм ее преобразова-*

ния. Среди многочисленных трансформаций энергии особое место занимают процессы ее накопления (например, в виде органического вещества).

Неравномерное распределение энергии на земной поверхности, вызванное шарообразностью Земли, сложным распределением суши и океана, ледников, снегов, рельефа земной поверхности, и разнообразие типов вещества определяют *неравновесность* географической оболочки, что служит основой для возникновения разнообразных движений: потоков энергии, циркуляции воздуха, воды, почвенных растворов, миграции химических элементов, химических реакций и т. д. Движения вещества и энергии связывают все части географической оболочки, обуславливая ее *целостность*.

В ходе развития географической оболочки как материальной системы происходило *усложнение ее структуры, увеличение разнообразия вещественного состава и энергетических градиентов*. На определенном этапе развития оболочки появилась жизнь — наиболее высокая форма движения материи. *Возникновение жизни — закономерный результат эволюции географической оболочки*. Деятельность живых организмов привела к качественному изменению природы земной поверхности.

Существенное значение для возникновения и развития географической оболочки имеет совокупность планетарных факторов: масса Земли, расстояние до Солнца, скорость вращения вокруг оси и по орбите, наличие магнитосферы (см. гл. I), обеспечивших определенную термодинамическую обстановку, достаточно благоприятную для осуществления разнообразных природных взаимодействий — основы географических процессов и явлений. Изучение ближайших космических объектов — планет Солнечной системы — показало, что *только на Земле сложились условия, благоприятные для возникновения достаточно сложной материальной системы*.

В ходе развития географической оболочки возрастала ее роль как фактора собственного развития (саморазвития). Большое самостоятельное значение имеют состав и масса атмосферы, океана и ледников, соотношение и размеры площадей суши, океана, ледников и снегов, распределение суши и моря по земной поверхности, положение и конфигурация форм рельефа различного масштаба, различных типов природной среды и т. д.

На достаточно высоком уровне развития географической оболочки, ее дифференциации и интеграции возникли сложные системы — *природные территориальные и аквальные комплексы*.

В заключение перечислим некоторые важнейшие *параметры географической оболочки* и ее крупных структурных элементов.

Площадь земной поверхности 510,2 млн. км<sup>2</sup>. Океан занимает 361,1 млн. км<sup>2</sup> (70,8 %), суша — 149,1 млн. км<sup>2</sup> (29,2 %). Выделяют шесть крупных массивов суши — *материков, или континентов: Евразию, Африку, Северную Америку, Южную Америку, Антарктиду и Австралию*, а также многочисленные острова (табл. II. 1).

Средняя высота суши 870 м, средняя глубина океана 3704 м. Океаническое пространство обычно подразделяют на четыре океа-

Таблица II.1. Морфометрические характеристики материков с островами (по БСЭ, т. 9, с. 476)

Название материка	Площадь, млн. км <sup>2</sup>	Средняя высота, м	Наибольшая высота, м
Евразия	53,45	840	8848
Африка	30,30	750	5895
Северная Америка	24,25	720	6194
Южная Америка	18,28	590	6960
Антарктида	13,97	2040 *	5140
Австралия (с Океанией)	8,89	340	2230

\* Дана высота ледовой поверхности Антарктиды.

Таблица II.2. Морфометрические характеристики океанов (по БСЭ, т. 9, с. 476)

Название океана	Поверхность зеркала, млн. км <sup>2</sup>	Глубина, м	
		средняя	наибольшая
Тихий	179,68	3984	11 022
Атлантический	93,36	3926	8 428
Индийский	74,92	3897	7 130
Северный Ледовитый	13,10	1205	5 449

на: *Тихий, Атлантический, Индийский и Северный Ледовитый* (табл. II.2).

Существует мнение о целесообразности выделения приантарктических вод Тихого, Индийского и Атлантического океанов в особый *Южный океан*, так как этот регион отличается особым динамическим и термическим режимом.

Распределение материков и океанов по полушариям и широтам неравномерно, что служит объектом специального анализа.

Для природных процессов важное значение имеет *масса объектов*. Массу географической оболочки точно определить невозможно вследствие неопределенности ее границ. Ниже дается сравнение масс (кг) отдельных геосфер, Земли и географической оболочки (по К. К. Маркову и др., 1978).

<i>Земля</i>	<i>Литосфера</i>	<i>Кора выветривания</i>	<i>Гидросфера</i>	<i>Атмосфера</i>	<i>Живое вещество</i>	<i>Географическая оболочка</i>
$5,975 \cdot 10^{24}$	$3 \cdot 10^{22}$	$1,8 \cdot 10^{21}$	$1,4 \cdot 10^{21}$	$5,15 \cdot 10^{18}$	$6,4 \cdot 10^{15}$	$3,2 \cdot 10^{21}$

## II.2. ВЕЩЕСТВО ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ

Химический состав отдельных частей географической оболочки очень разнообразен. Это особенно хорошо видно на фоне однообразного состава вещества известной нам части Вселенной, где 93 % всех атомов составляют атомы водорода. (На Земле водорода и гелия (второго по распространению во Вселенной элемента) сравни-

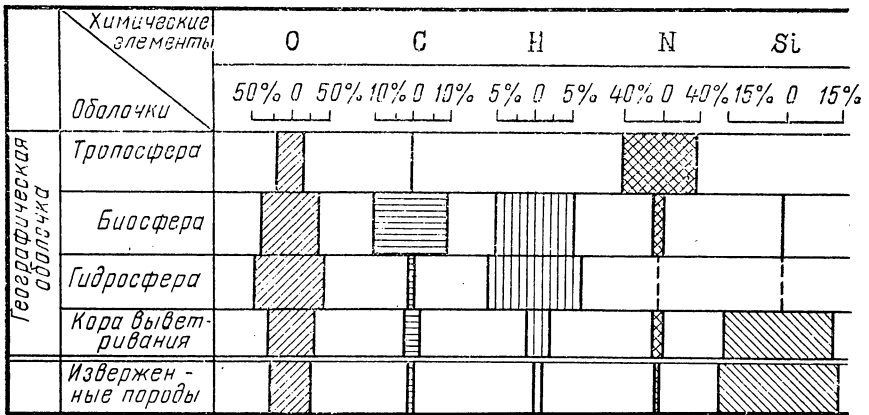


Рис. II.1. Содержание основных химических элементов в геосферах и изверженных породах (по К. К. Маркову и др., 1973)

тельно мало. Преобладают кислород, железо, кремний, алюминий, магний, кальций, натрий, углерод, калий (рис. II.1).

Сложный химический состав вещества географической оболочки — следствие ее длительного развития. Главные значение имели условия образования Солнечной системы и Земли, гравитационная и физико-химическая дифференциация первоначально гомогенного вещества мантии, из которого образовались внешние геосферы, и длительная эволюция географической оболочки, в ходе которой на поверхности Земли происходило накопление отдельных химических веществ и элементов. В результате вещественный состав оболочки достиг той сложности, которую мы наблюдаем на земной поверхности.

**Физические свойства вещества.** Для процессов, происходящих в географической оболочке, большое значение имеют *физические свойства вещества*: плотность, текучесть, теплоемкость, теплопроводность, отражательная способность и др. *Плотность вещества* в оболочке убывает в среднем снизу вверх, что обусловлено его гравитационной дифференциацией. Горные породы имеют плотность  $2 \cdot 10^3$ — $3 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, живое вещество и вода — около  $10^3$ , воздух в нижних слоях —  $1,275$  кг/м<sup>3</sup>. В атмосфере плотность убывает с высотой по логарифмическому закону. Уменьшение плотности воздуха с высотой приводит к возникновению адиабатических процессов, при которых перемещение воздуха по вертикали в гравитационном поле Земли обуславливает нагревание воздушных масс (при перемещении вниз) и охлаждение их (при перемещении вверх) без притока или оттока тепла. Адиабатические процессы служат причиной возникновения разнообразных циркуляционных эффектов, например появления устойчивой и неустойчивой стратификации (расслоения) атмосферы при определенном вертикальном изменении температуры.

В океане в связи с несжимаемостью воды изменение плотности с глубиной за счет сжатия практически не выражено. Плотность

океанской воды более зависит от температуры и солености, которые и определяют гравитационное перемешивание вод (наряду с ветровым).

Другая важная характеристика вещества — *степень раздробленности*. Для глубинных горных пород характерна массивность, т. е. малое значение отношения площади поверхности к объему породы. Чем ближе к земной поверхности, тем в более раздробленном состоянии находится твердое вещество. В поверхностном слое земной коры (коре выветривания, почве, осадках на дне океана и водоемов суши) значительная часть вещества находится в тонкодисперсном состоянии, образует коллоиды (частицы размером от  $10^{-7}$  до  $10^{-5}$  см). Их особенно много в почвах, где характерны коллоидные системы — гели. Чем выше раздробленность пород, тем больше общая площадь их поверхности и, следовательно, выше химическая активность, а также влагоемкость пород. Изменяются и другие свойства пород с увеличением их раздробленности.

Большую роль в процессах, происходящих в географической оболочке, играет *текучесть вещества*, т. е. способность его частиц перемещаться относительно друг друга. Особенно большой текучестью обладают воздух и вода. Благодаря этому они производят значительную разрушительную работу (эрозия, абразия, дефляция) на земной поверхности. Кроме того, текучесть воды и воздуха служит необходимым условием возникновения турбулентных движений в этих средах. *Турбулентным* называют движение, при котором элементы подвижной среды (газ, жидкость) совершают неупорядоченные хаотические перемещения по сложным траекториям. Однако, несмотря на хаотичность движения отдельных элементов (отдельных частиц воздуха и воды, отдельных вихрей), в совокупности образуется направленный поток.

Движения в атмосфере и океане всегда турбулентны. Турбулентные потоки осуществляют перенос тепла, влаги, минеральных частиц, органического вещества в виде спор, бактерий, семян растений. Перенос тепла турбулентным путем в сотни тысяч раз эффективнее молекулярного переноса. Таким образом, океан и особенно атмосфера благодаря своей текучести являются средами, в которых наиболее интенсивно происходит перемещение вещества и энергии.

Текучестью обладают не только воздух и вода, но и вещество астеносферы, горные породы, лед и др. Вещество астеносферы иногда образно называют «жидким» твердым веществом. Предполагают, что на кратковременные нагрузки оно реагирует как твердое вещество, но при длительных нагрузках начинает вести себя как жидкое вещество, подчиняясь гидростатическим законам. Считают, что литосферные плиты как бы плавают на веществе астеносферы, перемещаясь за сотни миллионов лет на тысячи километров (см. гл. III).

В повседневной жизни мы также встречаем вещества, имеющие двойственный характер: лед, вар и др. Резкий удар вызывает раскалывание кусков льда или вара. Но одновременно они текут под влиянием собственной силы тяжести. Хорошим примером может



служить ледяной покров Антарктиды. Лед образуется в Антарктиде в результате самоуплотнения снега, выпадающего на поверхность материка. Это так называемый *фирновый лед*. Рек в Антарктиде нет. Между тем высота материка остается практически постоянной. Лед медленно течет к краям материка. Там глыбы льда откалываются и начинают «путешествовать» по океанам в виде айсбергов. Между приходом влаги (в виде снега) и расходом (в виде ледяных глыб) существует подвижное равновесие.

Вещество земной коры также в определенной степени обладает свойством текучести. Вспомним складки пластов горных пород. Они смялись (часто без разрывных нарушений) под длительным воздействием горизонтального и вертикального давлений. Подтверждением наличия свойств текучести у земного вещества в целом является тот факт, что под действием центробежных сил, вызываемых вращением вокруг оси, Земля приобрела полярное сжатие. Интересно, что фактическое сжатие Земли несколько больше сжатия фигуры равновесия жидкости, соответствующей современной скорости осевого вращения Земли. Это объясняется тем, что вещество Земли течет как жидкость с очень большой вязкостью и не успевает приспособиться к вековому замедлению вращения планеты из-за приливного трения. Поэтому современная фигура Земли соответствует фигуре равновесия при скорости вращения, наблюдавшейся 10 млн. лет назад.

В процессах теплообмена большую роль играет такая физическая характеристика, как *отражательная способность* — *альbedo* различных поверхностей. Альbedo — отношение отраженной радиации к поступившей на поверхность объекта. Выражается в процентах или долях единицы. Свежий снег отражает до 95 % приходящей солнечной радиации, лес — от 10 до 25, посевы зерновых культур — 20—30 %. Альbedo воды невелико: при зенитальном положении Солнца поверхность глубоких водоемов отражает всего 5 % радиации. Таким образом, благодаря альbedo создаются большие климатические различия.

Физико-географическое значение имеют и такие физические свойства вещества, как *теплоемкость* и *поверхностное натяжение жидкостей*. Таким образом, наличие в географической оболочке веществ, обладающих различными физическими свойствами, является одним из условий возникновения физико-географической дифференциации.

**Свойства воды.** Среди различных типов вещества на земной поверхности особое место занимает вода. Вода стоит особняком в истории нашей планеты. Нет природного тела, которое могло бы сравниться с ней по влиянию на ход основных, самых грандиозных, геологических процессов — считал В. И. Вернадский. Вода — одна из великих стихий природы, волновавших человека с глубокой древности. Фалес Милетский, один из величайших мыслителей древности, считал воду первоисточником всего сущего.

Большая роль воды в природных процессах определяется ее замечательными свойствами. Вода — единственное из широко распро-

страненных природных соединений, находящееся в земных условиях в трех агрегатных состояниях: жидком, твердом и газообразном. Это определяет большое разнообразие ее взаимодействий с другими веществами. Активность взаимодействия с другими веществами связана и с ее сильной растворяющей способностью. В результате в природе нет чистой воды. Даже в лаборатории получить идеально чистую воду исключительно трудно.

Вода очень подвижна. Она перемещается под действием силы тяжести, капиллярных сил, осмотических сил (проникает через стенки органических клеток). Благодаря своей сложной структуре она обладает многими аномальными свойствами. Температура ее таяния  $0^{\circ}$ , а кипения  $100^{\circ}$ , хотя, как и оксид водорода, она должна была бы превращаться в пар уже при  $-80^{\circ}\text{C}$ . Велика теплоемкость воды. Она характеризуется также высокими величинами скрытой теплоты испарения и таяния. Для превращения 1 г воды в пар требуется примерно  $2,5 \cdot 10^3$  Дж, для превращения 1 г льда в воду — около  $0,33 \cdot 10^3$  Дж. Соответственно при конденсации водяного пара и при замерзании воды выделяется такое же количество энергии. Таким образом, фазовые переходы воды сопровождаются большим поглощением и выделением тепла, что оказывает громадное влияние на процессы в географической оболочке.

**Свойства вещества физико-географических объектов.** В условиях земной поверхности различные типы вещества приобретают новые свойства, отличные от тех, которыми они обладают в лабораторных условиях в «чистом» виде. Новые свойства приобретаются по следующим причинам: в связи с ростом размеров (массы и объема) объектов, в связи с взаимодействием объектов, а также с включением в состав любого вещества в природных условиях примесей. Приобретение новых качеств за счет названных факторов можно продемонстрировать на примере усложнения уровней структуры «водных» объектов: молекулы  $\text{H}_2\text{O}$  (химическое соединение) — ансамбли молекул воды (вещество вода) — природные воды (морская вода, воды суши и др.) — водные массы — Мировой океан<sup>1</sup>.

Географы начинают анализ названных объектов с третьего уровня, поскольку второй уровень ими принимается как исходный. Именно с природными водами мы встречаемся в реальной природной обстановке.

Природные воды приобретают по сравнению с предыдущим уровнем новые качества благодаря растворенным в них соединениям. Температура наибольшей плотности воды растет с увеличением солёности. При солёности  $24,695\text{‰}$  (т. е.  $24,695\text{ г/кг}$ ) и ниже температура наибольшей плотности выше температуры замерзания. Соответственно у пресных вод наибольшая плотность наблюдается при температуре  $4^{\circ}\text{C}$ ; вода в твердом виде (лед) легче, чем вода при  $4^{\circ}\text{C}$ , поэтому пресные водоемы не промерзают зимой до дна:

---

<sup>1</sup> См.: Лебедев В. Л., Айзатуллин Т. А., Хайлов К. М. Океан как динамическая система. Л., 1974; Круть И. В. Введение в общую теорию Земли. М., 1978.

охлажденные поверхностные воды не могут опуститься в более плотные, хотя и более теплые воды.

Соленость морских вод большей частью выше 24,695 ‰. При такой солености температура наибольшей плотности ниже температуры замерзания. Поэтому в океане охлаждающаяся с поверхности вода при достижении определенной температуры становится тяжелее нижележащих вод и начинает опускаться. Этот процесс находится в основе термической конвекции в океане. Благодаря ему в океане идет снабжение глубин кислородом, а в верхние слои поступают питательные вещества из придонных слоев.

Водные массы, т. е. сравнительно большие объемы воды, обладающие относительной однородностью физико-географических характеристик, приобретают новые качества. Каждая водная масса взаимодействует с другими, а также с воздушными массами. В их пределах уже проявляется действие отклоняющей силы вращения Земли, возникают вихревые системы. Благодаря движению такие свойства воды, как теплоемкость и теплопроводность, отличаются от теплоемкости и теплопроводности просто «воды»: объемная теплоемкость последней всего лишь в два раза больше, чем у горных пород (т. е. вещества суши), но реальная теплоемкость океанов примерно в двадцать раз больше теплоемкости суши. Это связано с тем, что благодаря вертикальному перемешиванию усвоение тепла в океане идет значительно эффективнее, чем на суше (см. III.2.1).

Новые качества (по сравнению с отдельными водными массами) приобретает в целом Мировой океан. Для него характерно высокое постоянство уровня воды и солевого состава. Только в масштабах такой сложной системы, как океан, в целом возможно регулирование этих характеристик. Любая водная масса в отдельности (тем более отдельные порции воды) не в состоянии осуществлять эффективную регуляцию своих параметров. Мы наблюдаем их относительное постоянство в каждой точке, в том числе и в пределах водных масс, лишь потому, что они объединены в систему Мирового океана.

Аналогичное изменение качеств можно наблюдать и при переходе от молекул воздуха к воздушным массам, а от них к атмосфере, а также при переходе от одного уровня к другому в литосфере.

Таким образом, с ростом размеров и сложности объектов в географической оболочке наряду с чисто «вещественными» характеристиками все большее значение приобретает их структура.

### **III.3. СОСТАВНЫЕ ЧАСТИ И СТРУКТУРНЫЕ УРОВНИ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ**

Выше было установлено, что свойства любого организованного объекта определяются не только составляющим его веществом, но и структурой, т. е. совокупностью частей, характером их взаимосвязей и взаимодействий внутри объекта.

В условиях географической оболочки можно говорить о нескольких структурных уровнях, изучаемых общим землеведением. Прос-

тейший структурный уровень — *геокомпонентный*. *Геокомпоненты* — это совокупности относительно однородных природных вещественных образований на земной поверхности. Различают главные компоненты (горные породы, воздух, вода, растения, животные) и производные (почва, лед, мерзлые грунты). В рассмотренном выше примере усложнения структуры вод геокомпонентному уровню соответствуют природные воды.

Компоненты различаются *по уровню организации вещества, химическому составу и физическим свойствам*. В географической оболочке представлены три уровня организации вещества: *косное* (неживое), *живое* и *биокосное* (сочетание живого и неживого). К последнему уровню относятся почва, природные воды, а также географическая оболочка в целом. Другие уровни вещества вряд ли нуждаются в пояснении.

Отдельные части Земли, занятые преимущественно одним определенным компонентом, выделяются под названием *геосфер*. Они образуют концентрические, вложенные друг в друга сферы. Четыре геосферы полностью или частично входят в состав географической оболочки. Литосфера, атмосфера и гидросфера образуют практически непрерывные оболочки. Биосфера, понимаемая как совокупность живых организмов, не занимает самостоятельное пространство, а входит в выше названные сферы, располагается тонким слоем преимущественно в зоне их контакта. В пределах этих геосфер выделяются *подчиненные* (второго порядка) *геосферы*, которые не образуют непрерывного слоя: криосфера (сфера холода), почва (педосфера) и др.

Из основных геосфер только гидросфера полностью принадлежит географической оболочке. Верхние слои атмосферы и большая часть литосферы большинством ученых не включаются в географическую оболочку на том основании, что они не испытывают существенного влияния процессов, происходящих на земной поверхности, а сами воздействуют на эти процессы только опосредованно — в качестве внешней среды. Поэтому указанные части атмосферы и литосферы географией специально не изучаются (вопрос о границах географической оболочки будет рассмотрен особо). В связи с этим необходимо помнить, что когда в землеведении говорится об атмосфере и литосфере, то имеется в виду только та часть этих геосфер, которая входит в состав географической оболочки.

*Геосферы образуют второй, более сложный, чем геокомпонентный, структурный уровень географической оболочки*. Назовем его *геосферным*. Геосферы расположены ярусно в соответствии с плотностью вещества, которое их слагает: чем плотность выше, тем ниже расположена геосфера. Они являются результатом дифференциации вещества Земли по плотности в гравитационном поле планеты. Геосферы географической оболочки образуют ее *ярусную вертикальную структуру* (рис. II.2).

Следующий структурный уровень — *геосистемный*. *Геосистемы* — это комплексные образования, возникшие в результате определенного взаимодействия геокомпонентов. Простейшие геосистемы

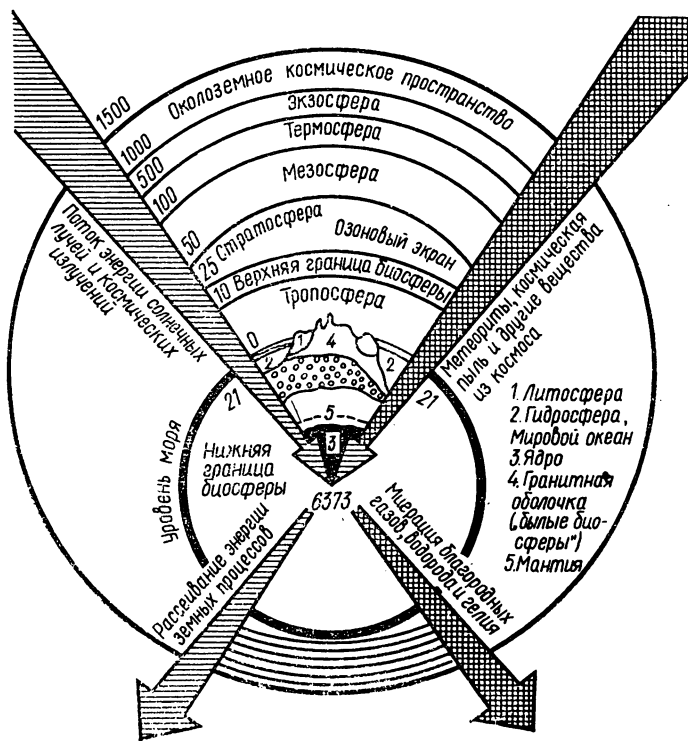


Рис. 11.2. Ярусное строение Земли по В. И. Вернадскому (из кн. Л. П. Шубаева, 1977)

формируются при взаимодействии вещества косного уровня организации: ледники вместе с вмещающим их ложем и прилежащими слоями воздуха; речной бассейн, рассматриваемый как система водных потоков вместе с частью земной поверхности, которую он занимает, и грунтовыми водами, взаимодействующими с поверхностным стоком, и т. д.

Более сложные взаимоотношения существуют в геосистемах, включающих вещество различных уровней организации, которые наиболее характерны и специфичны для земной поверхности. Они называются *природными территориальными* и *природными аквальными комплексами*.

Геосистемы могут включать не только природные компоненты. Человеческое общество вместе со своими техническими средствами, сооружениями и т. д. в совокупности с окружающей природной средой образует *геотехнические системы*: города, промышленные узлы, сельскохозяйственные земли и т. п.

Геосистемы сменяют друг друга преимущественно в горизонтальном направлении, отражая тем самым изменения характера взаимодействия геокомпонентов на земной поверхности. Они обра-

зуют *горизонтальную структуру географической оболочки*. Геосистемы большего размера состоят из частей, являющихся, в свою очередь, также геосистемами, но другого, подчиненного ранга. Мы будем выделять три уровня размерности геосистем (вслед за В. Б. Сочавой): *планетарный, региональный и локальный*.

В общем земледовении анализируются и вертикальная, и горизонтальная структуры, но последняя рассматривается только на планетарном уровне. В отдельных случаях (преимущественно в качестве примеров, в особенности в гл. V) мы будем касаться и других уровней размерности геосистем.

#### II.4. ВЕРТИКАЛЬНАЯ (ЯРУСНАЯ) СТРУКТУРА ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ (ГЕОСФЕРНЫЙ СТРУКТУРНЫЙ УРОВЕНЬ)

##### II.4.1. Литосфера

*Литосфера* — сложное образование преимущественно твердого вещества, обволакивающего мантию Земли слоем от 50 до 200 км. Литосфера залегает на *астеносфере* — пластичном слое, находящемся в верхней мантии Земли. Благодаря пластичности астеносфера выполняет роль субстрата, по которому перемещаются литосферные плиты.

Литосфера изостатически уравновешена на поверхности астеносферы, т. е. ее блоки занимают положение в зависимости от их плотности и мощности соответственно закону Архимеда.

Верхнюю часть литосферы мощностью до 30—60 км на континентах (в среднем 35—40 км) и 5—10 км под океанами называют *земной корой*. В литосферу также входит слой верхней мантии над астеносферой. Он отделен от земной коры *разделом Мохоровичича*, на котором резко меняется плотность вещества (рис. II.3).

На рис. II.3 схематически показаны три столбика литосферы и гидросферы, которые оказывают одинаковое давление на поверхность астеносферы (уровень компенсации), независимо от длины

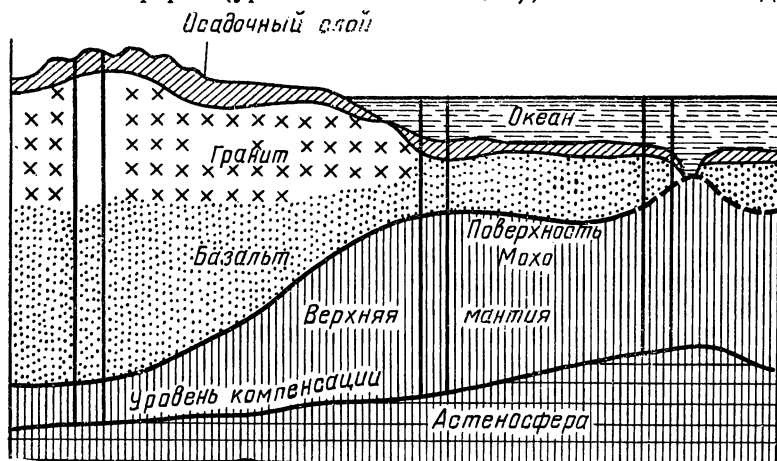


Рис. II.3. Строение земной коры и литосферы

этих столбиков и различий в соотношениях мощностей слоев земной коры и верхней мантии в каждом из них. Различия мощности компенсируются неодинаковой средней плотностью вещества в каждом таком столбике, которая тем меньше, чем больше мощность, а также различной высотой поверхности рельефа.

**Состав земной коры.** В строении земной коры принимают участие три основных типа горных пород: *магматические, осадочные и метаморфические.*

Магматические породы образуются за счет застывания магмы. В зависимости от условий, в которых происходил этот процесс, формируются *интрузивные* (образовавшиеся на глубине) и *эффузивные* (излившиеся на поверхность) *горные породы*. К интрузивным породам относятся гранит, габбро и другие породы, к изверженным — базальт, липарит, вулканический туф, вулканическое стекло и др.

*Осадочные породы* образуются на земной поверхности различными путями. Часть из них формируется из продуктов разрушения пород, образовавшихся ранее. Они называются *обломочными* или *кластическими*. Обломки, из которых эти породы состоят, имеют самые разные размеры — от глыб и валунов до пылеватых частиц.

Часть осадочных пород формируется за счет жизнедеятельности организмов. Они называются *органогенными*. Это известняки (мел, ракушечник и др.), кремнистые породы, каменный и бурый уголь, некоторые руды.

Значительное место в земной коре занимают *хемогенные осадочные породы*, образующиеся за счет химических реакций, происходящих на земной поверхности (преимущественно в водной среде). К ним в первую очередь относятся известняки и мергели, соли (галит, ангидрит), руды металлов и др.

*Метаморфические породы* образуются в результате превращения пород другого происхождения под воздействием различных факторов: высокой температуры и давления в недрах, контакта с породами другого химического состава или физического состояния и др. К ним относятся гнейсы, кристаллические сланцы, мрамор и др.

Большую часть объема земной коры занимают кристаллические породы магматического и метаморфического происхождения (около 90 %). Однако для географической оболочки более существенна роль маломощного и прерывистого осадочного слоя, который на большей части земной поверхности непосредственно контактирует с воздухом и водой, принимает активное участие в различных географических процессах.

Средняя мощность осадочного слоя, или *стратисферы* (от «стратос» — слой; букв. слоистая оболочка), всего 2,2 км, реальная мощность колеблется от 12 км в прогибах до 400—500 м в океаническом ложе.

Наиболее распространенными горными породами в осадочной толще являются, по А. Б. Ронову, глины и глинистые сланцы (50 %), пески и песчаники (23,6 %), карбонатные (23,49 %) породы (известняки, доломиты). Важную роль в географической оболочке иг-

рают лёссы и лёссовидные суглинки, слагающие поверхность земной коры во внеледниковых районах северного полушария.

**Типы земной коры.** Различают два основных (материковая и океаническая) и один переходный (промежуточный) типы коры (см. рис. II.3). *Материковая земная кора* состоит из трех слоев: *осадочного*, *«гранитного»* и *«базальтового»*. Последние два слоя названы условно: по некоторым физическим свойствам (и прежде всего по скорости прохождения сейсмических волн) породы этих слоев близки соответственно граниту и базальту. Средняя мощность материковой коры 35 км. Материковая кора имеет меньшую, чем океаническая, плотность вещества, поэтому возвышается («плавает») над океанической.

*Океаническая кора* двухслойная. Ее основная масса сложена базальтовым слоем, на котором лежит маломощный осадочный слой. Гранитный слой отсутствует. Мощность океанической коры 5—10 км, причем мощность осадочного слоя, как правило, менее 1 км.

*Переходный тип земной коры* пространственно расположен между участками материковой и океанической коры. Это кора двухслойная, состоящая (в отличие от океанической) из очень мощного слоя осадочных пород, подстилаемого базальтом. Для нее характерна значительная пространственная неоднородность. Она известна в окраинных морях Восточной Азии (от Берингова до Южно-Китайского), Зондском архипелаге и других районах мира.

Различия в строении материковой и океанической коры обусловлены эволюционными причинами. Считают, что океаническая кора первична, а материковая — вторична, хотя известный возраст материковой коры в 10—20 раз больше, чем океанической.

**Основные черты структуры земной коры и планетарного рельефа.** Земная кора формировалась чрезвычайно длительное время. Наиболее древние из изученных горных пород имеют возраст  $3,9 \pm 0,1$  млрд. лет. Наиболее древние элементы материковой земной коры — *древние докембрийские платформы*. Они обычно имеют двухслойное строение. Нижний слой — *фундамент*, состоящий из смятых в складки, разбитых на блоки (дислоцированных) метаморфических пород — гнейсов, кристаллических сланцев и т. п. Они являются продуктами древнейших эпох складчатостей, которые завершились более 1,5 млрд. лет тому назад. Метаморфические породы прорваны магматическими интрузиями. На фундаменте лежит горизонтально залегающая толща слоистых осадочных горных пород, которые накопились значительно позже, чем образовался фундамент.

На протяжении последних полумиллиона лет древние платформы отличает стабильность, отсутствие складчатых движений, слабая дислоцированность. В северном полушарии выделяют *Североамериканскую*, *Русскую*, *Сибирскую* и *Китайскую* платформы, в южном — *Южноамериканскую*, *Африканскую*, *Аравийскую*, *Индостанскую*, *Австралийскую* и *Антарктическую* (рис. II.4).

Докембрийские платформы окаймлены более молодыми сооружениями. К ним относятся так называемые *молодые платформы*,



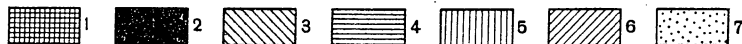
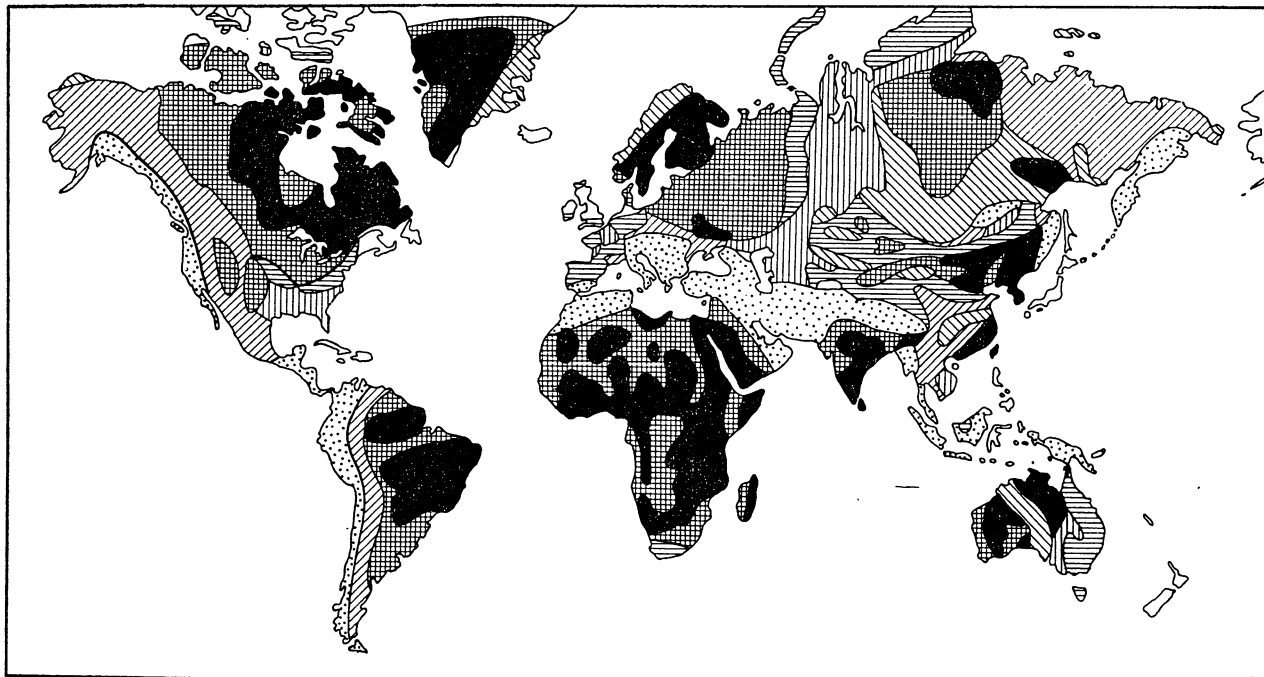


Рис. II.4. Основные структурные элементы материковой земной коры (по Л. П. Шубаеву, 1977):  
 1 — докембрийские платформы, 2 — щиты, 3 — выступы каледонских складчатых структур, 4 — то же, герцинских, 5 — герцинские платформы, 6 — мезозойские складчатые сооружения, 7 — альпийские складчатые сооружения

фундамент которых сформировался в палеозое в каледонскую и герцинскую складчатости, а также *складчатые горные сооружения*. Наиболее молодыми структурными элементами материковой земной коры являются *геосинклинали*. *Геосинклиналь (геосинклинальная система)* — это высокоподвижный, линейно вытянутый и сильно расчлененный участок земной коры, для которого характерны большие скорости вертикальных движений и значительная их изменчивость и в пространственном, и во временном аспектах.

Соотношения между различными типами коры сложны и окончательно не изучены. Предполагается, что имеет место однопавленный эволюционный процесс зарождения океанической коры, который происходит, в соответствии с современными представлениями, в *рифтовых зонах*, расположенных в осевых частях срединно-океанических хребтов. В последующем океаническая кора в геосинклинальном бассейне, где происходит накопление и метаморфизация большой толщи осадочных отложений, превращается в более сложно устроенную материковую кору. Из метаморфизованных отложений образуется «гранитный» (по существу гнейсово-сланцевый) слой. Конечной стадией геосинклинального развития является формирование складчатой страны, в пределах которой структура земной коры приближается к структуре фундамента платформ. Обычно складчатость завершается поднятием и расчленением рельефа, вследствие чего образуется *горная страна*. Внешние процессы довольно быстро (за десятки миллионов лет) способны разрушить горную страну и превратить ее в холмистую равнину, на поверхности которой в дальнейшем накапливаются осадочные породы (преимущественно в морских условиях во время трансгрессий).

В геологической истории складчатые и горообразовательные процессы неоднократно захватывали значительные участки земной коры. В течение фанерозоя (геологический отрезок времени, охватывающий последние 550—600 млн. лет, см. геохронологическую шкалу в гл. IV) имели место *каледонская, герцинская, тихоокеанская* (мезозойская) и *альпийская* складчатости. В настоящее время *геосинклинальные процессы* характерны для *Тихоокеанского подвижного пояса* (Курило-Камчатская островная гряда, Японские и другие острова), *Азиатско-Австралийского средиземного моря, Карибского моря и Мексиканского залива, Средиземного, Черного и южной части Каспийского морей* и др. В указанных районах известна кора переходного типа, обладающая свойствами и океанической (двухслойная) и материковой (большая мощность).

Океаническая земная кора изучена пока недостаточно. Выделяют не менее двух основных структурных элементов этой коры: *талассократоны* (букв. океанические платформы) — устойчивые области океанского ложа и *георифтогены* — зоны срединно-океанических хребтов, где, как считают, вещество мантии поднимается на поверхность земной коры и преобразуется в базальтовый слой океанической коры.

Крупнейшие структурные элементы земной коры находят отра-

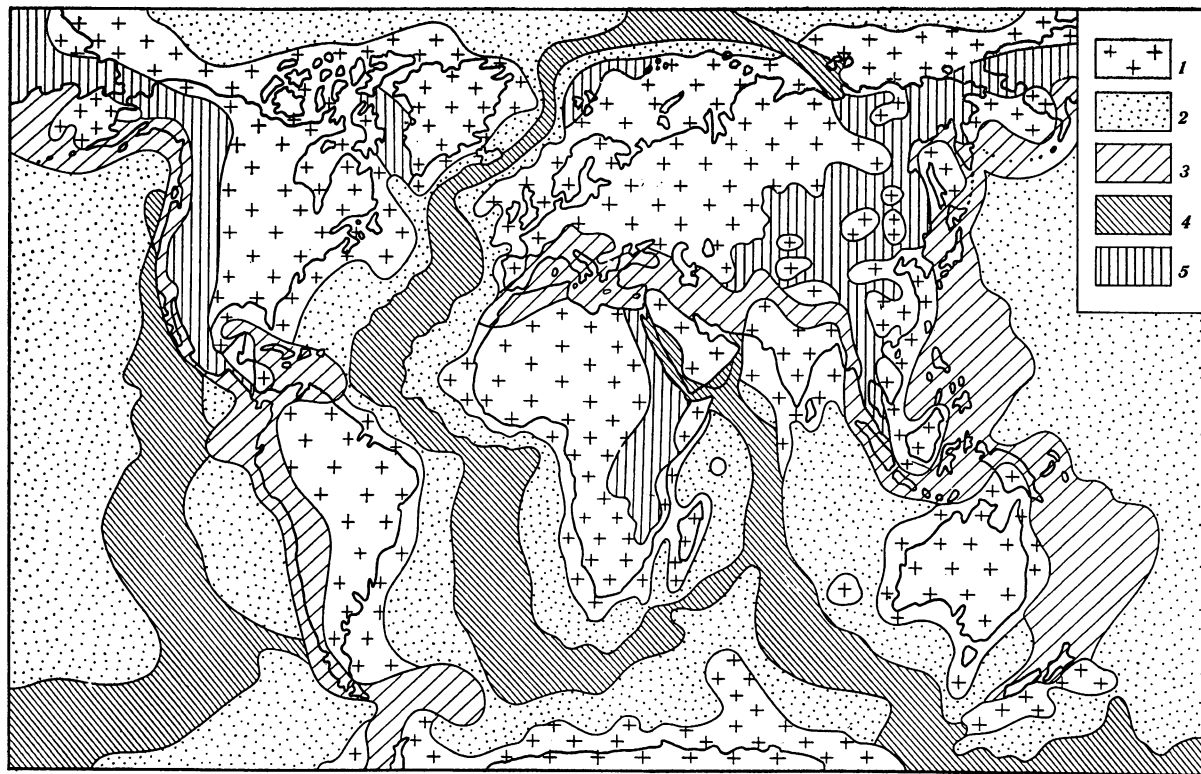


Рис. П.5. Типы планетарных морфоструктур (по О. К. Леонтьеву; из кн. К. К. Маркова и др., 1978):  
 1 — материковые платформы, 2 — ложе океана, 3 — переходные области, 4 — срединно-океанические хребты, 5 — зоны распространения рифтогенеза на материковых платформах

жение в планетарных формах рельефа земной поверхности. Материки и океаны соответствуют распространению основных типов коры. Но граница материковой и океанической коры не совпадает с береговой линией океана. Она проходит по изобате — 2000 м (по подножью материкового склона). Шельф является подводной частью материка.

В пределах материков в платформенных областях преобладают *низменности, равнины, плато, плоскогорья*; в затопленной части — *шельфовые моря*, т. е. участки, характеризующиеся небольшой высотой и слабой расчлененностью рельефа. Так, в области *Русской платформы* сформировались *Восточно-Европейская равнина* и *Северо-Германская низменность*; *Южноамериканской платформе* отвечают два элемента планетарного рельефа — *Амазонская низменность* и *Бразильское нагорье*. Большая часть *Африканской платформы* занята невысокими плато и плоскогорьями. Такое соответствие между тектонической структурой и рельефом объясняется характером платформенного развития в фанерозое, отличающимся стабильностью (рис. II. 5).

В областях проявления каледонской, герцинской, тихоокеанской и альпийской складчатостей находятся *древние* и *молодые горы*. Древними называют горы, которые характеризуются небольшими высотами и амплитудами рельефа, сглаженными формами и другими морфологическими чертами. Молодыми называют горы альпийского облика — высокие, сильно расчлененные, с резкими очертаниями. К первым относятся *Урал, горы Средней Европы, Алтай, Саяны* и др., ко вторым — *Альпы, Гималаи, Кавказ, Анды, Кордильеры* и др. Исследования последних лет, связанные с изучением новейшей тектоники, показали, что между морфологическим обликом и возрастом складчатости горных сооружений нет полной корреляции, так как внешний облик гор в большой мере зависит от интенсивности и амплитуды неотектонических движений в течение последних двух-трех десятков миллионов лет. Чем активнее движения, тем более молодыми кажутся горы.

Современные геосинклинальные области характеризуются сочетанием и резким чередованием *глубоководных океанических желобов* (*Марианский, Курило-Камчатский* и др.) и *котловин окраинных морей* (*Японское, Охотское* и др.); им свойственны архипелаги островов.

*Талассократонам* — областям океанических платформ *соответствуют глубоководные равнины* (средняя глубина 3—4 км). *Георифтогенали* выражены *срединно-океаническими хребтами*. Это вытянутые валообразные пологие поднятия, возвышающиеся над ложем океана на 2—3 км. В осевой части хребтов находится желоб — *рифт* с плоским дном и крутыми склонами. Вдоль рифтов наблюдаются повышенная сейсмическая активность и многочисленные вулканические извержения.

Система срединных хребтов — глобальная, она протягивается на 60 тыс. км, т. е. в полтора раза превосходит протяженность экватора.

Таблица II.3. Мировые запасы воды

Виды воды	Площадь распространения, млн. км <sup>2</sup>	Объем, тыс. км <sup>3</sup>	Доля в мировых запасах, %	
			от общих запасов	от запасов пресных вод
Мировой океан	361,3	1 338 000	96,5	—
Подземные воды	134,8	23 400	1,7	
в том числе пресные		10 530	0,76	30,1
Почвенная влага	82,0	16,5	0,001	0,05
Ледники и постоянные снега	16,2	24 064	1,74	68,7
Подземные льды	21,0	300	0,022	0,86
Воды озер:				
пресных	1,24	91,0	0,007	0,26
соленых	0,82	85,4	0,006	—
Воды болот	2,68	11,5	0,0008	0,03
Воды рек	148,8	2,1	0,0002	0,006
Вода в атмосфере	510,0	12,9	0,001	0,04
Вода в организмах		1,1	0,0001	0,003
Общие запасы воды		1385984,6	100,0	
Общие запасы пресной воды		35029,2	2,53	100

#### II.4.2. Гидросфера

*Гидросфера* располагается между земной корой и атмосферой и представляет собой совокупность океанов, морей, поверхностных вод, льдов и снегов. Иногда в состав гидросферы включают также подземные воды и воду, содержащуюся в атмосфере и живых организмах (табл. II. 3)<sup>1</sup>.

подавляющая часть воды сосредоточена в океанах. Среди других водных объектов выделяются подземные воды и ледники. В подземных горизонтах и ледниках сосредоточена основная масса пресной воды, которая представляет важнейшую часть водных ресурсов человечества. Объем подземных вод, особенно в нижних частях земной коры, оценивается приближенно.

Несмотря на многообразие видов вод, гидросфера едина. Ее единство связано как с общим происхождением всех вод (поступили из мантии Земли), так и с непрерывным обменом между резервуарами.

**Мировой океан.** Воды Мирового океана составляют 96,5 % массы воды гидросферы. Они покрывают большую часть поверхности планеты (70,8 %), образуя практически непрерывную водную оболочку Земли. Мировой океан — важнейшее звено влагооборота в системе взаимодействия «океан — атмосфера — материки». Он оказывает исключительно большое влияние на тепловой режим земной поверхности, выполняя функции планетарного нагревателя и терморегулятора.

Единый Мировой океан исторически принято делить на отдель-

<sup>1</sup> См.: Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли. Л., 1974, табл. 9.

ные части — океаны. Их морфометрические показатели приведены в табл. II.2. Внутри океанов выделяют более мелкие части: *морья, заливы, проливы, лиманы* и др.

**Морская вода.** Мировой океан называют большим отстойным бассейном, поскольку он аккумулирует различные вещества, поступающие с суши. В морской воде присутствуют почти все элементы таблицы Менделеева, однако концентрация различных элементов неодинакова. *Средняя соленость* Мирового океана около 35 ‰, т. е. в 1000 кг морской воды содержится 35 кг солей. Подавляющая часть солей — хлориды натрия и магния (88,7 %). Второе место занимают сульфаты (10,8 %), затем карбонаты (0,3 %) и прочие соединения. Распределение солености в поверхностных водах (рис. II.6) имеет в значительной мере зональный характер. Оно отражает структуру водного баланса в разных частях Мирового океана. Максимальная соленость (более 36 ‰) наблюдается в тропических и частично субтропических районах, т. е. там, где наиболее значительно испарение и в то же время сравнительно мало выпадает атмосферных осадков. Вот почему в целом распределение солености соответствует изолиниям картосхемы (см. рис. III.14), на которой показано распределение разности испарение — атмосферные осадки на океанах. В приэкваториальной зоне происходит некоторое снижение солености. В еще большей степени соленость снижается в умеренных, субполярных и полярных районах.

Общие зональные закономерности распределения солености осложняются влиянием региональных факторов. В Атлантическом океане соленость выше, чем в других океанах. В Северном Ледовитом она ниже под влиянием ледового покрова, в Индийском и Тихом — из-за увеличения количества выпадающих над ними осадков.

Во внутренних морях соленость зависит в значительной мере от величины поступающего речного стока и от интенсивности водообмена с открытым океаном. Невелика соленость, например, в Балтийском море (8 ‰). Значительно ниже средней солености океана соленость в Черном море — 17—18 ‰. Зато в Красном море она повышается до 40 ‰. Это объясняется очень большим испарением с поверхности Красного моря в условиях сильного прогревания и практически отсутствием речного стока в этом районе.

Ниже глубины 2000 м соленость всех океанов близка 34,7—34,9 ‰, т. е. в низких широтах она меньше, чем у поверхности, в полярных — выше.

В воде океанов и морей растворены также газы, наибольшее значение среди которых имеют кислород и диоксид углерода (углекислый газ). Между океаном и атмосферой происходит постоянный обмен газами, так что океан выступает регулятором их содержания в атмосфере.

Важное значение имеет *плотность* морской воды, средняя величина которой составляет 1,025 г/см<sup>3</sup>. Как уже говорилось, соленая морская вода имеет максимальную плотность при температу-

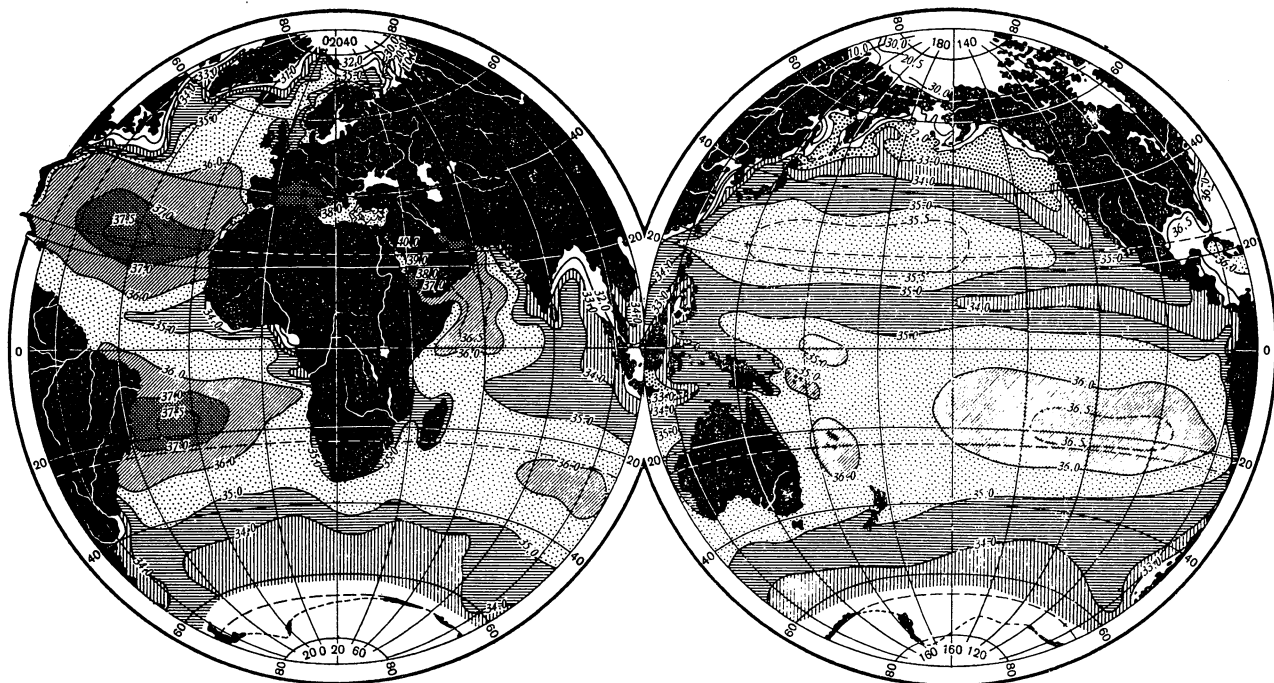


Рис. II.6. Соленость вод (‰) Мирового океана (по Л. П. Шубаеву, 1977)

ре замерзания. Поэтому охлажденная морская вода погружается вниз. Если бы не было стока в океаны пресных вод, океаны никогда бы не покрывались льдом.

Океанические водные массы. Сравнительно большой объем воды, формирующийся в определенных районах Мирового океана, обладающий относительно постоянными физическими, химическими и биологическими характеристиками и образующий единый комплекс (природно-аквальный), называют *океанической водной массой*. Водные массы в океанах являются аналогами природных территориальных комплексов на суше. Границы между водными массами в океане выражены менее отчетливо, чем границы природных территориальных комплексов на суше. По вертикали выделяют четыре основные водные массы или структурные зоны: поверхностную, промежуточную, глубинную и придонную.

*Поверхностная структурная зона* распространяется примерно до глубин 300 м. Воды этой зоны активно взаимодействуют с атмосферой. Иногда этот слой называют *океанической тропосферой* по аналогии с тропосферой атмосферы. В поверхностном слое происходит активное перемешивание воды, он богат кислородом и диоксидом углерода, организмами. Его физические характеристики и соленость подвержены колебаниям, связанным с воздействием атмосферы. Поверхностные воды захвачены течениями, которые образуют специфические круговороты (см. III. 2.3).

Поверхностные воды в горизонтальном направлении разделяются *океаническими фронтами* на *водные массы*. Выделяют следующие типы водных масс в поверхностной структурной зоне.

1. *Экваториальные* с температурой воды 26—28 °С, соленостью 33—35 ‰, содержанием кислорода 3—4 г/м<sup>3</sup> и относительно небольшой насыщенностью жизненными формами.

2. *Тропические*, подразделяющиеся на северотропические и южнотропические, с температурой воды от 18 до 27 °С, соленостью 34,5—35,5 ‰, содержанием кислорода 2—4 г/м<sup>3</sup>.

3. *Субтропические*, подразделяющиеся на северные и южные субтропические, с температурой от 15 до 28 °С, соленостью от 35 до 37 ‰, содержанием кислорода 4—5 г/м<sup>3</sup>.

4. *Субполярные*, подразделяющиеся на субарктические и субантарктические, с температурой от 5 до 20 °С, соленостью 34—35 ‰, содержанием кислорода 4—6 г/м<sup>3</sup>. Весьма богаты жизненными формами: рыбой, млекопитающими (киты, тюлени и др.). Именно в этих водных массах находятся основные рыболовецкие районы.

5. *Полярные*, включающие арктические и антарктические водные массы, с низкими температурами (от 5 до —1,8 °С), с пониженной соленостью (32—34 ‰), весьма богатые кислородом (5—7 г/м<sup>3</sup>). Большую часть года они покрыты льдами, но тем не менее богаты жизнью, особенно в контактных зонах (каменистые берега, кромка льдов и др.).

Природные особенности перечисленных водных масс в большой



степени определяются особенностями вертикальной циркуляции, которая будет рассмотрена ниже.

*Переходная, или промежуточная, структурная зона* располагается на глубинах от 300 до 2000 м. В полярных районах воды этой зоны характеризуются сравнительно высокой температурой, поскольку с поверхности ее перекрывает примерно стометровый слой поверхностной зоны, имеющий низкую температуру и низкую соленость.

*Глубинные водные массы* занимают большую часть объема океана. Для них характерна невысокая температура (2—3 °С), отсутствие ее сезонных колебаний, а также сезонных изменений солености, содержания кислорода и других характеристик, которые подвержены сезонной изменчивости в вышележащих водных массах.

*Придонные воды* заполняют наиболее глубокие части океана. Как и глубинные водные массы, они образуются в результате опускания холодных полярных поверхностных водных масс. В придонных водах наблюдается некоторое повышение температуры (примерно на 0,1 °С). Это повышение связывают с потоком тепла из недр.

*Океанические фронты*, формирующиеся в зонах контакта и взаимодействия различных водных масс, отличаются вихревыми движениями вод — циклоническими и антициклоническими, скоплением жизни, активным взаимодействием с атмосферой. Они динамичны и неустойчивы. Только некоторые из них отличаются приуроченностью к определенным районам.

*Поверхностные воды суши.* Они представлены реками, озерами и водами болот и составляют всего 0,014 % от мировых запасов воды. Несмотря на незначительный процент их в мировых запасах воды, они играют существенную роль в природных процессах, протекающих в географической оболочке.

**Р е к и.** Наиболее активным элементом этой группы вод являются реки. В руслах рек находится одновременно примерно 2100 км<sup>3</sup> воды, в то время как в океан стекает за год 47 000 км<sup>3</sup>. Значит, объем воды в реках обновляется примерно каждые 16 дней. Такова интенсивность обмена воды в реках. Для сравнения укажем, что воды океана проходят через большой круговорот примерно за 2,5 тыс. лет.

Важнейшей характеристикой рек (наряду со стоком) является их *питание*. Выделяются реки со *снеговым, дождевым, ледниковым* и *подземным питанием*. Более или менее значительные реки имеют, как правило, *смешанное питание*, включающее и дождевое, и подземное, а нередко и снеговое, и ледниковое. Это зависит от величины бассейна и разнообразия его ландшафтов. Существенным элементом питания рек являются подземные воды, обеспечивающие постоянство водного потока рек. В годовом итоге им принадлежит до 30 % суммарного стока рек.

*Годовой сток рек* тесно связан с их питанием. Так, реки преимущественно снегового питания обладают ярко выраженным весенним половодьем и летней меженью (реки европейской части СССР). Реки ледникового питания отличаются преимущественно летним сто-

ком, так как в этот сезон года особенно интенсивно тают снега и ледники в горах (Амударья, Сырдарья, Кубань, Терек и др.). Сток в реках дождевого питания зависит от сроков преимущественного выпадения осадков: он может быть летним (в областях муссонного климата), зимним (в средиземноморских областях), может быть равномерным в течение всего года (реки Западной Европы). Следовательно, речной сток в большой мере определяется климатическими условиями в речных бассейнах. Это дало основание климатологу А. И. Воейкову сделать заключение, что «реки — продукт климата».

Текущие воды рек обладают кинетической энергией, производят значительную работу, размывая русло и транспортируя продукты размыва — *аллювий*. Речные отложения образуют *аллювиальные равнины*, например Амазонскую, Западно-Сибирскую, Восточно-Китайскую, Конголезскую и др. Ими сложены дельты в устьях рек (рр. Нил, Лена, Волга, Парана) и речные террасы на склонах долин.

Речные воды не только механически разрушают, но и растворяют горные породы, а затем транспортируют и аккумулируют вещества в виде ионов, коллоидов, биогенных веществ, микроэлементов и др. В океан выносятся ежегодно около  $1,6 \cdot 10^{12}$ — $1,7 \cdot 10^{12}$  кг растворенных веществ, в том числе  $0,72 \cdot 10^{11}$  кг органических веществ.

В современную эпоху наблюдается загрязнение поверхностных вод органическими и неорганическими веществами промышленного и сельскохозяйственного происхождения, минеральными удобрениями. В результате некоторые озера эвтрофируются, т. е. бурно зарастают водорослями (преимущественно синезелеными), которые получают обильное питание в виде указанных загрязнений. Опасно загрязнение поверхностных вод нефтепродуктами, химическими отходами, средствами защиты растений.

Обращает на себя внимание различие химического состава солей, растворенных в морских и речных водах. Если в океанических водах преобладают хлориды и сульфаты при незначительном участии карбонатов, то в реках абсолютно господствуют карбонаты (до 60 % массы солей). В морской воде их всего 0,3 %.

**О з е р а.** Роль озер в географической оболочке достаточно важна и многообразна. Прежде всего, они — регуляторы речного стока, в особенности в реках, вытекающих из озер. Озера часто служат крупными аккумуляторами пресной воды: Байкал —  $23 \cdot 10^{12}$  м<sup>3</sup>, Танганьика —  $18,9 \cdot 10^{12}$ , Верхнее —  $16,6 \cdot 10^{12}$  м<sup>3</sup> и др. Озера содержат запасы ценных видов рыб и т. д. В некоторых озерах добывают полезные ископаемые.

Озера играют существенную роль в водном балансе поверхностных вод суши. Общая площадь, занимаемая ими, оценивается приблизительно в 2 млн. км<sup>2</sup> с суммарным объемом вод свыше  $1,76 \times 10^{14}$  м<sup>3</sup>. Это в четыре раза превышает суммарный годовой сток всех рек земного шара. В пресноводных озерах содержится около половины общего объема вод озер ( $0,91 \cdot 10^{14}$  м<sup>3</sup>).

Человечество создало (почти исключительно во второй половине XX в.) большое количество (около 10 тыс.) искусственных озер.

В настоящее время водохранилища имеют общий объем вод около  $5 \cdot 10^{12}$  м<sup>3</sup>. Наибольшее количество крупных водохранилищ создано в СССР, а также в США, Канаде, КНР, Индии и других странах. Они имеют водорегулирующее, мелиоративное, судоходное, рыбохозяйственное и другие значения и функции. Кроме крупных водохранилищ создано большое число (сотни тысяч) прудов, имеющих водохозяйственное и рыбохозяйственное значения.

**Б о л о т а.** Это области суши, характеризующиеся резко избыточным увлажнением, застойным или слабо проточным режимом вод и специфической гигрофитной растительностью. Общая площадь болот на земном шаре составляет около  $2,7 \cdot 10^6$  км<sup>2</sup>, что составляет около 2 % суши. Суммарный объем болотных вод мира около  $11,5 \times 10^9$  м<sup>3</sup>. Это в 5 раз превышает разовый объем воды в руслах рек. Болота служат аккумуляторами атмосферных, речных, грунтовых вод. Медленно отдавая эти воды в реку, они тем самым регулируют меженный сток.

**Подземные воды.** Они находятся в толще горных пород верхней части земной коры в жидком, твердом и парообразном состояниях. По происхождению различают такие типы подземных вод: *инфильтрационные*, образовавшиеся вследствие просачивания с поверхности дождевых, талых и речных вод; *конденсационные*, возникающие в порах и трещинах горных пород из водяного пара; *седиментационные*, формирующиеся в процессе геологического осадконакопления в водных условиях; *магматогенные*, или *ювенильные*, образующиеся при кристаллизации магмы и метаморфизации горных пород. Полагают, что большая часть вод гидросферы произошла за счет дегазации магмы.

По физическому состоянию подземные воды бывают семи типов.

1. *Гравитационные воды.* Они перемещаются под действием силы тяжести, заполняют трещины и пустоты земной коры, перемещаются по ним, а также занимают замкнутые понижения на земной поверхности, образуя океаны, моря, озера.

2. *Капиллярные воды.* Они заполняют мелкие поры в почве и горных породах, удерживаются за счет сил поверхностного натяжения и перемещаются в зависимости от градиента температуры и влажности породы даже против градиента силы тяжести (благодаря этому, в частности, грунтовые воды поступают к поверхности). Гравитационные и капиллярные воды активно участвуют во влагообороте.

3. *Пленочная вода.* Она обволакивает частицы почвы и притягивается к ним силой поверхностного натяжения, поэтому слабо участвует во влагообороте и плохо используется растениями.

4. *Гигроскопическая вода.* Она обволакивает мелкие агрегаты почвы, удаляется только при сильном нагревании.

5. *Кристаллизационная вода* физически связана в минералах (гипсе и др.), поэтому при ее удалении изменяются их физические свойства.

6. *Конституционная вода.* Она химически связана в минералах таким образом, что при ее удалении минералы разрушаются.

По характеру заполнения горных пород подземные воды подразделяются на следующие типы: *поровые*, заполняющие пески, галечники и другие рыхлые породы; *трещинные*, или *жилльные*, — в скальных породах (гранитах, песчаниках и др.); *карстовые* — в растворимых горных породах — известняках, доломитах, гипсах, каменной и калийной солях и др.

В подземных водах также наблюдается определенная стратификация (слоистость). Первый от земной поверхности постоянно существующий безнапорный горизонт называется *грунтовыми водами*. Подземные воды, залегающие ниже грунтовых и отделенные от них пластами водонепроницаемых пород, называют *межпластовыми*. Они обычно находятся под гидростатическим давлением и в таком случае называются *напорными* или *артезианскими*.

Грунтовые воды, как правило, пресные (содержание солей до 1 г/л) и относятся к *зоне активного водообмена* с поверхностными водами и прежде всего речными, так как реки дренируют этот горизонт, взаимодействуя с ним. Грунтовые воды наиболее полно отражают природные особенности территории. Мощность зоны грунтовых вод может достигать 100 м.

Межпластовые и трещинные воды примерно до глубины 200—300 м относятся к *зоне относительно активного водообмена*. В этой зоне подземные воды частично разгружаются в глубокие речные долины и океан. Они по преимуществу пресные или слабоминерализованные (могут содержать до 10 г/л солей).

*Зона замедленного водообмена* находится ниже уровня моря. Ее подземные воды разгружаются только в океан. Они преимущественно соленые (до 50 г/л), а иногда представляют рассолы (свыше 50 г/л).

### II.4.3. Криосфера

*Криосфера* — прерывистая и непостоянная по конфигурации оболочка Земли в зоне теплового взаимодействия атмосферы, гидросферы и литосферы. Ей свойственны отрицательная или нулевая температуры, при которых вода, содержащаяся в криосфере, находится в твердой фазе в виде льда, снега, инея, вечной мерзлоты и т. д.

К криосфере относятся сезонный и многолетний снежные покровы, сезонная и многолетняя (вечная) мерзлота, почвы и горные породы, содержащие лед в пустотах и порах, горные ледники и ледниковые покровы, трещинные и погребенные льды и т. п. К ней относятся также и мигрирующие облака, содержащие снег и лед, в том числе и серебристые облака.

Верхний слой земной коры, обладающий отрицательными температурами и характеризующийся наличием подземных льдов и сезонным промерзанием почв, называют *криолитозонной*. Ей свойствен целый ряд явлений (замерзание и оттаивание, солифлюкция, ра-

<sup>1</sup> *Солифлюкция* — медленное вязко-пластичное течение переувлажненных почв и грунтов.

стрескивание почв и грунтов и т. п.), оказывающих огромное влияние на природные процессы.

Общая площадь *постоянного снежного покрова* на суше достигает в северном полушарии 2 млн км<sup>2</sup>, в южном — 14 млн. км<sup>2</sup>. Кроме того, на постоянных морских льдах и в высокогорных ледниках площадь снегового покрова составляет примерно 14 млн. км<sup>2</sup>. Следовательно, общая площадь снежного покрова в обоих полушариях примерно 30 млн. км<sup>2</sup>, т. е. снегом покрыто около 6% всей поверхности планеты.

Помимо постоянного снежного покрова огромные площади на суше и на морских льдах занимают *сезонные* (временные) *снега*. Они занимают в северном полушарии не менее 59 млн. км<sup>2</sup>, в южном — около 2 млн. км<sup>2</sup>. Снежный покров имеется и на сезонных морских льдах общей площадью 24 млн. км<sup>2</sup> в обоих полушариях. *Общая площадь постоянных и временных снегов* на Земле достигает примерно 113 млн. км<sup>2</sup>, т. е. занимает 22% ее поверхности.

Постоянный снежный покров служит источником образования многолетних льдов — *горных и материковых ледников*. Последние образуют мощные *ледовые покровы* в Антарктиде, Гренландии, на островах Земли Франца-Иосифа, Шпицбергене, в Исландии и др.

Ледники и ледниковые покровы занимают в настоящее время свыше 16 млн. км<sup>2</sup> поверхности Земли. В них сосредоточено более 24 млн. км<sup>3</sup> пресной воды на Земле, т. е. почти 69% всех ее запасов. Подавляющая часть (87%) льдов заключена в ледниковом покрове Антарктиды. Подсчитано, что таяние этих льдов подняло бы уровень Мирового океана на 50—60 м и привело бы к затоплению примерно 20 млн. км<sup>2</sup> суши, преимущественно густо заселенной и интенсивно освоенной человечеством.

Ледники и ледниковые покровы, перемещаясь под влиянием силы тяжести, производят огромную разрушающую работу — *экзарацию* (выпахивание) поверхности горных пород, транспортируют продукты разрушения горных пород — моренный материал и отлагают морены. Водно-ледниковые потоки откладывают толщи галечников, гравийно-песчаный материал.

Снежный покров (как постоянный, так и временный) тоже оказывает весьма большое влияние на географические процессы. Белый снег обладает очень высокой отражательной способностью, поэтому большая часть солнечных лучей отражается от него в атмосферу. Сезонный снежный покров зимой служит аккумулятором значительного количества воды, высвобождающейся в весеннее время. С ним связан определенный режим рек умеренно-континентального климата.

*Вечная мерзлота и подземные льды* свойственны определенным областям земной коры. Термин «вечная мерзлота» условный, так как «вечная мерзлота» как географическое явление существует только на протяжении определенного геологического времени. Поэтому вместо термина «вечная мерзлота» часто употребляют термин «многолетняя мерзлота». Это часть земной коры, которая на протяжении неопределенно долгого времени характеризуется средней нулевой

или отрицательной температурой. В таких условиях вода находится большую часть года в твердой фазе. Мерзлота распространена на площади примерно 21 млн. км<sup>2</sup> (14 % суши). Большая ее часть сосредоточена в северном полушарии — северной Евразии и Канаде, на островах Арктики, в Гренландии. В южном полушарии многолетняя мерзлота занимает около 1 млн. км<sup>2</sup> площади (Антарктические острова, горные хребты Южных Анд). Современными исследованиями установлено, что под ледниковым покровом Антарктиды мерзлота отсутствует, встречается только местами на ее периферии. Следовательно, распределение мерзлоты на Земле отличается резко выраженной асимметрией: в северном полушарии 20 млн., а в южном — только 1 млн. км<sup>2</sup>.

В областях развития многолетней мерзлоты распространены также значительные массы погребенных льдов (около 300 тыс. км<sup>3</sup>) в виде так называемых жильных льдов, образовавшихся в морозобойных трещинах, а также пластовых льдов, залегающих обширными пластами мощностью до 15 м. На Северо-Востоке СССР, в Якутии и на Чукотке, распространены наледи, образующиеся зимой на реках и выходах подземных вод.

Многолетняя мерзлота оказывает весьма многостороннее влияние на различные природные процессы и, безусловно, на хозяйственную деятельность. Так как мерзлые грунты водоупорны, летом на них образуется так называемый деятельный слой из разжиженных горных пород. Возникают солифлюкционные потоки — движение по склонам разжиженных пород, погребаящих под собой наледи и жильные льды.

Мерзлота препятствует проникновению в почву корней деревьев, поэтому на ней произрастают только отдельные их виды, обладающие неглубокой корневой системой (даурская лиственница и др.). Таяние мерзлоты способствует образованию болот. Мерзлота оказывает значительное воздействие на режим рек. Они глубоко промерзают зимой, но зато полноводны летом.

#### II.4.4. Атмосфера

*Атмосфера* — это внешняя газовая оболочка Земли. Верхняя часть атмосферы, граничащая с космическим пространством, называется *экзосферой*, или *внешней атмосферой*. Она простирается до высоты 2—3 тыс. км. В ней происходит рассеивание (диссипация) атомов наиболее легких элементов — водорода и гелия, слагающих этот слой, в космическое пространство.

Воздух атмосферы удерживается у земной поверхности силой притяжения. У земной поверхности плотность воздуха наиболее значительна — на уровне моря она равна 1,275 кг/м<sup>3</sup>. С высотой плотность его убывает, так как снижается давление. На высоте 5 км она составляет 0,735 кг/м<sup>3</sup>, 10 км — 0,411, 20 км — 0,087 кг/м<sup>3</sup>. На высоте около 300 км плотность воздуха уже в 100 млрд. раз меньше, чем у земной поверхности, а на высоте около 2—3 тыс. км она становится равной плотности вещества в Космосе.

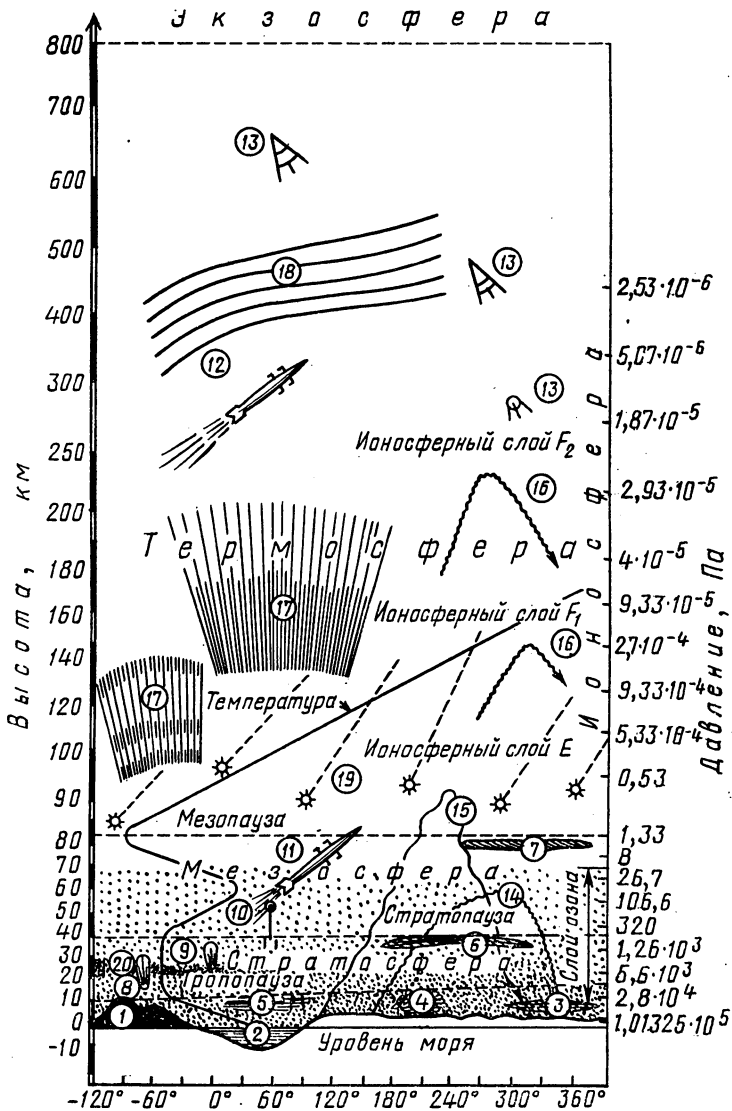


Рис. 11.7. Вертикальное строение атмосферы (по Х. П. Погосяну и З. Л. Турнетти; из кн. К. К. Маркова и др., 1978):

1 — наибольшая высота гор, 2 — наибольшая глубина океана, 3 — облака нижние, 4 — облака конвекции, 5 — облака перистые, 6 — облака перламутровые, 7 — облака серебристые, 8 — стратостат Пикара, 9 — стратостат «Осозавиахим», 10 — радиозонды, 11 — метеорологические ракеты, 12 — геофизические ракеты, 13 — искусственные спутники Земли, 14 — отражение звуковых волн, 15 — отражение средних радиоволн, 16 — отражение коротких радиоволн, 17 — полярные сияния в нижней ионосфере, 18 — полярные сияния в верхней ионосфере, 19 — метеоры, 20 — слой наибольшей концентрации озона

**Вертикальное строение атмосферы.** Атмосфера обладает ярусным строением (рис. II. 7). Нижнюю ее часть, непосредственно прилегающую к земной поверхности, называют *тропосферой*. Ее средняя мощность около 11 км (в полярных широтах 8 км, в экваториальных — 17 км). В тропосфере сосредоточено свыше 80 % всей массы атмосферы. Физические свойства воздуха тропосферы тесно связаны с характером земной поверхности (метеорологи, подчеркивая эту связь, называют поверхность *подстилающей*). От земной поверхности тропосфера получает тепло. Живые организмы и выветривание горных пород, осадкообразование и другие процессы, происходящие на суше и в океане, формируют газовый состав тропосферы, а через нее — и более высоких слоев атмосферы. В тропосфере наблюдается отчетливо выраженное снижение температуры с высотой. В среднем оно составляет 0,6 °C на 100 м высоты. Снижение температуры связано в основном с расширением воздуха под воздействием уменьшения с высотой внешнего давления, а также с переносом тепла от земной поверхности.

Для тропосферы характерно интенсивное движение воздуха. В ней происходят вертикальные и горизонтальные перемещения воздушных масс. Тропосфера содержит основное количество всей атмосферной влаги в виде водяного пара и капель воды (облака, туман), а также кристаллов льда, града и др. В тропосфере зарождаются и развиваются пассаты и муссоны, ураганы и другие явления.

На верхней границе тропосферы завершается тонким (около 1 км) переходным слоем — *тропопаузой*. Выше тропопаузы не поднимаются вертикальные токи воздуха, обусловленные различиями его нагревания и увлажнения от земной поверхности (*атмосферная конвекция*).

Выше тропопаузы находится *стратосфера*. В стратосфере до высоты около 20 км падения температуры не наблюдается; в изотермическом слое она около —60, —70 °C. Это — *нижняя стратосфера*. Выше находится слой постепенного повышения температуры, обусловленного преимущественно нагреванием озона за счет коротковолновой радиации (см. гл. I). Этот слой называют *верхней стратосферой*. Стратосферу также называют *озоносферой*, так как в ней наблюдается повышенное содержание озона (максимум на высоте около 25 км).

Над стратосферой располагается *мезосфера*, простирающаяся до высоты около 80 км. В мезосфере температура вновь (как и в тропосфере) снижается и достигает —90 °C. Еще выше находится *термосфера*, или *ионосфера*, простирающаяся до высот 800—1000 км. В ней температура воздуха повышается: на высоте около 150 км — до 220 °C, на высоте 600 км — до 1500 °C (температура высоких слоев атмосферы определяется по скорости кинетического движения частиц). Термосфера поглощает рентгеновское излучение солнечной короны.

Выше 1000 км находится *экзосфера* (*внешняя атмосфера*). В ней скорость движения атомов и молекул газов достигает вто-



рой космической, т. е. 11,2 км/с. Это позволяет им преодолевать земное притяжение и рассеиваться в космическом пространстве. Наиболее интенсивно уходят атомы водорода, которые образуют вокруг земной атмосферы корону, заканчивающуюся на высоте 2—3 тыс. км.

**Состав атмосферы.** Воздух состоит из совокупности постоянных и переменных компонентов. К *постоянным компонентам* относятся газы, образующие основную массу атмосферы: азот — 78 % по объему, 76 % по массе, кислород — соответственно 21 и 23, аргон — 0,93 %, неон, гелий, криптон, ксенон и др. Постоянство количества азота и кислорода определяется равновесием между процессами выделения свободного кислорода и азота (преимущественно живыми организмами) и их поглощением в процессе химических реакций. Это активные компоненты. Аргон и другие газы инертные. Они не участвуют в реакциях, происходящих в атмосфере и других оболочках Земли.

*Переменными компонентами* атмосферного воздуха являются диоксид углерода  $CO_2$ , водяной пар, озон, аэрозоли. Диоксид углерода занимает всего около 0,03 % объема воздуха. Его содержание колеблется по сезонам года, изменяется в многолетнем разрезе и неодинаково в разных районах земного шара. Содержание диоксида углерода зависит от природных процессов и хозяйственной деятельности человечества.

Водяной пар поступает в атмосферу от подстилающей поверхности. Его содержание еще более изменчиво, оно зависит от физико-географических условий подстилающей поверхности, времени года и суток. У земной поверхности содержание водяного пара изменяется от 0,2 % в полярных районах до 2,5 % у экватора, в ряде случаев достигает 4 %. С высотой содержание водяного пара довольно быстро убывает, снижается практически до нуля на верхней границе тропосферы.

Диоксид углерода и водяной пар служат атмосферными фильтрами, задерживающими длинноволновое излучение земной поверхности. Таким образом они обуславливают *оранжерейный* (парниковый, тепличный) эффект атмосферы, имеющий очень большое значение как термодинамический фактор. Особенности пропускания атмосферой лучистой энергии рассматриваются в гл. III и V учебника.

Концентрация озона исчезающе мала. Он образуется за счет воздействия некоторых излучений на молекулы кислорода.

Аэрозолями называют частицы, находящиеся в воздухе во взвешенном состоянии: вулканическая пыль, продукты горения (дымы), минеральная пыль, споры и пыльца растений, микроорганизмы, кристаллики морских солей; иногда к аэрозолям относят и капельки воды, обычно образующиеся вследствие конденсации водяного пара.

В связи с интенсивным развитием промышленности, распашкой земель и другими хозяйственными мероприятиями резко возрастает запыленность воздуха, увеличивается мутность атмосферы, а это ведет к уменьшению приходящей солнечной радиации.

Большая часть аэрозолей находится в тропосфере. Их концентрация изменчива и в пространственном, и во временном аспектах. Происходит постоянный обмен аэрозолями между атмосферой и земной поверхностью (в частности, в процессе выпадения атмосферных осадков). Некоторая часть аэрозолей находится в стратосфере. Они более устойчивы и могут в среднем находиться там до 2 лет. Накопление аэрозолей в стратосфере (за счет полетов самолетов и ракет) является фактором изменения планетарного климата.

Ту часть атмосферы (примерно до высот 90—100 км), которая имеет постоянный газовый состав (за исключением водяного пара, диоксида углерода и озона, которые концентрируются преимущественно в определенных слоях), называют *гомосферой*. В более высоких слоях атмосферы под воздействием ультрафиолетовой и корпускулярной радиации Солнца происходит диссоциация молекул газов и гравитационная дифференциация, приводящая к образованию отдельных слоев. Внешний слой атмосферы сложен преимущественно водородом и гелием. Эту часть атмосферы (выше 90—100 км) называют *гетеросферой*.

**Горизонтальная структура тропосферы.** Тропосфера делится на *воздушные массы*, под которыми понимают большие объемы воздуха, соизмеримые со значительными частями материков и океанов, сравнительно однородные по температуре, влажности и другим характеристикам. В тропосфере одновременно существует несколько десятков воздушных масс, которые постоянно перемещаются, изменяют свои физические характеристики — трансформируются и приносят с собой свойственную им погоду: жаркую, сухую, дождливую, холодную и т. д.

Смежные воздушные массы контактируют в *зонах атмосферных фронтов*, под которыми понимают пограничные слои, разделяющие эти массы. Ширина пограничного переходного слоя составляет обычно несколько десятков километров. На атмосферных фронтах происходят наиболее интенсивные движения воздуха, поскольку в них встречаются воздушные массы, обладающие различными физическими свойствами: температурой, влажностью и, следовательно, плотностью и т. д. На фронтах зарождаются огромные вихревые движения воздуха — *циклоны* и *антициклоны*. В зоне фронтов выпадают, как правило, осадки, наблюдаются резкие смены погоды. Таким образом, атмосферные фронты являются наиболее динамичными частями тропосферы.

Воздушные массы можно объединить в следующие географические типы, включающие континентальные и морские разновидности.

*Экваториальный воздух (ЭВ)* образуется в экваториальной зоне и отличается поэтому высокой температурой и влажностью. Эти свойства экваториального воздуха сохраняются не только над океаном, но и над сушей, поэтому его не разделяют на морской и континентальный. В летнее время экваториальный воздух заходит в субэкваториальный пояс, приносит в эти районы обильные осадки.

*Тропический воздух (ТВ)* представлен воздушными массами, формирующимися в тропических и субтропических широтах над океанами и сушей (пустыня Сахара, Аравийский полуостров, Мексика, Австралийские пустыни). В летнее время континентальный тропический воздух формируется над аридными районами умеренных широт (Средняя Азия, Монголия, Северный Китай, Большой бассейн в Северной Америке).

*Континентальный тропический воздух* характеризуется высокой температурой и пониженным влагосодержанием. Над засушливыми районами он содержит значительное количество аэрозольных частиц, и прежде всего минеральной пыли. *Морской тропический воздух* прохладнее континентального, содержит большое количество влаги. Однако из-за высокой температуры он редко достигает состояния насыщения влагой, т. е. характеризуется низкой относительной влажностью. Благодаря этому с поверхности океана в тропическом поясе происходит сильное испарение.

*Воздух умеренных широт (УВ)* формируется в умеренных поясах (зимой и в субтропиках) и отличается значительным разнообразием. *Континентальный воздух* умеренных широт приобретает свои характерные физические свойства над материками. Они резко изменяются по сезонам года: в летнее время воздух сильно прогревается и становится влажным, приближаясь по своим физическим свойствам к континентальному тропическому воздуху. Зимой континентальный воздух сильно охлаждается и становится сухим из-за незначительного испарения. *Морской умеренный воздух* формируется над океанами в средних широтах и отличается повышенной влажностью и умеренной температурой. Зимой он приносит оттепели и осадки, летом — прохладную, пасмурную с осадками погоду. Летом воздух умеренных широт занимает и субарктический (субантарктический) пояс.

*Арктический (антарктический) воздух (АВ, АнТВ)* образуется над ледовыми и снежными поверхностями, сильно выхолаживающимися в зимнее время, особенно во время полярной ночи. Для него характерны низкие температуры, малое влагосодержание и большая прозрачность. Различают *континентальный арктический воздух*, формирующийся над ледниками Гренландии, Антарктиды, островами Арктического бассейна, а зимой и над ледяными полями океана, и *морской арктический (антарктический) воздух*, формирующийся над открытыми водными поверхностями Северного Ледовитого и Южного океанов. Первый — очень холодный и сухой, второй — более теплый и влажный. Вторжение арктического (антарктического) воздуха в умеренные широты всегда приносит похолодание летом и сильные морозы зимой. В зимнее время арктический и антарктический воздух занимает также субарктический и субантарктический пояса.

#### II.4.5. Биосфера

Термин «*биосфера*» употребляется в нескольких смыслах. В наиболее широком значении к биосфере относят не только ту

наружную область Земли, в которой существует жизнь, но и все сферы, в большей или меньшей мере видоизмененные жизнью. Такой смысл вкладывал в этот термин В. И. Вернадский. Он относил к биосфере и верхнюю часть земной коры, включая гранитную оболочку. В таком понимании биосфера пространственно примерно совпадает с географической оболочкой.

Часто биосферой называют область активной жизни организмов, которая охватывает нижнюю часть атмосферы, гидросферу и верхнюю часть литосферы, т. е. область активного взаимодействия геосфер.

В узком смысле под биосферой понимают совокупность живых организмов, населяющих географическую оболочку. }

**Границы распространения жизни.** Жизнь сосредоточена в узком, мощностью в несколько десятков метров приповерхностном слое Земли. Однако в рассеянном виде (главным образом в виде бактерий) она проникает до 3 км в глубь земной коры (под океанами на глубину 0,5—1 км от дна) и захватывает всю тропосферу. Такая пространственная локализация жизни связана с тем, что живые организмы могут существовать в сравнительно узком интервале физических и химических условий. Большая часть высокоорганизованных видов растений и животных функционирует в диапазоне условий, характерных для земной поверхности. Низшие организмы, взятые в целом, способны функционировать в большем диапазоне условий, но каждый отдельно взятый вид приспособлен к узкой «экологической нише» — комплексу условий среды.

Непрерывность эволюции органического мира Земли свидетельствует об устойчивости термодинамических условий на земной поверхности за гигантский отрезок времени — три с лишним миллиарда лет.

**Типы организмов и их функции.** В современных классификациях<sup>1</sup> органический мир Земли делится на четыре царства: *дробянки (прокариоты)*, к которым относят бактерии и синезеленые водоросли; *грибы, растения и животные*. Это деление основано на закономерностях эволюционного развития и клеточного строения организмов.

Живые организмы можно классифицировать также, исходя из функций, выполняемых ими в обмене веществом и энергией. С этой точки зрения следует различать *автотрофные* и *гетеротрофные организмы*. К первым относятся *зеленые растения* и *некоторые прокариоты* (пурпурные фотосинтезирующие бактерии, синезеленые водоросли и др.). Они создают органическое вещество из неорганического, используя в качестве источника энергии солнечную радиацию. Некоторые бактерии осуществляют хемосинтез — создают органическое вещество за счет энергии химических реакций (окисления — аэробные; других реакций — анаэробные).

Гетеротрофные организмы — *животные, грибы, большинство бактерий* — питаются готовым органическим веществом, причем

<sup>1</sup> Тахтаджян А. Л. Система органического мира. БСЭ, изд. 3-е, т. 23, с. 466—468.

грибы и бактерии используют органические остатки и продукты жизнедеятельности других организмов.

Роль живых организмов в обмене веществ в географической оболочке огромна. Это в большой степени объясняется их активностью и способностью к воспроизводству. Интенсивность размножения многих видов простейших организмов неограниченно велика, их потенциальные возможности ограничиваются недостатком продуктов питания, загрязнением среды обитания продуктами жизнедеятельности и конкуренцией с другими видами, обусловленной ограниченностью пространства и другими факторами.

**Экологические свойства организмов.** Важная особенность живых организмов — их способность приспосабливаться к разнообразным условиям существования и видоизменяться в связи с этим. Исследованиями взаимоотношений организмов и среды занимается наука *экология*<sup>1</sup>.

Большим экологическим разнообразием отличаются бактерии. Они распространены в воздухе до высоты озонового экрана, в воде (на всю глубину океана), в почвах, коре выветривания (преимущественно выше горизонта грунтовых вод), в некоторых месторождениях полезных ископаемых (нефть, газ и др.) в земной коре.

Специфические экологические функции выполняют лишайники. Они неприхотливы к естественным условиям (но светолюбивы) и поэтому обычно являются пионерами растительности; поселяясь на выходах горных пород и в других непригодных для жизни вышших растений местах, лишайники способствуют их дальнейшему освоению.

Наиболее изучены экологические свойства растений и животных. Основные экологические факторы этих групп организмов — свет, тепло, влага, эдафические (почвенно-грунтовые) условия, степень загрязненности воздуха. Некоторые организмы могут существовать в широком диапазоне изменения перечисленных факторов, другие приспособлены только к узкому интервалу тех или иных показателей. Организмы второго типа выступают в качестве индикаторов условий среды. Например, по отношению к влаге различают *ксерофиты* — растения сухих местообитаний (ковыли, полыни и др.), *мезофиты* — растения местообитаний с умеренным увлажнением (большинство луговых и лесных трав) и *гигрофиты* — обитатели переувлажненных местообитаний (низких участков пойм рек, болот). Некоторые растения живут в воде — *гидрофиты* и т. д.

Очень большую роль играют эдафические условия. В почве растения закрепляют свои корневые системы, из нее получают влагу и питательные вещества. Значение имеют такие свойства почвы, как механический состав, пористость, содержание гумуса, растворимых солей, структура и др. Для многих животных почва служит основной естественной средой существования или средой, в которой осуществляется часть жизненного цикла.

<sup>1</sup> Экологию иногда определяют и более широко — как науку о природе земной поверхности и о взаимоотношениях природы и общества.

Кроме *абиотических* (т. е. относящихся к неживой природе) *экологических факторов*, большое значение для формирования условий существования имеют взаимоотношения самих организмов: конкуренция, хищничество, симбиоз, паразитизм и др. Внутренняя среда сообщества организмов развивается по собственным законам.

Совокупность внешних и внутренних (*биотических*) факторов среды в свою очередь испытывает воздействие организмов, которые эту среду преобразуют. *Взаимодействие и взаимосвязи организма и среды имеют большое эволюционное значение*. Благодаря им организмы постепенно в ходе геологической истории завоевали практически всю земную поверхность и достигли огромной численности и видового разнообразия: количество видов растений оценивают в 350 тыс., а животных — в 1,5 млн. Количество видов дробянок пока точно не определено.

**Сообщества организмов.** Организмы образуют на земной поверхности закономерные группировки, которые формируются в ходе длительного приспособления организмов друг к другу и к условиям среды (с учетом их активного преобразования самими организмами). Такие группировки называются *биоценозами*.

Распределение группировок организмов и их структура на суше и в океане значительно различаются вследствие больших различий условий среды. Поэтому органический мир суши и океана целесообразно рассмотреть раздельно.

**Органический мир суши.** На суше наиболее важные функции в географической оболочке выполняют растения. Им принадлежит роль создателей органического вещества и свободного кислорода атмосферы.

Группировки растений суши образуют иерархическую последовательность: наиболее крупные — *типы растительности* — делятся на *формации, фитоценозы* и т. д. На карте Физико-географического атласа мира (ФГАМ, 1967, с. 66—67) показано размещение на поверхности материков 22 типов растительности: тундровой, таежной, широколиственной, степной, кустарниково-древесной, субтропической, влажной вечнозеленой тропической и др. Каждый из типов растительности характеризуется определенными чертами структуры и динамики: характером ярусности и связей между организмами, интенсивностью воспроизводства живого вещества и т. д.

Типы растительности размещаются в зависимости от климатических условий, образуют горизонтальные и высотные зоны. В условиях больших количеств тепла и влаги формируются *влажные тропические леса* с многоярусной структурой растительного покрова, обилием видов, высокой интенсивностью процессов роста, отмирания и разложения органических остатков.

При недостатке влаги развиваются различные варианты *степного и пустынного типов растительности*; в субполярных и полярных районах, где недостаточно тепла и короткий вегетационный период, формируются *тундры и арктические пустыни*. В полярных

странах растения находятся у экологической границы существования. Высших растений очень мало, преобладают мхи и лишайники,

*Горизонтальные зоны растительности* образуют на земной поверхности систему, хорошо соответствующую особенностям атмосферной и океанической циркуляции. Например, пустынная растительность в тропическом поясе обычно приурочена к областям суши, в которых преобладает антициклоническая циркуляция (с опусканием воздуха) и которые омываются холодными течениями.

*Высотная зональность (поясность) растительного покрова* характеризуется большой мозаичностью, связанной с разнообразием условий, складывающихся не только в зависимости от широты местности, но и от расстояния до океана (с учетом господствующего переноса воздушных масс), высоты над уровнем моря, экспозиции склонов, литологии горных пород и т. д. Четко проявляются различия в растительности, связанные с положением горных склонов по отношению к другим склонам и господствующему переносу влаги. Например, западные наветренные склоны Южного Урала лучше увлажнены за счет западного переноса воздуха, покрыты лесами, в то время как восточные суше и на значительной площади покрыты степной растительностью с кустарниками.

Еще более сложной мозаикой характеризуется распределение *фитоценозов суши* — растительных сообществ, формирующихся на относительно однородных по рельефу, микроклимату, почвенному покрову участках земной поверхности.

Животные суши также образуют закономерные группировки особей, находящихся в сложных взаимоотношениях как между собой, так и с растительностью и абиотической средой. Такие группировки называют *зооценозами*; они менее устойчивы пространственно, чем фитоценозы, вследствие мобильности животных. Тем не менее для каждого фитоценоза характерен определенный зооценоз. В совокупности фитоценоз, зооценоз и микроорганизмы образуют *биоценоз*.

**Органический мир океана.** Живые организмы населяют всю толщу океанических вод. По типу местообитания и образу жизни морские организмы объединяются в три группы: 1) *планктон* — пассивно перемещающиеся (преимущественно по вертикали) одноклеточные водоросли и некоторые виды животных (одноклеточные, рачки, медузы и др.); они связывают цепи питания поверхностных и глубинных слоев; 2) *нектон* — активно передвигающиеся животные (рыбы, китообразные, головоногие моллюски и др.); 3) *бентос* — организмы, живущие на дне.

Растительные организмы развиваются преимущественно в слое до 400 м глубины. На эту глубину проникает свет, поэтому возможен фотосинтез. Всего насчитывается около 10 тыс. видов морских растений. Преобладают водоросли, которые представлены как микроскопическими формами (планктон), так и крупными, длиной до нескольких десятков метров.

Животные распространены во всех слоях океана (около 160 тыс. видов). Среди них преобладают моллюски, ракообразные, ры-

бы, простейшие. Ниже глубины проникновения света нет растений, следовательно, не создается первичная органическая продукция и животные питаются за счет остатков организмов, поступающих сверху.

Органический мир в океане распределяется неравномерно, в зависимости от температуры, количества света, солености, прозрачности, наличия биогенных веществ, характера грунта (для донных и придонных организмов) и т. д. Выделяют несколько систем зон, различающихся по условиям существования живых организмов. По вертикали соответственно изменению освещенности выделяют *поверхностную зону* — *эпипелагиаль* (до 200 м), *переходную, или мезопелагиаль* (до 750—1000 м), и *глубоководную*. По распределению жизни на дне выделяют *литораль* (приливно-отливная зона), *сублитораль* (до 200 м), *батиаль* (до 2500—3000 м), *абиссаль* (до 6000 м) и *ультраабиссаль* (глубже 6 км).

Различают также две системы зон по горизонтали, о которых речь будет идти ниже.

**Распределение живого вещества.** Совокупность организмов, выраженная в вещественно-энергетическом отношении (масса, химический состав и энергия), называется *живым веществом*. Основной характеристикой живого вещества является *биомасса*. Ее распределение в географической оболочке имеет сложный характер и не всегда достаточно изучено. Последнее касается прежде всего биомассы микроорганизмов и обитателей океана.

Биомасса распределена в географической оболочке очень неравномерно. Наиболее общая закономерность в ее распределении, свойственная всей географической оболочке, — *концентрация биомассы в зонах контактов контрастных сред*. Главная контактная зона географической оболочки, ее фокус — *граница суши и океана с атмосферой*. Наряду с нею существует множество других контактных зон. Установлено, что максимум живого вещества, приуроченный к фокусу географической оболочки, убывает как вверх, так и вниз от него.

Вторая закономерность заключается в том, что *подавляющая часть биомассы сосредоточена на суше* (рис. II.8). Материки (за исключением Антарктиды) на карте выделяются более интенсивной окраской. Биомасса суши примерно в 200 раз больше биомассы океана (табл. II.4). Речь идет о живой (сырой) биомассе. По величине сухого органического вещества материки превосходят океан примерно в 350—400 раз.

На суше фитомасса на три порядка превосходит зоомассу; в океане зоомасса больше, чем фитомасса, примерно в 26 раз. И среди животных, и среди растений океана доминирует планктон.

На суше величина биомассы обнаруживает тесную связь с водно-тепловыми условиями. Она велика в лесных сообществах, особенно во влажных тропических лесах (более 125 кг/м<sup>2</sup>), где много тепла и оптимальное увлажнение. От этого максимума, представленного в виде отдельных ареалов, биомасса убывает в трех направлениях: в сторону тропических пустынь, где рост живых орга-



Рис. П.8. Распределение потенциальных ресурсов живого вещества (живая масса кг/м<sup>2</sup>) на Земле (по К. К. Маркову и др., 1978):

- океан — 1 — менее 0,01; 2 — 0,01—0,03; 3 — 0,03—0,1; суша, океан — 4 — 0,1—0,5 океан, менее 0,6 суша; 5 — 0,5—2,0 океан, 0,6—3,12 суша; 6 — более 2,0 океан, 12,5—суша; 7 — 12,5—75,0; 8 — 75,0—125,0; 9 — более 125,0

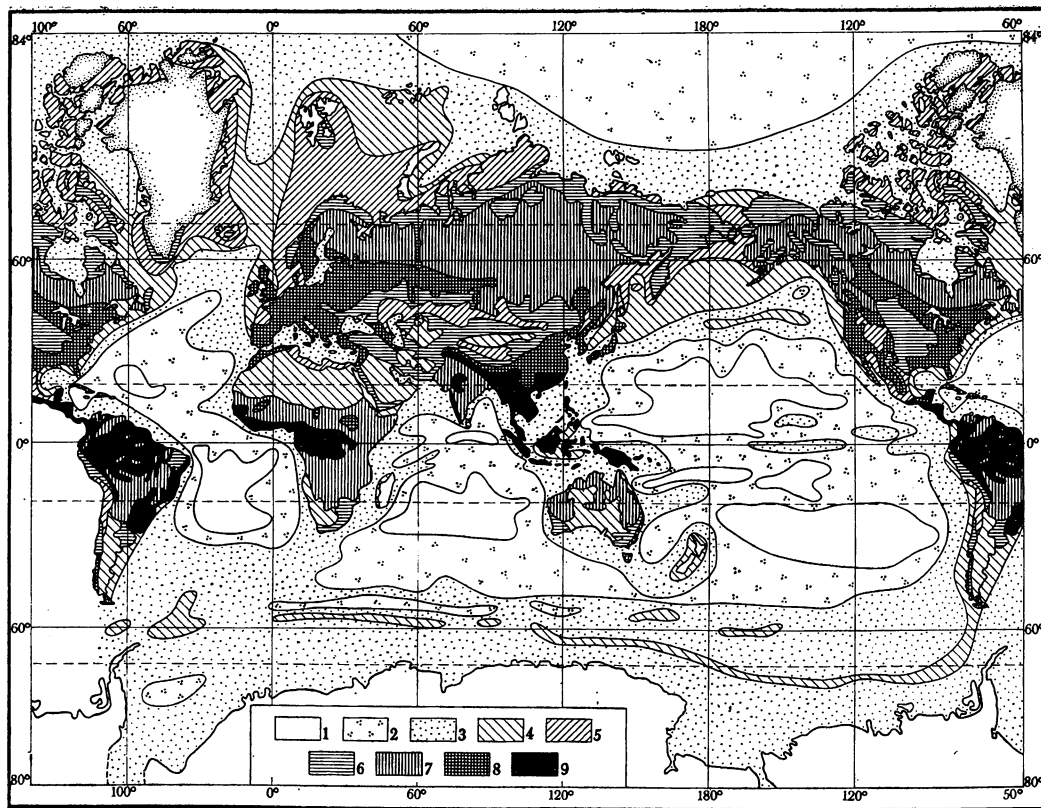


Таблица II.4. Масса (кг) живого вещества Земли (по К. К. Маркову и др., 1978)

Группировки организмов	Биомасса			
	живая масса		сухая масса	
	суша	океан	суша	океан
<i>Продуценты</i>				
Фитомасса	$6,5 \cdot 10^{15}$	—	$2,6 \cdot 10^{15}$	—
Фитопланктон	—	$0,9 \cdot 10^{12}$	—	$0,18 \cdot 10^{12}$
Фитобентос	—	$0,2 \cdot 10^{12}$	—	$0,04 \cdot 10^{12}$
<i>Консументы</i>				
Зоопланктон	—	$21,2 \cdot 10^{12}$	—	$4,2 \cdot 10^{12}$
Зообентос	—	$6,6 \cdot 10^{12}$	—	$2,4 \cdot 10^{12}$
Нектон	—	$1,0 \cdot 10^{12}$	—	$0,23 \cdot 10^{12}$
Зоомасса суши	$6 \cdot 10^{12}$	—	$2 \cdot 10^{12}$	$7,05 \cdot 10^{12}$
Все живое вещество	$6,5 \cdot 10^{15}$	$29,9 \cdot 10^{12}$	$2,6 \cdot 10^{15}$	—

низмов ограничивается дефицитом влаги, в сторону полярных районов, а также высокогорий, где недостаточно тепла. Биомасса центральных частей Антарктиды и Гренландии практически равна нулю.

Более сложные закономерности характерны для распределения биомассы в океане, где не действуют такие ярко выраженные факторы, как тепло и влага на суше. Анализируя распределение жизни в океане, исследователи пришли к выводу о существовании нескольких закономерностей (Айзатуллин Т. А. и др. Океан: активные поверхности и жизнь. Л., 1979):

1. *Циркумконтинентальная зональность*, проявляющаяся в окаймлении зонами континентов. Величина биомассы убывает от прибрежных зон, где она достигает  $1-2 \text{ кг/м}^2$  и более, к центральным частям океанов. Объясняется такая закономерность убыванием количества питательных веществ в воде по мере удаления от континентов. Значительное количество питательных веществ имеет терригенную природу.

2. *Горизонтальная зональность*, связанная с закономерностями распределения тепла и характером вертикальной циркуляции вод. От температуры зависит растворимость кислорода (чем теплее вода, тем растворимость ниже). Лучшие условия создаются для фитопланктона — первичного звена пищевой цепи океана — в местах подъема вод — *апвеллинга*. Малые значения биомассы характерны для тропических морей и центральной части Северного Ледовитого океана —  $0,01-0,03 \text{ кг/м}^2$ . Биомасса увеличивается в областях циклонических круговоротов субантарктического и умеренного поясов ( $0,02-0,2 \text{ кг/м}^2$ ). Высокие показатели биомассы характерны для районов умеренного пояса в северной части Атлантического и северо-западной части Тихого океанов —  $0,5-2,0 \text{ кг/м}^2$ .

Два типа горизонтальной зональности, накладываясь друг на друга, создают сложную мозаику неоднородности распределения биомассы (см. рис. II. 8).

#### II.4.6. Кора выветривания

Твердое вещество литосферы образуется в условиях колоссальных температур и давлений, свойственных земным недрам. В процессе образования (обычно — кристаллизации) оно приспособилось именно к таким условиям внешней среды — земных недр. Попадая в условия земной поверхности, глубинные горные породы оказываются в новой и чуждой им обстановке: ничтожно малого давления и близкой к нулевой температуре, присутствия свободного кислорода и воды (в различных агрегатных состояниях), функционирования живых организмов, обилия органического вещества. Приспосабливаясь к такой обстановке, твердые горные породы начинают разрушаться. Этот процесс называют *выветриванием горных пород*. Необходимо напомнить, что он не имеет никакого отношения к деятельности ветра, поэтому названия процесса и той зоны земной коры, где он происходит (кора выветривания), крайне неудачны. В последнее время используют термин «*гипергенез*» (от греч. гипер — сверх и генез — рождение). Под *выветриванием*, или *гипергенезом*, В. В. Добровольский (1980) понимает сумму процессов преобразования твердого вещества земной коры на поверхности суши под влиянием физико-географических условий. Сущность этих процессов состоит в перегруппировке атомов, образовании новых химических и биохимических соединений, устойчивых в термодинамических условиях земной поверхности.

Устойчивость горных пород и минералов зависит от их собственных свойств (прежде всего кристаллической структуры) и физико-географической обстановки. В среднем наименее устойчивыми являются полевые шпаты, наиболее устойчив — кварц. Физико-географическая обстановка определяется наличием (отсутствием) воды, ее фазовыми переходами, биоценозом и активностью живых организмов, наличием энергии (выветривание — эндотермический процесс), температурой и влажностью. Эти факторы в значительной мере поясno-зональны, поэтому на поверхности суши существуют поясno-зональные *типы выветривания*. Ярким примером такого типа выветривания может служить *латеритный*, характерный для экваториально-тропических поясов.

Процесс выветривания приводит к перекристаллизации и измельчению (диспергированию) вещества. Особое значение для географической оболочки имеют тонкодисперсные разности вещества — *гели*, в том числе такие, как *коллоиды* (глинистое вещество, ил, гумус и др.).

Выветривание воздействует не только на твердое вещество. Оно преобразует природные воды и воздух, находящиеся в зоне гипергенеза. Вода образует растворы и даже рассолы. Ионы раствора мигрируют вместе с водой, попадают в новые условия, где могут взаимодействовать с другими ионами, выпадать в осадок или кристаллизоваться. Этот процесс зависит от свойств внешней среды.

Основными показателями, характеризующими свойства среды, являются *концентрация водородных ионов рН* и *окислительно-*

*восстановительный потенциал*  $E_h$ . Показатель рН свидетельствует о наличии в воде (водном растворе) свободных ионов водорода. Чем их больше, тем более кислая среда. Среда, в которой ионов водорода мало, называется щелочной.

В качестве меры кислотно-щелочного потенциала (так называется это свойство сред) используется величина логарифма концентрации ионов водорода, взятая с отрицательным знаком. Чем больше число рН, тем более щелочная среда. В природных обстановках рН меняется от единиц (4—5 — воды торфяников, обогащенные органическими кислотами) до 10—14 (солончаки, солонцы, в особенности содовые, солоди, содовые озера). Нейтральной является среда с рН около 7,5. На границах сред кислой и щелочной происходят сложные химические реакции. Такие границы относятся к *геохимическим барьерам*. Некоторые полезные ископаемые образовались за счет коагуляции раствора при переходе одной среды в другую (при впадении рек в моря и др.).

Некоторые химические элементы могут находиться в природе в различных стадиях окисления. Это зависит от другого свойства среды — *окислительно-восстановительного потенциала*. В окислительной среде возможны процессы присоединения свободного кислорода к ионам. В восстановительной среде свободного кислорода нет, поэтому между соединениями идет «борьба» за ионы кислорода. В таких случаях химические элементы, связь которых с кислородом менее прочна, могут восстанавливаться. Окислительно-восстановительный потенциал обозначается индексом  $E_h$  и выражается в вольтах.

От окислительно-восстановительного потенциала зависит группировка электронов, ионный потенциал химических элементов. Например, железо может находиться в форме атомов, ионов  $Fe^{2+}$  и  $Fe^{3+}$ . В зависимости от окислительно-восстановительного потенциала среды железо может образовывать гидраты, триоксиды, закиси, оксиды, соединения инертные или мобильные. При изменении  $E_h$  соответственно меняется и форма нахождения железа. Подобным образом ведут себя и другие химические элементы, обладающие способностью образовывать различные ионы.

От рН и  $E_h$  зависят поведение в растворе различных ионов и устойчивость химических соединений. Например, в болоте, где рН равен 4, а  $E_h$  0,4—0,5 В, железо находится в растворе. Вытекающая из болота в виде ручья вода попадает в новые условия: она обогащается кислородом, у нее уменьшается кислотность, если она протекает среди щелочных отложений (например, известняков). В результате железо переходит в нерастворимое соединение и выпадает в осадок. Так могут формироваться болотные железные руды, происходит ожелезнение рыхлых горных пород (например, песков) и осуществляются другие геохимические процессы. За счет перехода раствора железа из одной геохимической обстановки в другую в протерозое образовались гигантские месторождения железных руд Курской магнитной аномалии и Кривого Рога, а в неогене — марганцевые месторождения Никополя и Чиатуры. Слож-

ные изменения при переходе из одной обстановки в другую испытывают грунтовые воды, почвенные растворы и др. Видоизменять показатели среды, а следовательно, и приводить в движение или фиксировать определенные элементы и соединения способны живые организмы с помощью своих выделений. Наиболее изучены эти процессы в почве, которая является биокосным телом.

Совокупность процессов выветривания создает *кору выветривания*. Кора выветривания — это рыхлый слой поверхностных горных пород вместе с включенными в него водами, воздухом, живыми организмами и продуктами их жизнедеятельности, образовавшийся в результате процессов выветривания. По образному определению основоположника геохимии ландшафта Б. Б. Полынова, кора выветривания — это верхняя оболочка литосферы, в которой «земля» (т. е. твердое вещество.— К. Г.), вода, воздух и жизнь приходят в тесное соприкосновение, и материя в своем вечном движении дает, быть может, наибольшее разнообразие форм.

Вещество коры выветривания по большей части представлено рыхлыми бесформенными массами, мощность слоя выветрелых пород резко изменчива — от нескольких десятков до сотен метров (в зависимости от физико-географических условий местности). По вещественному составу — это преимущественно глины. В верхней части они, как правило, переходят в почву.

#### 11.4.7. Почвенный покров

*Почвой* называют поверхностный слой земной коры, возникающий в результате воздействия воды, воздуха и организмов на горные породы. Почвы — особое природное образование, обладающее плодородием, т. е. способностью обеспечивать растения усвояемыми минеральными солями, влагой и давать урожай. В почве обитает множество различных организмов — бактерии, почвенная микрофауна, грибы, корневые системы высших растений, некоторые животные (черви, личинки и т. п.). Они выполняют огромную работу по преобразованию мертвых органических остатков в минеральные соединения, которые усваиваются растениями.

Подобно криосфере *почва принадлежит к производным* (а не основным) *компонентам географической оболочки*, так как она образовалась позже основных компонентов (литосферы, атмосферы, гидросферы и биосферы), является результатом их взаимодействия; почвенный покров не образует целостной сферы, охватывающей всю планету (как основные геосферы Земли), а свойствен только земной коре и только континентам.

Почвы, подобно основным компонентам географической оболочки, обладают ясно выраженным русским строением (почвенные горизонты): это свидетельствует о том, что они находятся под сильным воздействием силы тяготения (как и земная кора, гидросфера и атмосфера) и подтверждает мысль некоторых географов о том, что почвы являются «модификацией» земной коры<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> См.: Солнцев Н. А. Некоторые теоретические вопросы динамики ландшафтов. — Вестн. МГУ, сер. географ., 1963 г., № 2, с. 54.

## II.5. ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ СТРУКТУРА ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ

Дифференциация географической оболочки в горизонтальном направлении выражается в территориальном распределении геосистем, которые, как уже отмечалось в разделе II.3, представлены тремя уровнями размерности: *планетарным*, или *глобальным*, *региональным* и *локальным*.

Важнейшими факторами, определяющими *структуру геосистем на глобальном уровне*, являются *шарообразность Земли* и *замкнутость пространства географической оболочки*. Они определяют поясно-зональный характер распределения физико-географических характеристик и замкнутость, кругообразность движений (круговороты).

*Распределение суши, океана и ледников* также является важным фактором, обуславливающим известную мозаичность не только внешнего облика земной поверхности, но и типов процессов. Динамическим фактором, воздействующим на направление движений вещества в географической оболочке, является *сила Кориолиса*.

Перечисленные факторы определяют общие особенности атмосферной и океанической циркуляции, которая зависит от планетарной структуры географической оболочки.

На *региональном уровне* на первый план выступают различия в местоположениях и очертаниях материков и океанов, рельефе поверхности суши, определяющие особенности распределения тепла и влаги, типов циркуляций, особенности расположения географических зон и другие отклонения от общей картины планетарных закономерностей. В региональном плане существенно положение территории относительно береговой линии, центра или осевой линии материка или акватории и т. д. От этих пространственных факторов зависит характер взаимодействия между региональными геосистемами (морской или континентальный климат, муссонная циркуляция или преобладание западного переноса и т. д.).

Существенное значение имеют конфигурация региональной геосистемы, границы ее с другими геосистемами, степень контрастности между ними и т. д.

На *локальном уровне* (малые части региона площадью от десятков квадратных метров до десятков квадратных километров) факторами дифференциации являются различные детали строения рельефа (мезо- и микроформы — речные долины, балки, водоразделы и т. п.), состав горных пород, их физические и химические свойства, форма и экспозиция склонов, тип увлажнения и другие частные особенности, придающие земной поверхности дробную неоднородность.

Общее землеведение изучает геосистемы только планетарного уровня размерности, т. е. географическую оболочку как целое; однако в отдельных случаях исследуются и более дробные геосистемы.

## II.5.1. Общие черты строения земной поверхности

Большое влияние на ход природных процессов оказывают материки и океаны: соотношение их площадей, положение, характер взаимного размещения. Соотношение площадей и других морфометрических характеристик материков дано в табл. II. 1.

В характере расположения материков отмечаются следующие закономерности<sup>1</sup>:

1. *Большая часть материков расположена в северном полушарии* (Евразия, Северная Америка, части Африки и Южной Америки). Она занимает в общей сложности свыше 100 млн. км<sup>2</sup>, или почти 67 % площади всей суши.

2. *Большая часть Мирового океана сосредоточена в южном полушарии*, где он занимает 60 % поверхности. Такое распределение суши и океанов наглядно иллюстрирует схема так называемого идеального континента (рис. II. 9).

3. *Материки и океаны по своему положению по существу антиподальны*: суше на противоположном конце земного диаметра отвечает океан, и наоборот. Исключение составляет только часть Южной Америки, являющаяся антиподом Юго-Восточной Азии.

4. *Все материки, кроме Антарктиды, группируются попарно*: Европа и Африка, Северная и Южная Америка, Азия и Австралия. Поэтому на земном шаре выделяют *материковые и океанические секторы*.

5. *Почти все материки имеют треугольную форму.*

Материки Южного полушария сдвинуты к востоку относительно отвечающих им парных северных. Это явление пытаются объяснить тем, что радиус северного полушария в целом больше, чем южного, так как в северном полушарии больше площадь материков, выступающих над поверхностью геоида. Из выражения  $r = mR\omega$  (где  $m$  — масса,  $R$  — радиус,  $\omega$  — скорость вращения) следует, что с уменьшением радиуса должна увеличиться скорость вращения. Следовательно, южное полушарие имеет большую скорость вращения, чем северное, если импульсы их движения

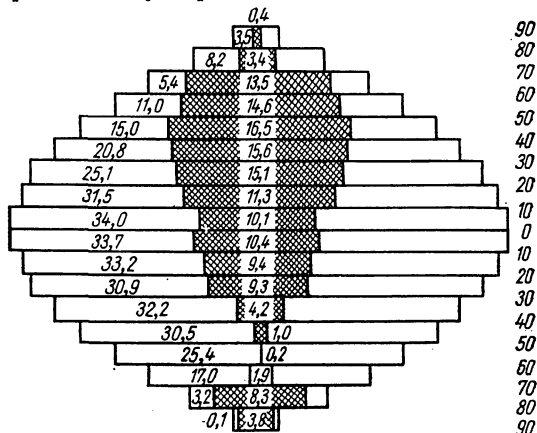


Рис. II.9. Соотношение площадей (млн. км<sup>2</sup>) суши (заштриховано) и океана по географическим широтам через 10°

<sup>1</sup> Калесник С. В. Общие географические закономерности Земли. М., 1970.

равны. Поэтому южное полушарие закручивается относительно северного, постепенно обгоняя его в суточном вращении.

Своеобразные особенности наблюдаются в распределении высот и глубин по широтам земного шара. Еще в конце прошлого века русский геодезист А. А. Тилло рассчитал средние высоты и глубины по широтным кругам. Эти данные мало изменились к настоящему времени, несмотря на значительное усовершенствование техники картографирования (табл. II. 5).

Таблица II.5. Распределение высот и глубин по широтам

Широтные круги, град. широты	Северное полушарие		Южное полушарие	
	средняя высота, м	средняя глубина, м	средняя высота, м	средняя, глубина м
0—10	690	4020	550	4100
10—20	520	4100	830	4200
20—30	740	4150	600	4420
30—40	1350	4150	470	4120
40—50	770	3650	540	4210
50—60	470	2130	400	3690
60—70	360	890	1213	3586
70—80	1000	882	2448	2003
80—90	660	2373	2204	—

Из данных табл. видно, что наблюдается отчетливо выраженный максимум высот на широтах 20—40°, причем примерно тем же широтам отвечает и максимум глубин. Следовательно, на широтах 20—40° наиболее контрастен рельеф поверхности литосферы. К экватору и полюсам уменьшаются и высоты, и глубины, и контрастность планетарного рельефа. Увеличение высот в высоких широтах южного полушария обусловлено мощным ледниковым покровом Антарктиды.

Высочайшие горные вершины также приурочены к широтам около 20—40° (рис. II. 10). На этих же широтах расположено большинство глубочайших впадин Мирового океана. Таким образом, и средние, и максимальные значения высот и глубин характеризуются одними и теми же закономерностями в отношении распределения по широтам. Пока еще эти закономерности не имеют убедительного объяснения. Г. Н. Каттерфельд пытался объяснить их с помощью ротационной гипотезы, рассматривающей взаимодействие Земли и Луны как фактор, обуславливающий появление на земной поверхности так называемых активных поясов и центров. Однако эта гипотеза пока слабо обоснована с физической точки зрения.

Отмеченная выше асимметричность северного и южного полушарий находит свое выражение не только в своеобразии распределения материков. Асимметрично и распределение океанических впадин, типов земной коры и оледенения.



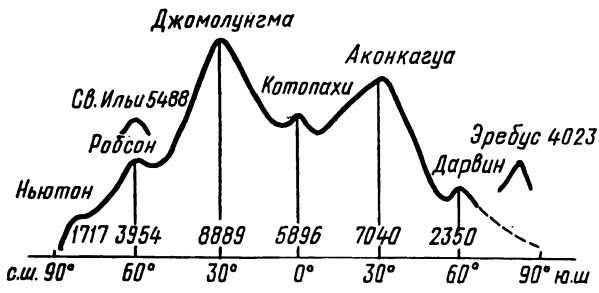


Рис. II.10. Распределение высот гор в зависимости от широты (по Л. П. Шубаеву, 1977)

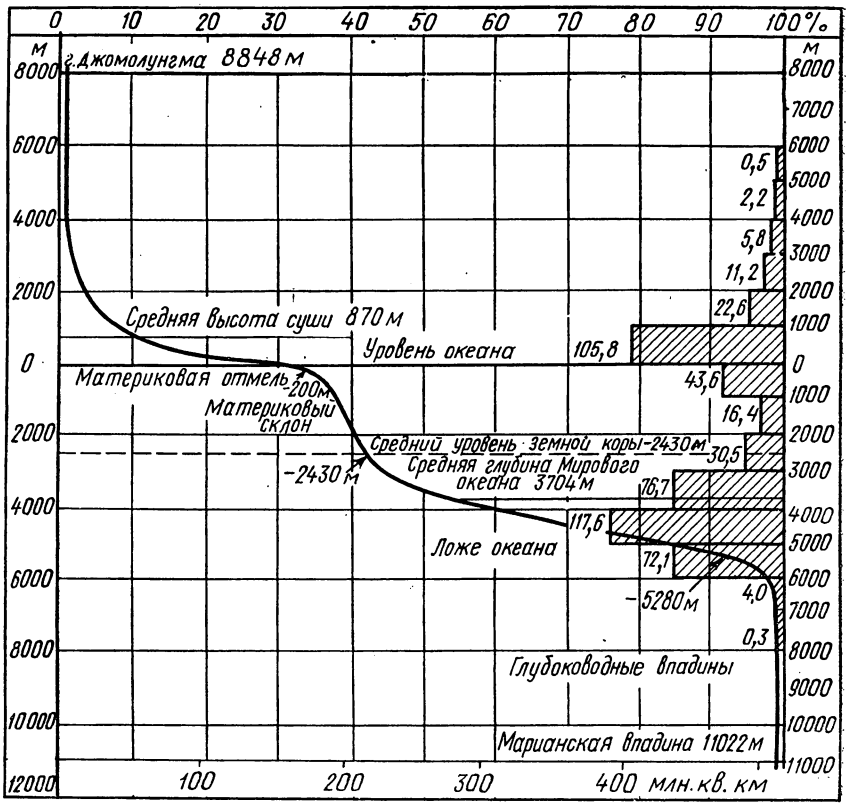


Рис. II.11. Гипсографическая кривая Земли. Прямоугольники справа — площади высотных ступеней (через 1 км поверхности литосферы)

Наиболее общую характеристику распределения высот и глубин земной поверхности дает *гипсографическая кривая* (рис. II. 11). Гипсографической кривой называют график в прямоугольных координатах, изображающий распространённость на Земле различных высот и глубин поверхности земной коры. На этой кривой чет-

ко проявляются основные закономерности морфометрии земной поверхности, так как на вертикальной оси отложены высоты, а на горизонтальной — площади земной поверхности, соответствующие этим высотам. На графике выделяются две симметричные части кривой. Одна из них характеризует материковую, другая — океаническую кору. Их симметричность обусловлена тем, что и значительные высоты суши, и большие глубины океана занимают небольшие площади поверхности. На этих отрезках кривая графика круто опускается. В пологой части кривой, т. е. там, где каждой высотной ступени соответствует значительная площадь, также выделяются два участка. Левый соответствует преобладающим высотам суши и отчасти затопленной окраине материков (шельфу). Он занимает высотный интервал от 1 до —0,2 км и около 30 % площади земной поверхности. Правый пологий участок кривой соответствует ложу океана в интервале глубин 3—6 км. К нему относится около 50 % площади земной поверхности. Между выделенными пологими участками находится относительно крутой спад глубин (интервал глубин 0,2—3 км), на который приходится примерно 10 % поверхности.

Анализ полученного распределения высот и глубин показывает, что в нем есть закономерности структурного и генетического характера. Два максимума распространения высот (они хорошо видны на столбчатой диаграмме) отвечают двум основным генетическим типам земной коры — материковому и океаническому. Их взаимное высотное положение соответствует изостатическому равновесию литосферы.

Закономерность взаимной связи между высотами поверхности литосферы и площадями континентов и океанов подчеркивается при

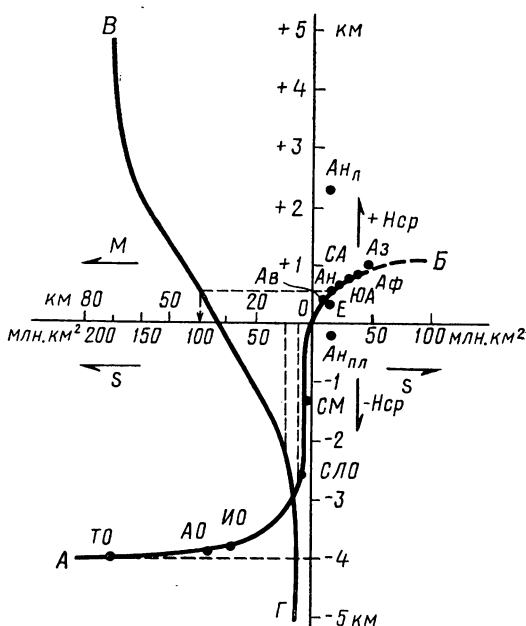


Рис. II.12. Соотношение между средними высотами (глубинами) АВ и средними мощностями земной коры ВГ (по П. С. Воронову, 1968):  $+H_{ср}$  — средняя высота;  $-H_{ср}$  — средняя глубина; S — площадь; M — средняя мощность коры; Аз — Азия; Аф — Африка, СА — Северная Америка, ЮА — Южная Америка, АН — Антарктида, Е — Европа, Ав — Австралия; АН<sub>д</sub> — средняя высота ледникового покрова; АН<sub>пл</sub> — средняя высота современного гипсометрического положения коренного ложа; СМ — Средиземное море, СЛО — Северный Ледовитый океан, ИО — Индийский океан, АО — Атлантический океан, ТО — Тихий океан

сопоставлении этих показателей с мощностью земной коры указанных структурных единиц. Такое сопоставление было проделано П. С. Вороновым (рис. II. 12). Систему координат графика П. С. Воронова образуют: горизонтальная ось — площади, откладываемые вправо и влево от начала координат (координата  $S$ ); влево отложены и значения мощности земной коры (координата  $M$ ); вертикальная ось — вверх от начала координат идут высоты, вниз — глубины (средние для каждого континента и океана). Кривая  $AB$  характеризует зависимость средней высоты от площади. На ней проставлены отметки континентов и океанов в виде буквенных индексов. Кривая  $BГ$  (она расположена только в левой части графика) отражает зависимость между площадью и средней мощностью земной коры. Пунктирными линиями показаны отдельные случаи зависимости между тремя величинами.

Анализ кривых свидетельствует о том, что между высотой, мощностью коры и площадью существует *зависимость типа гиперболического тангенса*. Характерная особенность такой зависимости — постепенное приближение функций к некоторому пределу. В данном случае предел характерен для значений средних высот континентов и средних глубин океанов. Отсюда, в частности, следует, что в пределах Земли не может быть ни материков, средняя высота которых существенно выше 1 км, ни океанов, средняя глубина которых более 4 км. Кривая  $BГ$  свидетельствует о том, что имеются пределы мощности земной коры: нижний около 5 км, верхний около 70 км. Отмеченные закономерности, скорее всего, носят изостатический характер. Их связывают и с другими свойствами земной коры, в частности с растеканием вещества под действием гравитационных сил, но эта связь пока гипотетична.

### II.5.2. Поясно-зональные структуры

Многие физико-географические явления распределяются на земной поверхности в форме вытянутых преимущественно вдоль параллелей или субширотно (т. е. под некоторым углом к ним) полос. Это свойство географических явлений называется *зональностью*. Такая пространственная структура свойственна, прежде всего, климатическим показателям, растительным группировкам, типам почв; она проявляется в гидрологических и геохимических явлениях как производная от первых. В основе зональности физико-географических явлений находится известная *закономерность поступления на земную поверхность солнечной радиации*, приход которой убывает от экватора к полюсам по *закону косинуса*. Если бы не особенности атмосферы и подстилающей поверхности, то приход солнечной радиации — энергетической основы всех процессов в географической оболочке — в точности определялся бы этим законом. Однако земная атмосфера имеет различную *прозрачность* в зависимости от облачности, а также запыленности, количества водяного пара и других компонентов и примесей. Распределение прозрачности атмосферы имеет, в числе прочих, зональную составляющую, что легко заме-

тить на космическом снимке Земли: на нем полосы облаков образуют пояса (в особенности вдоль экватора и в умеренных и полярных широтах). Таким образом, на правильное закономерное убывание прихода солнечной радиации от экватора к полюсам накладывается более пестрая картина прозрачности атмосферы, выступающей в качестве дифференцирующего фактора солнечной радиации.

От солнечной радиации зависит температура воздуха. Однако на характер ее распределения влияет еще один дифференцирующий фактор — *термические свойства земной поверхности* (теплоемкость, теплопроводность), обуславливающий еще большую мозаичность распределения температур (по сравнению с солнечной радиацией). На распределение тепла, а следовательно, и температуры поверхности влияют *океанические и воздушные течения*, образующие системы переноса тепла. Еще более сложно распределяются на земном шаре *атмосферные осадки*. Они имеют две четко выраженные составляющие: зональную и секторную, связанные с положением на западной или восточной части континента, на суше или на море. Закономерности пространственного распределения перечисленных климатических факторов представлены на картах Физико-географического атласа мира (1964).

Совместное воздействие тепла и влаги является тем основным фактором, который определяет большинство физико-географических явлений. Поскольку в распределении влаги и, особенно, тепла сохраняется поширотная ориентация, то и все производные от климата явления ориентированы соответствующим образом. Создается *сопряженная пространственная система*, имеющая поширотную структуру. Она называется *географической поясностью*. Поясная структура природных явлений на земной поверхности впервые достаточно отчетливо была отмечена А. Гумбольдтом, хотя о тепловых поясах, т. е. основе географической поясности, знали еще в Древней Греции.

В конце прошлого века В. В. Докучаевым был сформулирован *мировой закон зональности*. В первой половине нашего века ученые стали говорить о *географических зонах* — вытянутых территориях с однотипным характером многих физико-географических явлений и их взаимодействий.

**Климатические пояса.** Отчетливо поясность проявляется, как уже указывалось, в распределении климатических показателей — солнечной радиации, температуры, а также атмосферного давления. Наблюдается зависимость свойств воздушных масс от широты. Но радиация и температура изменяются от низких широт к высоким постепенно, хотя в частных случаях (на берегах морей, горных хребтах и др.) имеют место и скачкообразные изменения. Вследствие плавности изменения основных характеристик климата невозможно выделить пояса — дискретные элементы структуры.

Дискретно распределяется на земной поверхности атмосферное давление. Вследствие ячеистой циркуляции атмосферы на поверхности Земли существуют *пояса повышенного и пониженного атмосферного давления*. Таких поясов выделяют семь (см. Физико-гео-

графический атлас мира, с. 20): экваториальный и два умеренных пониженного давления, два тропических и два полярных повышенного давления. Дискретность распределения давления подчеркивается различными направлениями ветров и границами воздушных масс.

По сезонам года пояса давления смещаются вслед за перемещением зенитального положения Солнца. Над пограничными между основными поясами территориями происходит сезонная смена давления, а также направления ветров и воздушных масс. Здесь формируются промежуточные пояса (они обозначаются с помощью приставки «суб»: субэкваториальный и др.). Таких промежуточных поясов шесть: по два субэкваториальных и субтропических, субарктический и субантарктический. Таким образом, в целом получается система из 13 климатических поясов:

1. *Экваториальный пояс* с господством на протяжении всего года экваториальных воздушных масс.

2. *Два субэкваториальных пояса*, для которых летом характерен экваториальный, а зимой — тропический воздух.

3. *Два тропических пояса*, где круглогодично господствует тропический воздух.

4. *Два субтропических пояса* с тропическими воздушными массами летом и умеренными — зимой.

5. *Два умеренных пояса* с воздушными массами умеренных широт в течение всего года.

6. *Субарктический и субантарктический пояса* с чередованием воздуха умеренного (летом) и арктического (антарктического) типов.

7. *Арктический и антарктический пояса* с круглогодичным господством соответствующих воздушных масс.

**Типы растительности.** Растительные группировки суши земного шара также образуют вытянутые полосы, но более сложной конфигурации, чем климатические пояса. Их называют *зонами растительности: тундры, тайги, лиственных летнезеленых лесов, степей, полупустынь, саванн, экваториальных дождевых лесов* и т. д. Каждая из них представляет собой определенную растительную группировку — тип растительности (см. Физико-географический атлас мира, 1967, с. 66—67).

**Типы почв.** Почвенный покров тесно связан с растительностью, а также характером увлажнения, материнской породой, режимом функционирования и генезисом данной территории. Существует понятие генетического типа почв, введенное В. В. Докучаевым. Зональными генетическими типами являются *тундровые глеевые; таежные подзолистые, дерново-подзолистые; черноземные, каштановые степей; сероземы полупустынь и пустынь* и т. д.

**Периодический закон географической зональности.** В 50-х годах текущего столетия советские ученые А. А. Григорьев и М. И. Будыко, развивая закон зональности В. В. Докучаева, сформулировали *периодический закон географической зональности*. Им устанавливается повторение однотипных географических зон внутри поясов

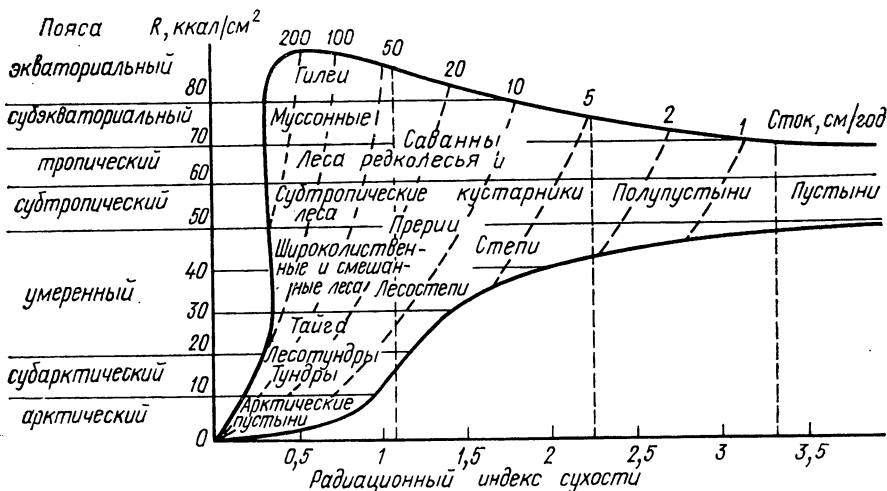


Рис. II. 13. График географической зональности суши Северного полушария (по А. А. Григорьеву и М. И. Будыко)

в зависимости от соотношения тепла и влаги. Например, лесные зоны есть в экваториальном, субэкваториальном, тропическом, субтропическом и умеренном поясах. Такие же повторения однотипных зон характерны и в других случаях. Так, степи и пустыни встречаются в различных поясах. Наличие однотипных зон в разных поясах связывается с повторением одинаковых соотношений тепла и влаги. Последние обычно иллюстрируются с помощью коэффициентов, показывающих соотношение тепла, осадков, испарения, влажности почвы и др.

В начале XX в. ученик В. В. Докучаева Г. Н. Высоцкий предложил коэффициент, равный отношению количества атмосферных осадков к испаряемости. М. И. Будыко для обоснования периодического закона ввел понятие *радиационного индекса сухости*, представляющего собой отношение радиационного бюджета к затратам теплоты на испарение выпадающих атмосферных осадков. На рис II. 13 и в табл. II. 6 показана связь географических зон с величиной радиационного бюджета и радиационным индексом сухости. Каждая зона приурочена к определенному интервалу значений индекса сухости и радиационного бюджета.

**Планетарная модель зональности.** На рис. II. 14 показана модель зональности, построенная теоретически на идеальном континенте. Последний, в свою очередь, отражает распределение суши по параллелям Земли. Ширина идеального континента на каждой параллели представляет собой сумму длин дуг параллелей, пересекающих континенты. При построении идеального континента предполагается, что на нем отсутствуют горы. Циркуляция океана вокруг континента соответствует реальной.

Модель зональности, рассчитанная по соотношению радиационного бюджета, количества осадков и радиационному индексу сухо-

Таблица II.6. Периодическая система географической зональности

Тепловая энергетическая база — радиационный бюджет, $10^8$ Дж/(м <sup>2</sup> ж × Год)	Меньше 0 (крайне избыточное увлажнение)	Условия увлажнения — радиационный индекс сухости								
		от 0 до 1						от 1 до 2 (умеренно недостаточное увлажнение)	от 2 до 3 (недостаточное увлажнение)	более 3 (крайне недостаточное увлажнение)
		избыточное увлажнение				оптимальное увлажнение 4/5—1				
		0—1/5	1/5—2/5	2/5—3/5	3/5—4/5					
Меньше 0 (высокие широты)	I Вечный снег	—	—	—	—	—	—	—	—	
0—2,1 (южноарктические, субарктические и средние широты)	—	IIa Арктическая пустыня	IIб Тундра (на юге с островками редколесий), заболоченное мелколесье	IIв Северная и средняя тайга	IIг Южная тайга и смешанные леса	IIд Лиственный лес и лесостепь	III Степь	IV Полупустыня умеренного пояса	V Пустыня умеренного пояса	
2,1—3,1 (субтропические широты)	—	—	VIa Районы субтропической гемигилей со значительным количеством болот	VIб Дождевые субтропические леса	—	—	VII Жестколистные субтропические леса и кустарники, листопадные леса	VIII Субтропическая полупустыня	IX Субтропическая пустыня	
Больше 3,1 (тропические широты)	—	—	Xa Районы преобладания экваториальных лесных болот	Xб Сильно переувлажненный (сильно заболоченный) экваториальный лес	Xв Среднепереувлажненный (среднезаболоченный) экваториальный лес	Xг Экваториальный лес, переходящий в светлые тропические леса и лесные саванны	XI Сухая саванна, листопадные леса	XII Опустыненная саванна (тропическая полупустыня)	XIII Пустыня тропическая	

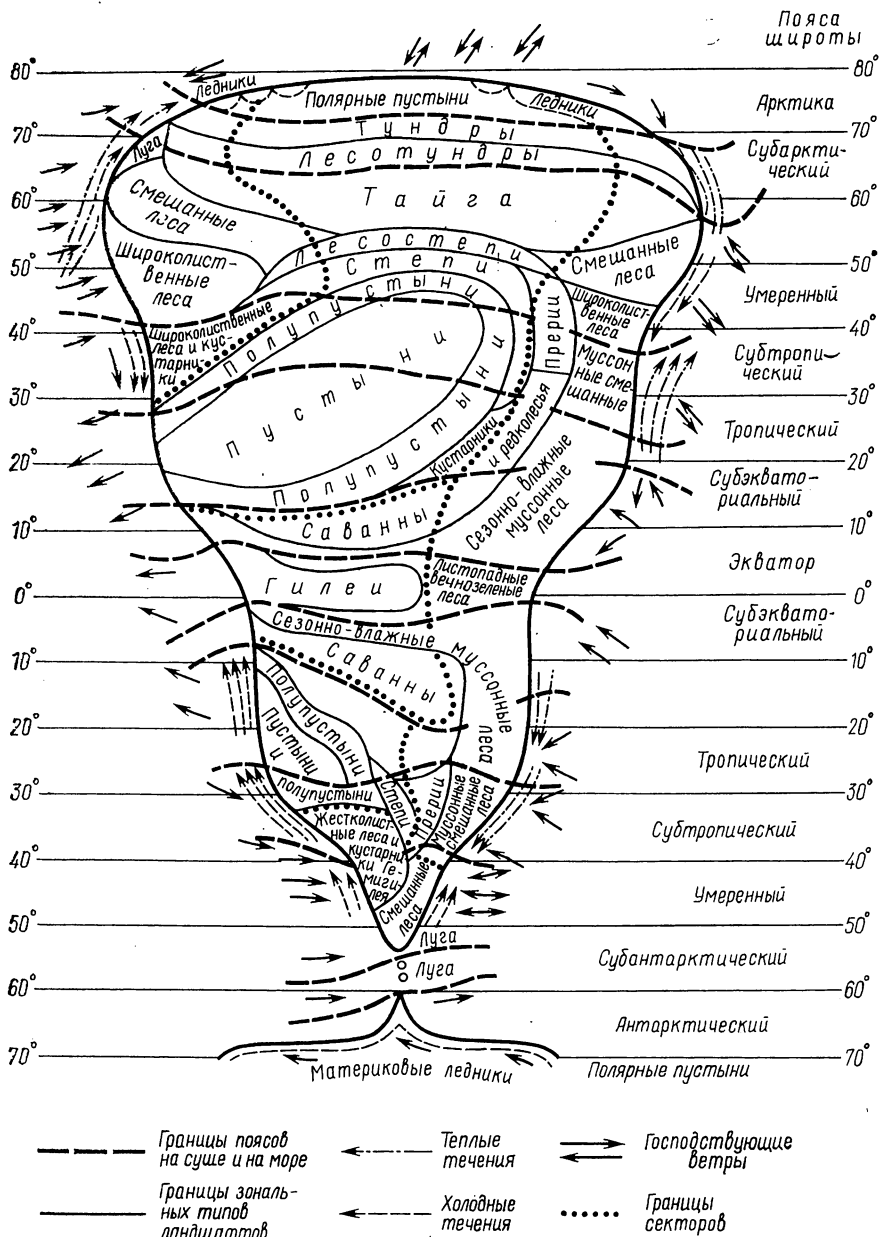
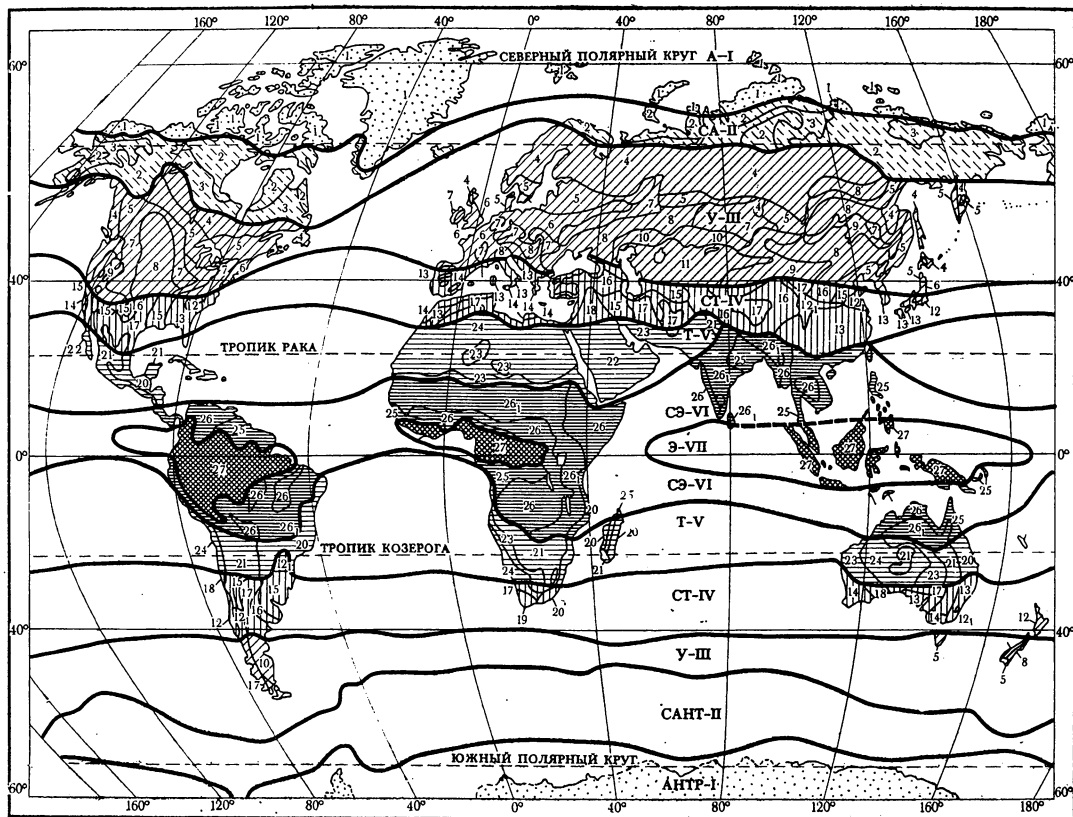


Рис. II.14. Схема географических поясов и основных зональных типов ландшафтов на гипотетическом материке. Конфигурация материка соответствует распределению суши по широтам; предполагается отсутствие гор (по А. М. Рябчикову, 1972)














ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ПОЯСА	ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ЗОНЫ	ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ПОЯСА	ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ЗОНЫ	ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ПОЯСА	ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ЗОНЫ
Арктический и антарктический <b>I</b>  <b>A. АНТР</b>	1 Арктические и антарктические пустыни		12 Гемиптлеи и влажные субтропические леса 12 <sub>1</sub> Широколиственные леса субтропиков	Тропические <b>V</b>  <b>T</b>	20 Тропические леса 21 Саванны, редколесья и кустарники 22 Полупустыни и пустыни (без расчленения) 23 Полупустыни 24 Пустыни
Субарктический и субантарктический <b>II</b>  <b>CA САНТ</b>	2 Тундра 3 Лесотундра		13 Муссонные смешанные леса 14 Средиземноморские сухие леса и кустарники		
Умеренные <b>III</b>  <b>У</b>	4 Тайга 5 Смешанные леса 6 Широколиственные леса 7 Лесостепи 8 Степи 9 Полупустыни и пустыни (без расчленения) 10 Полупустыни 11 Пустыни	Субтропические <b>IV</b>  <b>СТ</b>	15 Прерии, саванны и кустарники 16 Степи 17 Полупустыни и пустыни (без расчленения) 18 Полупустыни 19 Пустыни	Субэкваториальные <b>VI</b>  <b>СЭ</b>	25 Субэкваториальные леса 26 Саванны, редколесья и кустарники 26 <sub>1</sub> Опустыненные саванны, редколесья и кустарники
				Экваториальные <b>VII</b>  <b>Э</b>	27 Влажные экваториальные леса (гилей)
				 	Границы поясов Границы зон

Рис. II.15. Географические пояса и зоны (по К. К. Маркову и др., 1978).



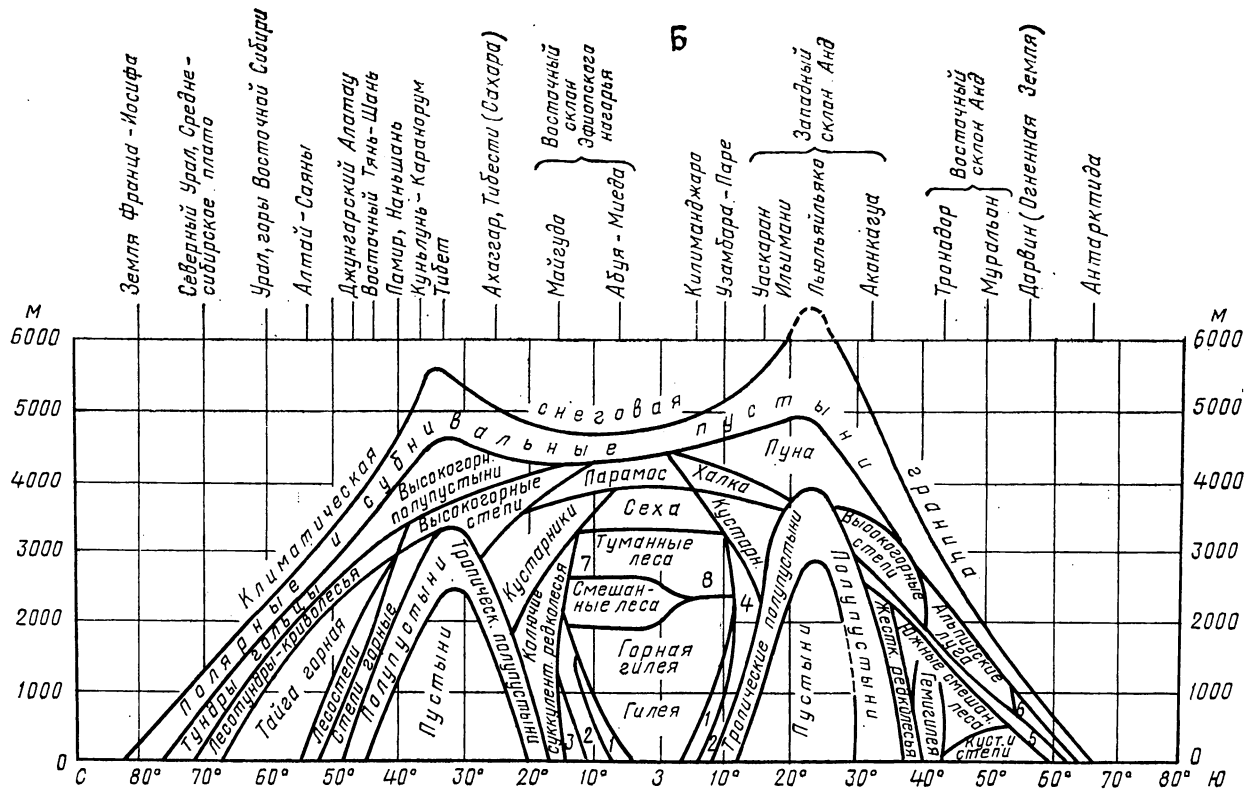


Рис. II.16. Типы структур высотной зональности (по А. М. Рябчикову, 1972):

А — влажные секторы материков — 1 — листопадно-вечнозеленые (субэкваториальные) леса; 2 — субтропические муссонные леса; Б — континентальные секторы материков — 1 — листопадно-вечнозеленые (субэкваториальные) леса; 2 — муссонные леса; 3 — саванны; 4 — колючие и суккулентные редколесья; 5 — буквое криволесье; 6 — торфяные луга; 7 — хвойные леса с верещатниками; 8 — бамбуковые папоротниковые леса

сти, довольно хорошо объясняет реальную картину распределения географических зон (рис. II. 15), исключая влияние гор, индивидуальных особенностей очертаний отдельных материков и других региональных факторов. Соответствие расчетной и реальной картины распределения географических зон свидетельствует о том, что зональность — закономерная черта структуры географической оболочки.

**Высотная зональность.** Условия распределения тепла и влаги меняются с высотой в горных районах, поэтому в горах формируются зоны, подобные горизонтальной зональности на равнинах. В различных районах земного шара формируются различные спектры высотных зон (рис. II. 16, *A* и *B*). В горных районах распределение климата, растительности, почв, многих геохимических и других явлений связано с теми же факторами, что и на равнинах, но имеет более сложный характер. Поясность и зональность Мирового океана определяются иными факторами, чем суши.

### II.5.3. Циркумконтинентальные структуры

В географической оболочке вытянутость некоторых явлений в виде полос или поясов связана не только с зональным фактором, но также и с влиянием соседства континентов и океанов. Каждый континент представляет гигантскую глыбу материковой коры, постепенно переходящую в океаническое ложе. В переходной от материка к ложе зоне выделяются *шельф*, или *материковая отмель*, *материковый склон* и *материковое подножие*, занимающие интервал глубин от уровня воды до 2 км. Названные структурные элементы окаймляют сушу. В их пределах происходит постепенное изменение физико-географических характеристик, связанное как с увеличением глубины, так и с удалением от континента.

С удалением от континента в океане изменяются: количество вещества континентального (терригенного) происхождения, распределение свойств морской воды, обилие жизни.

На суше также имеет место подобная концентрическая зональность, обусловленная уменьшением влияния океана по мере удаления от его берегов.

### II.5.4. Ландшафтная структура

На поверхности Земли, на материках и океанах существует очень сложная сеть закономерных сочетаний основных и производных компонентов, образующих разнообразнейшие *природные территорияльные* и *природные аквальные комплексы* (ПТК и ПАК).

Известно, что необходимой предпосылкой изучения любого явления является классификация, т. е. группировка этих явлений по каким-либо существенным признакам. В науке о природных комплексах (как ПТК, так и ПАК) далеко еще не решен вопрос, по каким признакам их классифицировать, что, безусловно, препятствует учению и изучению ПТК и ПАК.

Основные положения учения о ПТК в понимании Н. А. Солнцева — одного из основоположников современного ландшафтоведения — сводятся к следующему:

1. Неисчислимо множество природно-территориальных комплексов на суше (и природно-аквальных комплексов на морях и океанах) образует иерархическую, т. е. соподчиненную, систему — от наименьшего и наиболее просто построенного ПТК на суше — *фации* до самого большого и чрезвычайно сложно построенного ПТК, именуемого *географической оболочкой*<sup>1</sup>. Географическая оболочка — природный комплекс самого высокого, планетарного ранга, имеющийся в единственном числе в Солнечной системе и только на планете Земля.

2. Все огромное количество природно-территориальных комплексов может быть разделено на две большие группы: *полные*, в состав которых входят все основные компоненты — земная кора, вода, воздух, растительность и животный мир, и *неполные*, в составе которых отсутствуют некоторые из перечисленных компонентов, например жидкая вода или растения, или животные, или земная кора (находится под мощной толщей воды в океане, поэтому не может непосредственно взаимодействовать с остальными компонентами).

3. Во всем множестве ПТК и ПАК необходимо выделить такой комплекс, который следует считать *основной единицей* или *репером* во всей массе ПТК (ПАК), от которого удобно было бы вести отсчет всех остальных групп ПТК (ПАК), подобно тому, как в биологии принято считать основной единицей вид растений и животных, а виды затем объединяют в роды, семейства, классы и т. д.

4. Основной единицей в ландшафтоведении предлагается считать *ландшафт*, т. е. такой полный ПТК, в структуре которого непосредственно участвуют все основные компоненты, начиная с земной коры и кончая животными, населяющими данный ПТК. Следовательно, природный ландшафт — это такой ПТК, обособление которого связано с блоком (микроблоком) земной коры, под воздействием которого находятся все остальные компоненты комплекса. Блок должен быть достаточно обширным — до нескольких десятков квадратных километров, а может быть и до первых сотен квадратных километров, достаточно обособленным от соседних блоков, со своей индивидуальной морфологической структурой.

5. Под *морфологической структурой ландшафта* понимают состав подчиненных морфологических частей ландшафта — фаций, урочищ и местностей, взаимосвязанных и имеющих характерный для данного ландшафта рисунок. Морфологические части ландшафта — фации, урочища и местности связаны с определенными формами рельефа — склонами, холмами, грядами, ложбинами и другими, созданными экзогенными факторами — текучими водами, ветром, ледником и др. Принципиальное отличие природного ландшафта от морфологических частей его в том, что первый обо-

<sup>1</sup> Солнцев Н. А. О взаимоотношениях «живой» и «мертвой» природы. — Вестн. МГУ, сер. географ., 1960, № 6.

соблен под воздействием эндогенных (внутренних) сил, а вторые — под влиянием экзогенных (внешних) сил, обусловленных энергией Солнца.

Опираясь на перечисленные положения, можно классифицировать ландшафты. По роли земной коры и характеру ее тектонических движений можно разделить все ландшафты на два больших класса: *ландшафты равнинных стран* и *ландшафты горных стран*. Первые сформировались на малоподвижных и более древних платформенных блоках земной коры, вторые — на активных и более молодых геосинклинальных. Классы делятся на группы, группы на семейства, затем выделяются роды, типы и индивидуальные ландшафты. Рассмотрим классификацию ландшафтов на примере Русской равнины, достаточно полно изученной в геологическом, геоморфологическом, гидроклиматическом, почвенно-ботаническом и зоогеографическом отношениях, а также и в отношении природных ландшафтов.

Русская равнина разделяется на *группы ландшафтов возвышенностей* и *низменностей*. Первые характеризуются высоким залеганием кристаллического фундамента и глубоким эрозийным расчленением поверхности, вторые — более глубоким залеганием фундамента и слабым расчленением поверхности.

Группа возвышенных ландшафтов разделяется на *семейства ландшафтов: денудационных*, в которых кристаллический фундамент выходит на дневную поверхность, и *пластовых*, в которых фундамент перекрыт пластами осадочных пород. На территории Русской равнины денудационные ландшафты распространены на севере на Кольском полуострове и в Карелии, где на дневную поверхность выходит кристаллический фундамент, на юге (Украинский щит), на правобережье Украины, где фундамент перекрыт плащом лёссовидных суглинков, а местами и более древних осадочных пород.

Для семейства ландшафтов денудационного типа Кольско-Карельского региона характерны такие особенности: 1) территория покрывалась четвертичными оледенениями, которые оставили специфические ледниковые отложения — морены и флювиогляциальные пески, а также характерный ледниковый рельеф — множество гряд, ложбин, заполненных многочисленными озерами, и порожистые реки; 2) прохладный и даже холодный климат, в условиях которого произрастают хвойные, елово-сосновые леса и лесотундровая растительность на скелетных, подзолистых и болотных почвах.

В иных условиях формировалось семейство денудационных ландшафтов Украинского щита. Только северная (Житомирская) часть его частично покрывалась днепровским ледником, талые воды которого оставили по преимуществу пески. На них произрастают дубово-сосновые леса на дерново-слабоподзолистых почвах. На этой части щита сформировались ландшафты *полесского типа*. Среди них преобладают *зандровые ландшафты* с сосновыми и сосново-березовыми лесами на дерновых слабоподзолистых почвах и *моренно-зандровые* с преобладанием дубово-сосновых лесов на дерно-

вых среднеподзолистых почвах. Изолированным островом в этом районе поднимается Овручская гряда, не испытавшая оледенения и перекрытая лессовидными суглинками, с лесостепной растительностью на серых оподзоленных почвах. В целом в Житомирском полесье выделяется не менее десяти *индивидуальных ландшафтов*, приуроченных к отдельным блокам кристаллического фундамента: сосницких, клесовских, корецких, новоград-волынских, житомирских и других гранитов, сеноманских песчаников, палеогеновых песков и т. д.

Приведенными примерами мы хотели только проиллюстрировать принципы классификации ландшафтов, понимая, что еще довольно далеко до создания целостной картины ландшафтного строения географической оболочки.

Анализ состава и строения географической оболочки позволяет перейти к вопросу о роли в ней отдельных геокомпонентов.

Как основные геокомпоненты (литосфера, гидросфера, атмосфера и биосфера), так и производные (криосфера, почвенный покров, хиносфера) необходимы для нормального функционирования географической оболочки. Уничтожение либо даже значительное сокращение геокомпонентов (например, ледниковых покровов Антарктиды и Гренландии или обширных болот Полесья, Западно-Сибирской равнины) может повлечь за собой далеко идущие последствия, которые в состоянии неблагоприятно повлиять не только на природу тех районов, которые непосредственно подверглись воздействию, но и на функционирование всей географической оболочки, потому что она является целостной системой. Это положение несомненно, и оно подтверждено вековым опытом человечества.

Однако все ли компоненты равноценны по своему значению, по своей роли в процессах, протекающих в географической оболочке? С точки зрения одних географов, все геокомпоненты равноценны, поскольку они необходимы для нормального функционирования географической оболочки, с точки зрения других — наиболее важным является живое вещество, поскольку без него (без растительности) исчезнет кислород атмосферы, следовательно, коренным образом изменится весь облик географической оболочки. Некоторые географы считают важнейшим компонентом воду, поскольку она играет решающую роль в процессах обмена веществом и энергией в географической оболочке, а также в функционировании живых организмов. Наконец, немногие географы полагают, что главным геокомпонентом является земная кора, твердый фундамент географической оболочки, изменения которого влекут за собой эволюцию всей ее структуры.

Географическая оболочка представляет собой систему, а система — это некоторое единство объединенных связями разнородных элементов (компонентов), выполняющее целостную функцию. Единство может быть устойчивым, подобно географической оболочке, существующей уже на протяжении миллиардов лет, или неустойчивым, подобно воздушному вихрю, который, будучи тоже системой, существует считанные минуты или часы.



Компоненты географической оболочки обладают различной устойчивостью и с этой точки зрения их разделяют на *устойчивые*, или *инертные* (земная кора), *мобильные* (гидросфера и атмосфера) и *активные* (живое вещество). Устойчивые компоненты играют роль основы, фиксирующей структуру географической оболочки. Мобильные компоненты выполняют функции переноса, транспорта вещества и энергии, а активные — биотические функции (созидания и накопления новых типов вещества и энергии и др.).

Компоненты неравнозначны не только по степени динамичности, но и по своим массам. Норвежский геохимик В. Гольдшмидт приводит такое образное сравнение масс компонентов, составляющих геосферу: если массу литосферы сравнить с каменной чашей, то гидросферу можно уподобить воде, заполняющей эту чашу, атмосферу — маленькой монетке, брошенной на дно чаши, а биосферу — почтовой марке, плавающей на поверхности. Более строгое представление о соотношении масс дает табл. II. 3.

Важнейшие черты структуры географической оболочки — *деление земной поверхности на материки и океаны, острова и моря, равнины и горы* — обусловлены различиями в строении земной коры. Эти черты структуры оказывают существенное воздействие на циркуляцию вод и атмосферы, а через них — на климат, затем на растительный и почвенный покровы Земли.

При рассмотрении эволюции, т. е. *направленного изменения, развития географической оболочки* на протяжении ряда геологических эпох, можно отчетливо заметить *первостепенное значение, ведущую роль земной коры и геотектонических процессов* в изменении всей структуры географической оболочки (см. гл. IV).

Анализируя *динамику географической оболочки*, т. е. ее изменения, имеющие обратимый характер, можно заметить, что ведущая роль в этих изменениях принадлежит *гидроклиматическому фактору*, определяющему, в свою очередь, фактор биологический. *Мобильные компоненты* оказывают воздействие на инертную земную кору через характер выветривания, рельеф, почвы, как бы замыкая тем самым круг взаимодействий.

Таким образом, оценка роли различных геокомпонентов в географической оболочке должна опираться на четкое определение пространственно-временных масштабов рассматриваемых явлений.

Общеизвестна зональность, присущая распределению таких факторов, как тепло и влага, а в зависимости от них и таких компонентов, как растительность и почвы. Если рассматривать небольшую территорию, как это принято в ландшафтоведении, то вряд ли удастся заметить проявление зональности, например климата. При изучении ландшафта на первый план выступает зависимость почвенно-растительного покрова прежде всего от рельефа и горных пород, т. е. литогенной основы. В этом случае вместо планетарной климатической неоднородности выявляется топографическая, местная неоднородность.

При исследовании больших территорий на первый план выступает планетарная географическая зональность, а местные и даже

региональные особенности затушевываются. Эта закономерность хорошо проявляется при сопоставлении обычных наземных съемок и наблюдений и съемок из Космоса: чем мельче масштаб космической съемки, тем более общего характера черты строения земной поверхности выявляются (планетарные разломы, кольцевые структуры и др.).

Из приведенных примеров следует, что значимость отдельных составных частей сложной системы, образующей единое целое, определяется только с учетом целостности этой системы и ее иерархической структуры.

## II.6. ОБЩИЕ ЧЕРТЫ СТРУКТУРЫ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ

### II.6.1. Границы географической оболочки

Географическая оболочка имеет своеобразную пространственную структуру.

1. *Географическая оболочка трехмерна.* Естественную систему координат образуют поверхность геоида (две координаты) и линия отвеса (третья координата).

2. *Географическая оболочка сферична,* поэтому ее пространство замкнуто (горизонтальная линия — замкнутая кривая; горизонтальная поверхность — уровенная неправильно-сферическая поверхность).

3. *Земная поверхность — зона наиболее активного взаимодействия* геокомпонентов, в которой наблюдается наибольшая интенсивность разнообразных физико-географических процессов и явлений (рис. II. 17). По обе стороны от нее (т. е. вверх и вниз) интенсивность физико-географических процессов убывает. Приуроченность большинства процессов и явлений к сравнительно тонкому слою контакта геокомпонентов и геосфер позволяет во многих случаях изображать их как двумерные (т. е. на плоскости, в виде географической карты).

4. На некотором расстоянии вверх и вниз от земной поверхности взаимодействие компонентов ослабевает, а затем и исчезает совсем, следовательно, исчезает географическая сущность явлений. Так как это происходит постепенно, границы географической оболочки нечеткие (размытые), поэтому исследователи по-разному проводят верхнюю и нижнюю границы объекта своего изучения.

Одни ученые верхнюю границу географической оболочки предлагают проводить по

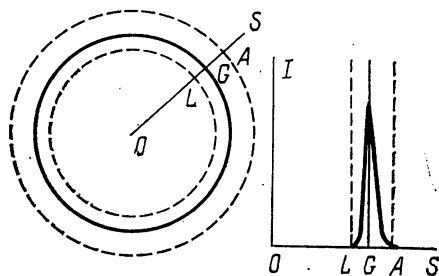


Рис. II.17. Распределение физико-географических явлений в географической оболочке по вертикали:

$O$  — центр Земли,  $L$  — нижняя,  $A$  — верхняя граница географической оболочки,  $G$  — земная поверхность — контактная зона геосфер,  $I$  — величина разнообразия физико-географических процессов и явлений

озоновому экрану, т. е. на высоте 25—30 км, на том основании, что в озоновом слое заметно преобразуется спектр электромагнитного излучения Солнца (поглощается жесткая ультрафиолетовая радиация). Благодаря этому ниже слоя озона возможна жизнь.

Другие исследователи проводят границу оболочки по верхней границе тропосферы, принимая во внимание, что тропосфера активно взаимодействует с земной поверхностью (в ней, в частности, проявляется географическая поясность и зональность).

Нижнюю границу географической оболочки часто проводят по разделу Мохоровичича, т. е. по подошве земной коры. В более современных работах нижнюю границу географической оболочки перемещают вверх, считают, что она ограничивает снизу только ту часть земной коры, которая непосредственно участвует во взаимодействии с другими компонентами — водой, воздухом, живыми организмами. В результате создается кора выветривания, в верхней части которой находится почва. Зона активного преобразования минерального вещества в термодинамической обстановке земной поверхности имеет мощность на суше до нескольких сотен метров, под океаном — единицы — десятки метров. Иногда к географической оболочке относят в земной коре весь ее осадочный слой, или стратисферу.

Можно присоединиться к мнению В. Н. Солнцева<sup>1</sup>, который к сфере «географического» (очевидно, эта сфера и образует географическую оболочку в широком смысле слова) относит то пространство Земли, где вещество характеризуется достаточно сложной иерархической организацией и содержит структурные уровни, начиная с атомов и заканчивая макротелами в одном из обычных агрегатных состояний (жидком, газовом или твердом) или в форме живого вещества. За пределами «географического» земное вещество находится в субатомном состоянии (ионизированный газ атмосферы на высоте свыше 80 км, зона фазовых переходов вещества в мантии, сопровождающихся, как считают, уплотнением упаковки атомов). Между «географическим» и «негеографическим» находятся промежуточные сферы, в которых наблюдается постепенное упрощение организации и уменьшение сложности. Такое упрощение хорошо заметно при удалении от фокуса географической оболочки. Ему соответствует каждый рубеж, выдвигаемый исследователями в качестве возможной границы географической оболочки (верхняя граница тропосферы, озоновый экран — вверх; нижний предел процессов выветривания, нижняя граница гранитного слоя земной коры — вниз).

Сложная пространственно-геометрическая структура географической оболочки порождает специфичность движений в ней: преобладание замкнутых круговоротов, наличие предпочтительных направлений движения (анизотропность), выраженного внутреннего источника динамических процессов, разнообразия и сложности.

---

<sup>1</sup> Солнцев В. Н. Системная организация ландшафтов. М., 1981.

## II. 6. 2. Контактные поверхности в географической оболочке

Поскольку геосферы и их отдельные части (слои, воздушные и водные массы и т. д.) являются телами, сложными веществом в различных состояниях и различного состава, то они должны как-то разграничиваться, разделяться. Что же представляют собой эти границы, разделяющие массы вещества компонентов и в то же время являющиеся контактными зонами?

Поверхности контактов представлены пограничными слоями, в которых взаимодействуют вещества, трансформируются потоки вещества и энергии, возникают пограничные эффекты разного рода. Особенно интенсивны пограничные эффекты на граничных поверхностях твердых тел, происходящие на фоне внутренне инертной массы твердого вещества. Широко известны явления самовозгорания многих измельченных твердых веществ (мучной, сахарной и угольной пыли), иногда сопровождающиеся самопроизвольным взрывом. Однако чаще встречаются эффекты не такие грандиозные, но зато более обширные и действенные. На контактных поверхностях с измельченным веществом резко повышается растворимость и реакционная способность. Следовательно, поверхности контактов — это активные поверхности, на которых в большой степени усиливаются реакции обмена, поглощения и выделения энергии.

Активных поверхностей контактов в географической оболочке очень много, и они часто характеризуются интенсивными проявлениями жизни. Так, весьма активным типом поверхности контактов является *береговая зона (побережья)*, охарактеризованная нами ранее как циркумконтинентальная зона, особенно богатая растительными и животными формами. Ей свойственна интенсивная волноприбойная деятельность, вследствие которой разрушаются морские берега (*абразия*), накапливается в виде песка и гальки разрушенный материал, образуются песчаные косы, бары, пересыпи и др. В прибрежных зонах совершаются приливно-отливные движения водных масс, благодаря которым очень медленно, но неуклонно замедляется вращение Земли вокруг своей оси.

Другим типом активных поверхностей являются *атмосферные и океанические фронты*, на которых происходит интенсивное взаимодействие: перемешивание воздушных и водных масс, их подъемы и опускания. Известны явления обогащения жизненными формами зон контактов водных масс, выпадение осадков в зонах атмосферных фронтов, интенсивное развитие растительности и животного мира на стыках почвенно-растительных зон.

Еще одним типом активных поверхностей являются *приледниковые зоны и кромки льда в океанах и морях*, также известные скоплениями жизни.

Наиболее значительна *поверхность соприкосновения электромагнитного и, прежде всего, солнечного излучения с земной поверхностью*, на которой происходит трансформация излучения в тепловую и химическую энергию, совершающаяся в листьях растений,

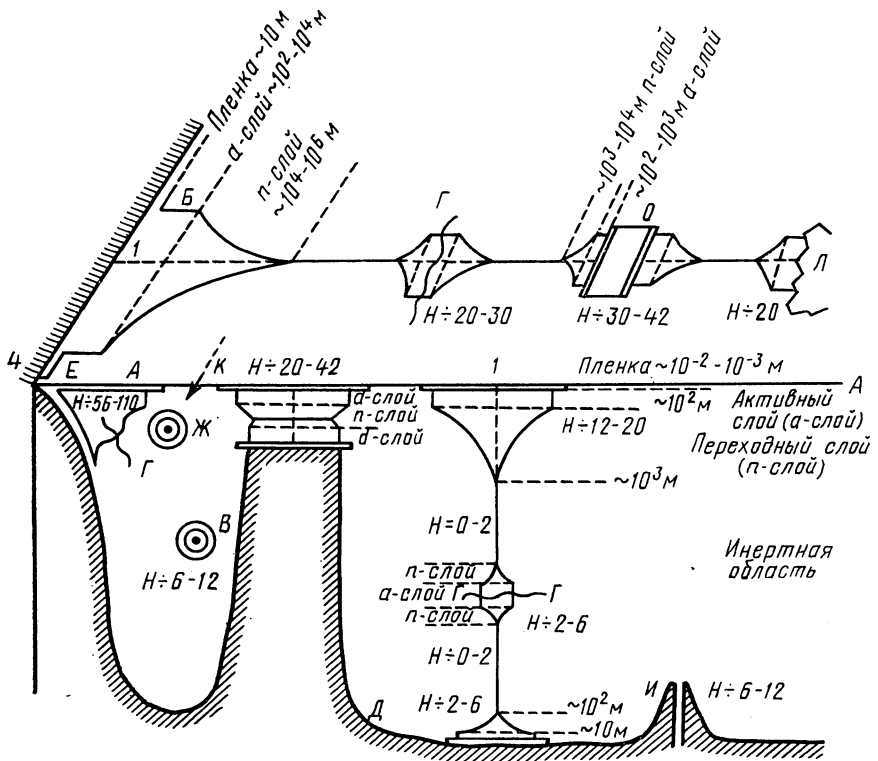


Рис. II.18. Системно-географическая модель пространственной структуры океана, внешние и внутренние поверхности контакта (из кн.: Физическая география Мирового океана, 1980):

А — с атмосферой, К — космосом, Б — берегом, В — взвешенным веществом, Г — гидрологическая, Д — с дном, Ж — с живым веществом, Л — со льдом, О — островом, Е — эстуарием реки, И — с источником извержения, Ч — антропогенный,  $H$  — мера разнообразия условий, определяемая по формуле  $H = \log_2 N = n(n-1)$ , где  $N$  — возможное число состояний системы,  $\log_2$  — логарифм по основанию 2,  $n$  — число элементов системы. Кривые распределения показывают изменение физико-географических характеристик (температуры, солености, концентрации биогенных элементов, органического вещества, детрита, организмов, биологической продукции, биогеохимического потребления кислорода) с удалением от поверхности контакта

в почве, в очень тонком слое коры выветривания, воде океанов, морей, рек и озер. Это самый мощный трансформатор и аккумулятор тепла на Земле, обеспечивающий большинство динамических процессов.

Изложенное позволяет сделать следующий вывод: наличие системы активных поверхностей между телами географической оболочки — геосферами, воздушными и водными массами, разнородными участками земной коры и коры выветривания, почвой, живыми организмами и т. д. — важное структурное свойство географической оболочки. На этих поверхностях происходят наиболее активные процессы взаимодействия, так как к ним приурочены наибольшие градиенты физико-химических свойств и энергии (рис. II. 18).

Подобно тому как тела географической оболочки упорядочены

иерархически, т. е. малые тела являются частями больших, а большие — еще больших, иерархически упорядочены и границы между ними — активные поверхности. На активных поверхностях высших рангов происходят макропроцессы. Круговорот воды в природе начинается и заканчивается на границах гидросфера — атмосфера, литосфера — атмосфера. Поток энергии в системе океан — атмосфера — материк также связан с взаимодействием геосфер. Известны макропроцессы, приводящие к резким сменам погоды, таким атмосферным явлениям, как выпадение осадков, грозы, ветры на атмосферных фронтах. В земной коре известны контактные явления метаморфизма на границах геологических тел разной природы, геохимические барьеры на границах различных геохимических обстановок. На поверхностях низших рангов происходят физико-химические и биологические взаимодействия, которые часто бывают мало или совсем незаметны для визуального наблюдения, так как процессы взаимодействия совершаются на молекулярном и атомарном уровнях и могут быть зафиксированы только с помощью приборов. Поэтому такой уровень межкомпонентных взаимодействий называется *микрокомпонентным*<sup>1</sup>. Они изучаются *геохимией ландшафтов* и *геофизикой ландшафтов*.

### II. 6. 3. Симметрия и диссимметрия в географической оболочке

*Симметрия* — греческое слово, означающее соразмерность, гармонию в размещении точек или предметов в пространстве. Формы симметрии очень многообразны. Симметрия свойственна не только земным, но и космическим объектам. По выражению В. И. Вернадского, симметрия является тончайшим индикатором пространства. *Она отражает наиболее общие черты строения объектов.*

В самом общем виде Земля, ее геосферы, географическая оболочка обладают *шаровой симметрией*, которая формируется в поле силы тяжести планеты. Вращение Земли вокруг оси приводит к нарушению шаровой симметрии тела Земли за счет увеличения экваториального радиуса. Это обстоятельство несущественно для географической оболочки. Более важно то, что благодаря суточному вращению Земля имеет *ось* и *экватор*. Последний является плоскостью, относительно которой наблюдается *зеркальная симметрия* многих элементов географической оболочки: поясов освещения, систем воздушных и отчасти океанических (влияет конфигурация берегов) течений, распределения давления, температуры, влажности и т. д. Зеркальной симметрии не подчиняются особенности планетарного рельефа Земли. Они определяются иными закономерностями, которые пока неизвестны. Однако в ряде случаев наблюдается соответствие явлений противоположного качества, находящихся симметрично относительно плоскости экватора. Например, Северный Ледовитый океан соответствует Антарктиде. Суша на противоположном конце земного диаметра «уравновеши-

<sup>1</sup> Солнцев В. Н. Системная организация ландшафтов. М., 1982.

на» океаном. Явления нарушения симметрии называют *диссимметрией*. Крайним случаем диссимметрии является антисимметрия, о которой только что было сказано (пример с расположением суши и моря).

Зеркальная симметрия — форма проявления на сфере более общего типа симметрии — *билатеральной*, т. е. *двойной симметрии* листа растения (имеющего, как правило, две стороны, два бока; латерис — боковой). Билатеральная симметрия очень широко проявляется в географической оболочке. Ею обладают дно и берега океанов, например Атлантического. При взгляде на карту видно, что дно Атлантического океана состоит из двух подобных частей, разделенных подводным хребтом. Очертаниям берегов этого океана также свойственно известное подобие: выступу материка Южной Америки соответствует Гвинейский залив Африканского побережья. При совмещении западный и восточный берега океана почти полностью совпадают. Такие же соответствия имеются между юго-восточным побережьем Африки и западным острова Мадагаскар, южным побережьем Австралии (Большой Австралийский залив) и северо-восточным выступом Антарктиды (Земля Уилкса). Отмеченные примеры билатеральной симметрии давно натолкнули исследователей, в частности немецкого географа и геофизика А. Вернера (1880—1930), на соображения об определенном способе образования материковых глыб за счет раздвижения материка Пангеи.

Явления нарушения билатеральной симметрии будем называть *билатеральной диссимметрией*. Примеры, приведенные ранее, свидетельствуют о наличии крайнего проявления билатеральной диссимметрии в природе — *билатеральной антисимметрии*, которая называется в географической литературе *антиподальностью*.

Билатеральная диссимметрия проявляется в неполном соответствии систем географических зон северного и южного полушарий. Благодаря тому, что процессы, зависящие от солнечной радиации, летом и зимой сдвигаются то в северные, то в южные широты (вслед за изменением угла падения солнечных лучей и смещением термического экватора), возникают многочисленные сезонные нарушения билатеральной глобальной симметрии: становятся асимметричными система циркуляции, распределение температур, продолжительность солнечного сияния и т. д.

Подмеченные К. К. Марковым существенные различия в природе северного и южного полушарий позволили ему говорить о *диссимметрии географической оболочки*.

Изложенное позволяет сделать вывод, что в планетарной структуре географической оболочки наиболее существенное значение имеют шаровая и билатеральная симметрии, охватывающие весь земной шар и создающие наиболее выразительные черты структуры географической оболочки<sup>1</sup>.

На региональном уровне в географической оболочке проявляются *билатеральная* и *коническая симметрии*. Билатеральной сим-

<sup>1</sup> Шубаев Л. П. Общее землеведение. М., 1977.

метрней обладают речные долины, горные хребты, низменности; коническая симметрия присуща небольшим объектам: вулканы, отдельные горы, карстовые и тектонические впадины, нередко занятые озерами (Аральское море, Ладожское озеро и др.).

На локальном уровне преобладают также билатеральная и коническая симметрии, а также *винтовая*, *радиально-лучевая*, *криволинейная* и другие сложные виды симметрии, хорошо известные из опыта (форма растений, расположение листьев на стебле; характер движения воздушных масс в вихре — циклоне и др.).

Изучение симметрии — *симметричный анализ* — служит средством выявления наиболее глубоких закономерностей структуры географической оболочки и ее элементов и является ключом к познанию истории их образования и развития.

#### II.6.4. Автономность географической оболочки

Своеобразной чертой географической оболочки, проявляющейся при сопоставлении воздействий внешней среды и ее ответных реакций, является *автономность*. Под автономностью географической оболочки понимают способность сохранять некоторую независимость от воздействий на нее Космоса и земных недр, определенную устойчивость состояний в условиях меняющейся среды, способность обеспечивать относительные равновесность и постоянства (*гомеостазис*) параметров даже при экстремальных воздействиях (изменениях солнечной активности, тектонических явлениях и т. д.).

Внешние воздействия на географическую оболочку имеют характер постепенных (направленных) изменений и неупорядоченных импульсов. Реакции на внешние воздействия в самой географической оболочке определенным образом упорядочены. В ней проявляется даже при значительных похолоданиях, вызывающих оледенение на планете, способность возвращаться к какому-то среднему состоянию своих параметров — температуры, влажности, расчлененности поверхности суши и т. п.

Автономность географической оболочки достигается благодаря наличию ряда *защитных систем*, или *экранов*, предохраняющих оболочку от влияний Космоса. К ним прежде всего относится магнитное поле Земли, защищающее географическую оболочку от воздействия солнечного ветра и космических лучей, образующее магнитосферу планеты. К ним также относится озоновый экран, защищающий географическую оболочку от жесткого ультрафиолетового излучения. К защитным системам относится вся атмосфера, поглощающая поверхность земли от большей части метеоритов, поглощающая инфракрасное (длинноволновое, тепловое) излучение Земли, и следовательно, предохраняющая ее от космического холода.

В самой географической оболочке существует система регулирующих механизмов и процессов, стремящихся стабилизировать основные физико-географические параметры на определенном уровне, несмотря на внешние воздействия.



Автономность географической оболочки возростала на протяжении всей геологической истории Земли. По мере гравитационной дифференциации вещества Земли постепенно формировались атмосфера и гидросфера, защищающие географическую оболочку от воздействия космического холода и ударов метеоритов. По мере развития земной коры росли континенты и площади платформенных структур, уменьшалась теплоотдача внутренних слоев Земли в географическую оболочку и Космос и все большую роль в энергетических балансах играла экзогенная энергия — солнечная радиация. В этих условиях в географической оболочке возникла жизнь, роль которой затем непрерывно возростала.

Большое значение имело увеличение на земной поверхности массы воды, которая оказывала все большее влияние на тепловой режим, а также на многие другие виды режимов географической оболочки. В связи с интенсивным развитием производства весьма возросло и продолжает расти влияние промышленности, сельского хозяйства, транспорта на географическую оболочку. Сжигание различных видов топлива увеличивает содержание в воздухе диоксида углерода, поглощающего тепловое излучение, а это ведет к повышению температуры воздуха и может вызвать усиление таяния полярных льдов и повышение уровня океана. Усиливающаяся вырубка лесов и вообще уничтожение естественной растительности приводят к уменьшению содержания в воздухе кислорода, который к тому же все в больших количествах расходуется техническими средствами при сжигании топлива. Возрастает загрязнение поверхности морей и океанов нефтью и различными химическими и бытовыми отходами. Эти и другие воздействия человека на окружающую среду — географическую оболочку могут привести и, вероятно, уже приводят к нарушениям термодинамического и экологического равновесия, последствия которых еще не изучены в достаточной мере.

Таким образом, к важнейшим чертам структуры географической оболочки относятся:

1. *Деление ее на океаническую и материковую части, образующие наиболее существенные и заметные различия земной поверхности.*

2. *Наличие в ней большого числа активных поверхностей, вдоль которых наиболее развиты взаимодействия составных частей географической оболочки; сама географическая оболочка — гигантская активная поверхность раздела (контакта) Космоса и Земли.*

3. *Ярусное строение географической оболочки, образованное геосферами.*

4. *Наличие географической поясности и зональности в распределении тепла, осадков, растительности и почв, а также животного мира.*

#### **Вопросы и задания для самостоятельной работы**

1. Какие типы вещества встречаются в географической оболочке?
2. Как выделяются границы географической оболочки?
3. В чем различия химического состава Земли и Космоса?

4. Каков химический состав геосфер?
5. В чем причины различий химического состава геосфер? Начертить круговые диаграммы химического состава геосфер (домашнее задание).
6. Каково географическое значение физических свойств вещества в географической оболочке?
7. Что такое геокомпоненты? Что такое геосферы? Чем они отличаются?
8. Что называют литосферой? Что такое земная кора? В чем различие между земной корой и литосферой? Охарактеризовать строение земной коры материкового и океанического типов.
9. Какие группы горных пород слагают земную кору?
10. Что такое геосинклинали и платформы, как они выражены в рельефе суши?
11. Назовите основные типы планетарных морфоструктур суши и дна океанов.
12. Как строится гипсографическая кривая, какие закономерности она отражает? Какая существует связь между строением земной коры и рельефом земной поверхности? Чем она объясняется? По гипсографической кривой установите, какую площадь занимает суша в интервале высот от 0 до 200; 500; 870 м.
13. Назовите закономерности в расположении материков и океанов.
14. Какие закономерности выявлены в распределении высот и глубин на земном шаре?
15. Какие составные части включает гидросфера?
16. В чем выражается единство гидросферы?
17. Какова вертикальная структура океанических вод?
18. Перечислите основные типы поверхностных вод.
19. Назовите типы подземных вод.
20. Какова вертикальная структура атмосферы? По каким признакам выделяются тропосфера, стратосфера и другие сферы воздушной оболочки Земли?
21. Проанализируйте широтное распределение годовой суммы атмосферных осадков. Почему происходит общее уменьшение осадков по мере увеличения широты?
22. Какие причины вызывают образование воздушных масс и фронтов в атмосфере?
23. Почему возникают вихревые системы в атмосфере — циклоны и антициклоны? Почему их нет в атмосфере Венеры, у которой небольшая скорость суточного вращения?
24. Какие царства выделяются в органическом мире? Какова планетарная роль организмов каждого царства?
25. Что такое фитоценоз? Назовите основные фитоценозы поверхности суши.
26. Как распределяются различные типы и группы живых организмов в географической оболочке?
27. Какие закономерности наблюдаются в распределении живого вещества на Земле?
28. Что понимают под географической структурой? Какие структурные уровни выделяются в географической оболочке?
29. Назовите основные закономерности в распределении на Земле материков и океанов.
30. Почему материки южного полушария сдвинуты к востоку относительно материков северного полушария?
31. Как распределяются по широте средние и максимальные высоты суши и глубины океана? Проиллюстрировать графиком для дуги меридиана между экватором и одним из полюсов. Вычислить средние высоты для 10-градусных дуг меридиана (домашнее задание).
32. Какое соотношение наблюдается между средними высотами материков и их площадями, средними глубинами океанов и их площадями? Какие причины могли вызвать существование определенных соотношений между указанными показателями? Проиллюстрировать соответствующими графиками.
33. Что такое симметрия, диссимметрия, антисимметрия в географической оболочке? Проиллюстрируйте эти явления примерами.
34. Какие причины вызывают симметрию географических явлений? Что вызывает нарушение симметрии?

35. В чем проявляется диссимметрия распределения на земной поверхности материков и океанов, ледников, живого вещества?

36. Что такое поверхность контакта? Какие типы поверхностей контакта можно выделить в географической оболочке?

37. Почему к поверхностям контактов приурочено наибольшее разнообразие физико-географических явлений?

38. Почему географическую оболочку можно также назвать поверхностью контакта?

39. По каким признакам выделяются географические пояса? Географические зоны?

40. В каком соотношении находятся географические зоны и параметры водно-теплого режима (проанализируйте рис. П.13)?

41. Почему возникает вертикальная поясность на суше?

42. Как строится теоретическая модель зональности на идеальном континенте?

43. В чем проявляется относительная автономность географической оболочки? Какое она имеет значение? Возрастает или уменьшается автономность по мере развития географической оболочки?

### Глава III

## ДИНАМИКА ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ

Важнейшее свойство материальных объектов — *движение*. В основе движения лежит способность объектов материального мира взаимодействовать между собой. Движение совершается постоянно и включает изменения и взаимодействия всех форм. Движение связано со структурой объектов, поскольку его скорость и направление во многом зависят от взаимного расположения составляющих объект элементов, а структура, в свою очередь, формируется благодаря перемещению масс вещества и энергии.

Различают четыре типа физических взаимодействий: *слабые, ядерные, электромагнитные и гравитационные*. Первые два доминируют на субатомном уровне (в области элементарных частиц и ядер атомов). На уровне атомов и молекул господствующими становятся электромагнитные взаимодействия, в области космических объектов — гравитационные. На географическом уровне *электромагнитные и гравитационные взаимодействия* проявляются совместно и определяют главные особенности физического строения географической оболочки.

Наибольшим разнообразием характеризуются движения, связанные с электромагнитными взаимодействиями: нагревание и излучение тел, движение жидкостей по капиллярам, химические реакции (в том числе фотосинтез), изменения агрегатного состояния вещества и многие другие. Менее разнообразны в проявлениях, но не менее важны для физико-географических явлений гравитационные силы. Они приводят к возникновению приливов и отливов, движению воды в руслах рек, падению капель дождя, удерживают атмосферу у земной поверхности и т. д.

Каждый физико-географический процесс (движение воздушных и водных масс, денудация горной страны, формирование ландшафтного комплекса и др.) представляет совокупность многих форм физических движений. Однако знания физических законов недоста-

точно для объяснения процессов в географической оболочке. В каждом районе земной поверхности физико-географические процессы имеют свою специфику, что связано с характером распределения материков и океанов, горных систем и равнин, ледников, теплых и холодных течений, географических зон, всей системы ландшафтных комплексов.

Таким образом, в основе движений в географической оболочке находятся физические взаимодействия, но для объяснения всей совокупности физико-географических процессов необходимо знать структуру географической оболочки, которая сформировалась в ходе длительной истории ее развития.

В географической оболочке можно выделить два основных типа движений. Один из них связан с ее текущим функционированием. В процессе функционирования географической оболочки создается динамическое равновесие основных ее параметров. Несмотря на постоянные переносы вещества и энергии, совершающиеся как внутри географической оболочки, так и в форме обмена с мантией и Космосом, температура тропосферы, океана и поверхности суши, солевой состав океанических вод и вод суши, состав воздуха и другие параметры удерживаются на относительно постоянном уровне, испытывая лишь периодические (суточные, сезонные, вековые, сверхвековые) колебания. Движения в географической оболочке, не приводящие к необратимому изменению ее состояния, назовем ее *динамикой*.

Одновременно в географической оболочке совершаются *изменения, имеющие направленный характер*, в результате которых географическая оболочка развивается, становится все более сложной.

Конкретные движения возникают благодаря наличию в географической оболочке энергии, точнее свободной энергии, способной совершать работу. Знание источников и характера распределения энергии в географической оболочке — совершенно необходимое условие для понимания системы движений, их интенсивности, направленности, ритмики и др.

### III.1. ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКЕ

В географическую оболочку энергия поступает от Солнца (и в целом из Космоса) и из земных недр. Часть энергии выделяется при гравитационном взаимодействии Земли с ближайшими космическими телами и прежде всего с Луной и Солнцем. В самой оболочке происходит трансформация энергии первичного происхождения в другие формы: длинноволновое излучение, энергию химических связей, механическую энергию волн, ветра, речной воды, океанических течений и движущихся масс твердого вещества, в том числе блоков земной коры, и др.

**Энергия земных недр и ее проявления.** Часть энергии поступает в географическую оболочку из земных недр. Значительную роль в качестве источника внутренней энергии Земли играют *гравитационная дифференциация и уплотнение вещества*, в процессе кото-

рых за счет трения происходит выделение тепловой энергии. За всю историю Земли освободилось примерно  $1,6 \cdot 10^{31}$  Дж (Монин А. С., 1977).

Другой источник внутренней энергии Земли — *радиогенная энергия*, возникающая при распаде некоторых химических элементов. По расчетам Е. А. Любимовой, в результате радиоактивного распада выделилось  $0,9 \cdot 10^{31}$  Дж. Если принять, что за всю историю Земли из ее недр рассеялось  $0,74 \cdot 10^{31}$  Дж энергии, то внутри планеты уже накопилось  $2 \cdot 10^{31}$  Дж тепла, которое вызвало разогрев и частичное плавление недр.

Советские исследователи В. М. Лебедев и Н. А. Белов считают, что значительная часть внутриземной энергии связана с притоком энергии с земной поверхности. Во многих минералах осадочных пород и почв алюминий окружен шестью атомами кислорода, а межатомное расстояние составляет  $0,18—0,2$  нм. В магматических минералах алюминий окружен, как правило, четырьмя атомами кислорода при межатомном расстоянии  $0,16—0,175$  нм. Это свидетельствует о том, что глинистые минералы в условиях земной поверхности обладают большим запасом внутренней энергии, чем полевые шпаты и другие алюмосиликаты магматического происхождения, поскольку для увеличения расстояния между атомами требуется преодолеть кулоновские силы притяжения. В данном случае происходит поглощение энергии минералами в биосфере при гипергенной минерализации. В дальнейшем при погружении на большие глубины происходит переплавление глинистых минералов, из которых образуются полевые шпаты. При этом энергия, поглощенная на земной поверхности, выделяется в виде тепловой энергии в недрах.

Глинистые минералы выступают в роли своеобразных «горючих ископаемых», отдающих заключенную в них энергию только при высоких температурах плавления пород. Аналогично ведет себя каменный уголь, который должен быть нагрет до определенной температуры, чтобы начался процесс горения. Элементы, переносящие энергию с земной поверхности в более глубокие горизонты земной коры, называют «*геохимическими аккумуляторами*». Пока существуют большие расхождения в оценках энергии этого происхождения.

Большая часть внутриземной энергии поступает в географическую оболочку в виде *теплового потока*. По современным оценкам, тепловой поток, идущий из недр Земли, составляет  $0,06$  Дж/( $m^2 \cdot c$ ). Наиболее интенсивный тепловой поток наблюдается в подвижных областях Земли: Тихоокеанском и Средиземноморском активных горных поясах и зонах срединных океанических хребтов. В отдельных районах земного шара мощность теплового потока возрастает в сотни раз. Например, очень велик тепловой поток в районе Красного моря. Примерно такое же количество энергии поступает с лавой, пеплом, водами и газами при *вулканических извержениях* и значительно меньше (примерно на два порядка) — при *тектонических процессах*.

**Энергия орбитального и осевого вращения Земли.** Другим источником энергии, поступающей в географическую оболочку, является *гравитационное взаимодействие Земли с космическими телами* и прежде всего с *Луной и Солнцем*. В результате этого взаимодействия возникают приливы и отливы, которые особенно заметно проявляются в гидросфере, главным образом в океанах и морях.

Количество энергии приливного трения по оценке Ф. Я. Шипунова (1980) равно  $3,5 \cdot 10^{-3}$  Дж/( $\text{м}^2 \cdot \text{с}$ ). Предполагают, что на протяжении геологической истории эта величина изменялась довольно сильно, особенно на первых стадиях развития планеты, когда скорость ее вращения была значительно больше, а Луна располагалась намного ближе к Земле. Расчеты показывают, что при расположении Луны на расстоянии  $6R$  от Земли (в настоящее время расстояние между ними составляет  $60R$ ) приливообразующая сила была бы примерно на три порядка больше современной, что, естественно, оказывало бы очень большое влияние на формирование физико-географических процессов на земной поверхности.

Приливы и отливы постепенно замедляют скорость осевого вращения Земли и тем самым воздействуют на тепловой режим земной поверхности. Это воздействие проявляется через режим освещенности и атмосферную циркуляцию. Под действием замедления суточного вращения уменьшается сила Кориолиса, вследствие чего упрощаются системы циркуляции. Удлинение суток способствует повышению контрастности термических условий на дневной и ночной сторонах Земли. В результате возникает иная система атмосферной циркуляции, иной годовой и суточный ход температуры, атмосферных осадков и других метеорологических характеристик. Соответственно изменяется и система климатических и географических зон. Следовательно, восстановление природных условий прошлого необходимо вести с учетом изменения скорости осевого вращения Земли.

**Поступление солнечной энергии в географическую оболочку.** Все виды энергии, поступающей к Земле из Космоса, называют *экзогенной*. Примерно 97 % этой энергии составляет *электромагнитное излучение Солнца*. Вследствие малой изменчивости интенсивности солнечной энергии, поступающей на верхнюю границу атмосферы, поток этой энергии на  $1 \text{ см}^2$  земной поверхности в 1 мин был назван *солнечной постоянной*. Она равна  $1,98 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ , или  $1382 \text{ Дж}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ , или  $1382 \text{ Вт}/\text{м}^2$ . Эта величина принята в качестве международного стандарта. Значение солнечной постоянной продолжает уточняться. Поскольку Земля имеет форму шара, лишь одна четвертая часть этого потока поступает в среднем на  $1 \text{ м}^2$  на внешнюю границу атмосферы, или  $345,5 \text{ Дж}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ .

Электромагнитное излучение Солнца содержит большой спектр волн различной длины, которые производят неодинаковый физический эффект. Ультракоротковолновая радиация (менее  $0,1027 \text{ мкм}$ ) проникает в атмосферу до высоты  $100\text{—}200 \text{ км}$  над поверхностью Земли. Она вызывает ионизацию молекул. Более длинные волны ( $0,1027\text{—}0,2424 \text{ мкм}$ ) доходят до высоты  $70\text{—}80 \text{ км}$  и

вызывают диссоциирующий эффект — молекулярные реакции с образованием ионов-радикалов.

К далекому ультрафиолетовому излучению относят волны в диапазоне 0,2424—0,2900 мкм. Они практически полностью поглощаются в слое максимальной концентрации озона на высоте 15—25 км. Эти лучи вызывают диссоциацию молекулярного кислорода и образование озона, нагревают стратосферу, температура которой поэтому выше, чем верхней тропосферы. Волны этой части спектра являются основной причиной образования *ионосферы* и *озоносферы*.

В нижние слои атмосферы и непосредственно к земной поверхности поступает *близкое ультрафиолетовое* (0,29—0,40 мкм), *световое* (видимый свет, 0,4—0,76 мкм) и *близкое инфракрасное* (0,76—2,4 мкм) *излучение*. Эти волны поддерживают в географической оболочке основные фотохимические и термохимические реакции без разрушения структуры живого вещества. Они же составляют подавляющую часть тепловой радиации, поглощение которой вызывает нагревание вещества. Одновременно в географическую оболочку поступает *радиоволновое излучение* как от Солнца, так и из Космоса.

Наряду с электромагнитными потоками в атмосферу Земли входят *корпускулярные потоки заряженных частиц*. Они обладают небольшой энергией. Их суммарная мощность в несколько тысяч раз меньше электромагнитной энергии Солнца и уступает мощности эндогенной энергии. Они почти полностью поглощаются на различных уровнях в атмосфере.

Корпускулярные потоки, идущие от Солнца и из Космоса, обладают большой изменчивостью во времени. В значительной степени это связано с солнечной активностью (см. гл. I).

Несмотря на незначительную мощность, потоки корпускулярных частиц вызывают перестройку поля атмосферного давления и изменение погодных процессов. Кроме того, они вызывают возмущение геомагнитного поля, приводят к геомагнитным бурям, оказывают сильное влияние на биологические процессы. Явления, вызываемые корпускулярными потоками, значительно превосходят сами эти потоки по энергетической мощности. Это свидетельствует о сигнальном характере воздействий (см. гл. V). Ниже приведено соотношение различных потоков энергии, поступающих в географическую оболочку (по данным Ф. Я. Шипунова, 1980).

*Потоки энергии*

*Джс/(м<sup>2</sup>·с)*

Солнечная энергия (поглощенная атмосферой и земной поверхностью) . . . . .	2,3·10 <sup>2</sup>
Энергия космических лучей . . . . .	2·10 <sup>-6</sup> — 3·10 <sup>-6</sup>
Антропогенное производство энергии (1975) . . . . .	16·10 <sup>-3</sup>
Распад радиоактивных изотопов . . . . .	~ 7·10 <sup>-3</sup>
Энергия электрических разрядов . . . . .	~ 4·10 <sup>-3</sup>
Энергия приливного трения . . . . .	3,5·10 <sup>-3</sup>
Энергия, высвобождаемая при разрушении органического вещества и связывании свободного кислорода . . . . .	0,4—0,6
Геотермическое тепло . . . . .	~ 0,1
Тектоническая энергия . . . . .	~ 10 <sup>-3</sup>

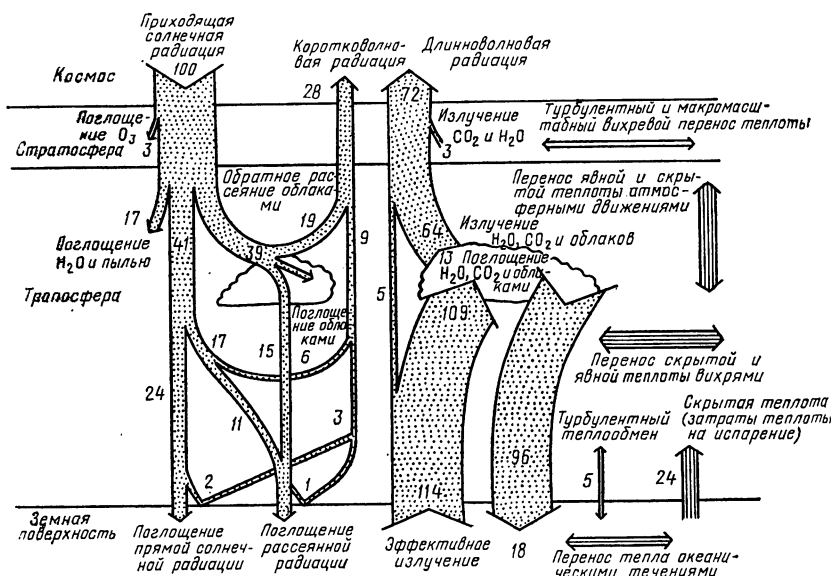


Рис. III.1. Схема среднего годового теплового баланса (%) Земли (по К. Я. Кондратьеву, 1980)

Сравнение различных потоков энергии показывает, что солнечная энергия в несколько тысяч раз превосходит все остальные виды энергии вместе взятые. Однако все виды энергии имеют большое значение, поскольку они ответственны за различные процессы. Например, количественно небольшие потоки эндогенного происхождения являются в меньшей степени дифференцирующим природу фактором, чем солнечная энергия. В связи с этим можно говорить о неравноценности видов энергии, ибо физико-географическая работа зависит не только от мощности потока энергии, но и от формы ее поступления.

**Радиационный баланс географической оболочки.** Поступающая в географическую оболочку энергия испытывает многообразные превращения, переходы из одной геосферы в другую. Трансформация солнечной энергии начинается с ее преобразования в атмосфере. По данным К. Я. Кондратьева (Радиационные факторы современных изменений глобального климата. Л., 1980, с. 78—79), часть радиации (примерно 25 %) поглощается озоном (преимущественно на высоте 20—30 км), водяным паром, пылью, облаками. Часть радиации отражается от верхней границы облаков. Около 40 % солнечной радиации рассеивается в атмосфере. Несколько менее половины рассеявшейся радиации направляется к земной поверхности, остальное — в космическое пространство (рис. III. 1).

Таким образом, примерно 50 % солнечной радиации достигает земной поверхности. Часть этой радиации (3 %) отражается. Вместе с радиацией, отраженной от облаков и молекул воздуха, она составляет 28 %. Отношение радиации, отражаемой Землей



в мировое пространство, к солнечной радиации, поступившей на границу атмосферы, называют *планетарным альбедо Земли*. Разница между поступившей радиацией и отраженной составляет *поглощенную радиацию*. Она переходит в теплоту, нагревает земную поверхность. Земная поверхность, нагреваясь, сама становится источником излучения (любое тело, имеющее температуру выше нуля по шкале Кельвина, излучает тепловую радиацию). Поскольку температура земной поверхности невелика (от  $-90$  до  $+80$  °С), излучение поверхности сосредоточено в основном в интервале волн от 4 до 120 мкм (максимум приходится на 10—15 мкм), т. е. это невидимое инфракрасное излучение.

Почти 96 % излучения земной поверхности поглощается атмосферой. Сквозь атмосферу проходят лучи преимущественно в полосе 8,5—11,0 мкм. Поглощенное земное излучение переизлучается атмосферой частично в Космос, а большей частью в сторону земной поверхности, где оно преобразуется в непрерывный спектр, который снова направляется к атмосфере. Через атмосферу снова проходят лучи в спектре 8,5—11,0 мкм, а основная часть спектра задерживается, нагревая атмосферу (см. рис. III. I). Основными поглотителями земного излучения являются водяной пар и диоксид углерода. Так как атмосфера поглощает 96 % длинноволнового излучения земной поверхности, создается так называемый *тепличный (парниковый, оранжевый) эффект*, приводящий к дополнительному нагреванию земной поверхности. Это дополнительное нагревание составляет 38 °С. Оно связано с многократным переносом энергии в виде длинноволнового излучения между земной поверхностью и атмосферой, и обратно. Это обстоятельство объясняет тот факт, что излучение земной поверхности превышает величину солнечной радиации, поступающей к верхней границе атмосферы (см. рис. III. 1). Возрастание содержания в атмосфере водяного пара и диоксида углерода (основных поглотителей длинных волн) приводит к усилению тепличного эффекта. Содержание водяного пара и диоксида углерода необходимо учитывать при восстановлении физико-географических условий прошлого. Не менее важно представить их возможное изменение в будущем. В современный период наблюдается рост содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере, который, вероятно, сохранится и в дальнейшем. Поэтому следует ожидать повышения температуры земной поверхности, если, конечно, другие факторы не нейтрализуют влияние  $\text{CO}_2$ .

В целом на земную поверхность поступают потоки прямой солнечной радиации, рассеянной радиации небосвода и противозлучения атмосферы. Потери радиационной энергии осуществляются за счет отражения и излучения. Разность между поступлениями и потерями составляет *радиационный бюджет земной поверхности (остаточную радиацию)*. Алгебраическая сумма потоков радиации, приходящих на земную поверхность и уходящих от нее, называется *радиационным балансом земной поверхности*. В литературе оба понятия (бюджет и баланс) часто обозначаются одним термином — радиационный баланс, что не совсем удобно.

Радиационный бюджет рассчитывается по разности между поглощенной радиацией ( $B_k$ ) и эффективным излучением ( $E_{эф}$ ):

$$R = B_k - E_{эф},$$

которые, в свою очередь, определяются следующим образом:

$$B_k = (S + D) - O \text{ и } E_{эф} = E_3 - E_a,$$

где  $S$  — прямая радиация,  $D$  — рассеянная радиация (в сумме они составляют суммарную радиацию),  $O$  — отраженная радиация,  $E_3$  — излучение земной поверхности,  $E_a$  — противоизлучение атмосферы (т. е. излучение атмосферы, направленное к земной поверхности). Полное уравнение радиационного баланса земной поверхности имеет следующий вид:

$$R = (S + D) - O - E_3 + E_a.$$

Для расчета величины радиационного бюджета земной поверхности воспользуемся данными рис. III. 1. Из схемы видно, что радиационный бюджет равен 29 % приходящей на верхнюю границу атмосферы солнечной радиации (поскольку поглощенная радиация поверхности равна 47 %, а эффективное излучение — 18 %). Вследствие шарообразной формы планеты в среднем к внешней границе атмосферы поступает лишь 1/4 часть приходящей солнечной радиации, или 345,5 Дж/(м<sup>2</sup>·с) (солнечная постоянная, как было сказано выше, принимается равной 1382 Дж/(м<sup>2</sup>·с). Следовательно, радиационный бюджет равен 29 % от 345,5 Дж/(м<sup>2</sup>·с), или 100,2 Дж/(м<sup>2</sup>·с). В сумме за год (средняя величина для всей земной поверхности) бюджет составляет 3,16 · 10<sup>9</sup> Дж/м<sup>2</sup>.

Территориально радиационный бюджет сильно колеблется: в полярных районах он отрицательный, в экваториальных возрастет до 4,8 · 10<sup>9</sup> Дж/(м<sup>2</sup>·год). Наблюдаются также годовые и суточные колебания величин радиационного бюджета.

Среднемноголетняя годовая сумма радиационного бюджета (см.: Физико-географический атлас мира, 1967, с. 23) характеризуется слабыми градиентами в тропических и экваториальных районах и быстрым убыванием в умеренных и субполярных широтах. Характерно увеличение бюджета на поверхности океана по сравнению с материками. Это объясняется главным образом более высоким альбедо поверхности материков.

*Радиационный бюджет подстилающей поверхности* является той частью радиационной энергии, которая расходуется на разнообразные процессы: испарение, таяние льдов, нагревание воды и воздуха, перемещение воздушных масс в атмосфере и водных масс в океане, выветривание горных пород, фотосинтез, эрозию и многие другие.

*Радиационный бюджет атмосферы* в отличие от земной поверхности отрицателен. Атмосфера излучает в Космос и в сторону земной поверхности больше энергии, чем поглощает. Средняя величина радиационного бюджета атмосферы 3,16 · 10<sup>9</sup> Дж/(м<sup>2</sup>·год), т. е.

она равна по абсолютной величине радиационному бюджету земной поверхности.

Избыток радиационной энергии земной поверхности тратится на поддержание разнообразных физико-географических процессов, в результате которых радиация переходит большей частью в теплоту. В атмосфере недостаток радиационной энергии компенсируется приходом теплоты, которая выделяется при преобразовании радиационного бюджета земной поверхности. Компенсация осуществляется путем переноса энергии при фазовых переходах воды (испарение — конденсация, 83 % радиационного бюджета) и турбулентным путем (17 % радиационного бюджета, см. рис. III. 1).

В целом Земля как планета теряет примерно столько же радиационной энергии, сколько получает, поэтому говорят, что *Земля находится в состоянии радиационного, или лучистого, равновесия*. Следует отметить, что небольшая часть солнечной энергии, переходящей в процессе фотосинтеза в энергию химических связей, изымается из круговорота и захороняется в толще земной коры.

### **III.2. ТРАНСФОРМАЦИЯ И ПЕРЕНОС ЭНЕРГИИ И ВЕЩЕСТВА В ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКЕ**

Поступившая в географическую оболочку энергия испытывает многообразные преобразования. Происходит переход одних видов энергии в другие и их перераспределение. Неравномерное распределение энергии служит источником возникновения разных видов движений. Наиболее масштабные из них — движения воздушных и водных потоков, которые вследствие замкнутости географической оболочки оформляются в круговороты. Менее выраженные круговороты характерны для многих движений на земной поверхности. В сложных формах происходят движения в живых организмах: разнообразные химические реакции создания и разрушения органического вещества, перемещение растворов в клетках организмов и др.

Круговороты не замкнуты. Часть вещества и энергии на каждом элементарном шаге движения изымается из круговорота. Имеет место и обратное явление — в круговорот включаются новые порции вещества и энергии. Незамкнутость круговоротов создает вектор направленного изменения географической оболочки и отдельных ее систем, благодаря которому возникают условия для их развития.

Перемещение любого вида материи сопровождается перемещением других видов вещества и энергии. Например, вместе с воздухом и водой происходит перенос теплоты в скрытой (молекулы испарившейся воды) и явной форме, минеральных частиц, спор, бактерий, фито- и зоопланктона и др. Каждый перенос связан со многими другими, причем их приспособление друг к другу приводит к формированию единой взаимосвязанной системы движений на земной поверхности.

Однако пространственные и временные масштабы движений

различных материальных субстанций неодинаковы. Траектории движений колеблются от десятков метров до тысяч километров, скорость движений — от миллиметров в год (блоки материков) до скорости света (перенос лучистой энергии). Вследствие различий пространственных и временных масштабов и траекторий движения формируются относительно самостоятельные системы потоков и круговоротов, которые далее будут именоваться *циклами* (цикл — греч. круг — совокупность взаимосвязанных процессов и явлений, образующих законченный круг развития). Главные циклы следующие: радиационный, тепловой, атмосферный (воздушный), гидросферный (водный), биогеохимический, минерального вещества, литосферный. Их выделение в известной мере условно, поскольку каждый из них пространственно частично или даже полностью включен в другие циклы и в то же время состоит из совокупности самостоятельных циклов, различающихся пространственными и временными масштабами.

Перенос радиационной энергии, являющейся основой энергетического баланса географической оболочки, был уже рассмотрен (см. III.1).

### III. 2. 1. Перенос и распределение тепла

**Тепловой баланс.** Как уже говорилось выше, радиационный бюджет земной поверхности в среднем равен  $3,16 \cdot 10^9$  Дж/м<sup>2</sup> в год. Эта радиация усваивается земной поверхностью — превращается в теплоту и частично расходуется на фотосинтез. Теплота передается в глубь почвогрунтов или водной толщи и в воздух, затрачивается на испарение, почвообразовательные процессы и выветривание горных пород. Наблюдается *равенство между приходом энергии* (радиационным бюджетом  $R$ ) и *расходом*, которое можно записать в виде *уравнения теплового баланса земной поверхности*:

$$R = LE + P \pm B + \Phi + C,$$

где  $R$  — радиационный бюджет,  $LE$  — теплота, затраченная на испарение,  $P$  — вертикальный турбулентный тепловой поток,  $B$  — теплообмен с нижележащими слоями (почвогрунты или водная толща),  $\Phi$  — расход энергии на фотосинтез,  $C$  — расход энергии на почвообразование и выветривание.

Расход энергии на фотосинтез и почвообразовательные процессы составляет менее 1 % бюджета радиации, поэтому они не оказывают сколько-нибудь существенного влияния на тепловой режим земной поверхности и их при анализе переноса теплоты обычно не учитывают. Однако в аспекте геологического времени энергию, затраченную на фотосинтез, почвообразование и выветривание, необходимо учитывать, поскольку эти виды энергии обладают важным свойством — способностью накапливаться. За сотни миллионов лет в географической оболочке накопились запасы энергии в виде каменного угля, торфа, горючих сланцев и других форм органического вещества ( $более 11 \cdot 10^{14}$  Дж/м<sup>2</sup>), которые широко исполь-

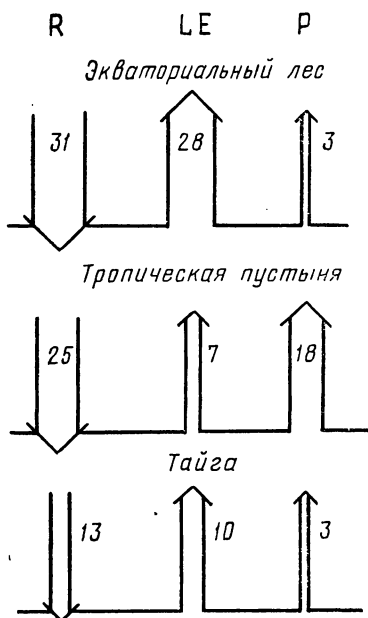


Рис. III.2. Структура теплового баланса некоторых типов ландшафтов в Дж/(м<sup>2</sup>·год):

*R* — радиационный бюджет, *LE* — затраты теплоты на испарение, *P* — турбулентный перенос теплоты от подстилающей поверхности в атмосферу

поверхности в целом из  $3,16 \cdot 10^9$  Дж/(м<sup>2</sup>·год) на испарение расходуется  $2,62 \cdot 10^9$  Дж/(м<sup>2</sup>·год), на турбулентный перенос —  $0,54 \cdot 10^9$  Дж/(м<sup>2</sup>·год).

Внутри географической оболочки происходит горизонтальное перераспределение тепла воздушными массами в явном и скрытом (перешедшего в скрытую форму при испарении и выделяющегося при конденсации) виде и океаническими течениями. Этот перенос имеет сложное пространственное распределение соответственно траекториям воздушных и водных потоков. Однако результирующий перенос направлен из низких широт в высокие и с океанов на материки.

С учетом горизонтального перераспределения тепла в уравнение теплового баланса океанической поверхности необходимо ввести величину горизонтального перераспределения. В результате для участка океанической поверхности уравнение теплового баланса приобретает вид

$$R = LE + P \pm A,$$

где *A* — величина перераспределения тепла океаническими течениями. Горизонтальное перераспределение тепла атмосферной цир-

зуются человечеством и представляют важнейшую часть энергетического баланса. Поток энергии в почву и в глубь океана в среднем многолетнем для всей поверхности Земли равен нулю, поскольку накопление теплоты в теплое время года компенсируется ее расходом в холодное время года.

Более 99 % годового радиационного бюджета затрачивается на испарение (на таяние снегов и льдов) и турбулентный тепловой поток в воздух. Соотношение между этими статьями бюджета на суше зависит главным образом от увлажнения поверхности: в аридных районах большая часть энергии расходуется на нагревание атмосферы, в районах с хорошим увлажнением — на испарение (рис. III. 2). В целом на суше затраты тепловой энергии на испарение несколько превосходят энергию, расходуемую на нагревание воздуха. На океанах затраты на испарение везде больше турбулентной передачи теплоты. В среднем соотношение между ними составляет примерно 9 : 1. Для земной

кулящей автоматически учитывается в уравнении теплового баланса земной поверхности через величину длинноволнового излучения атмосферы, входящую в уравнение радиационного баланса, и турбулентного теплового потока. Картина перераспределения тепла океаническими течениями довольно сложна. Но в среднем океанические течения переносят тепло из экваториальных и тропических широт, где водная поверхность поглощает энергию атмосферы, в более высокие широты, где происходит передача энергии атмосфере (рис. III.3).

Радиационный бюджет атмосферы на всех широтах отрицателен, что свидетельствует о том, что атмосфера излучает энергии больше, чем получает радиационным путем. Разность компенсируется приходом теплоты при конденсации водяного пара и за счет турбулентного теплообмена.

Существенное значение для теплового режима имеет теплообмен между материками и океанами. Наблюдаются большие различия в характере поглощения и распространения теплоты в глубину в почвогрунтах и воде. Океан и вообще водоемы слабо нагреваются с поверхности летом. Теплота перераспределяется в них на глубину несколько сотен метров. Суша обладает малой теплопроводностью, поэтому нагревается в основном в слое от нескольких десятков сантиметров до нескольких метров. Так как в почвогрунтах за теплый период накапливается мало тепловой энергии (около  $0,1 \times 10^9$  Дж/м<sup>2</sup>), в холодное время года, когда поступление солнечной радиации существенно снижается, поверхность суши быстро охлаждается. Океан за теплый сезон накапливает от  $1,3 \cdot 10^9$  до  $2,5 \times 10^9$  Дж/м<sup>2</sup>. Это большая величина, если учесть, что она составляет в среднем более половины годового радиационного бюджета. Благодаря большому запасу тепловой энергии, океан зимой охлаждается медленнее, чем суша.

Различия в нагревании суши и океана летом и зимой обуславливают характер обмена теплотой между ними: зимой океан отдает часть теплоты суше, летом — суша океану.

Происходит перераспределение тепловой энергии и между широтами. Воздушные массы и океанические течения в среднем переносят теплоту из низких широт в высокие (рис. III.3 и III.4), поэтому в низких широтах поглощенная радиация земной поверхностью и атмосферой (т. е. системой Земля — атмосфера) превышает уходящее длинноволновое излучение в космическое пространство, в средних и высоких — наоборот (рис. III. 4).

**Распределение температуры.** Распределение на земной поверхности и в атмосфере основных компонентов радиационного и теплового баланса определяет главные закономерности распределения температуры — одного из важнейших термодинамических параметров.

*Средняя температура земной поверхности около 15° С. Наиболее высокая температура наблюдается на так называемом термическом экваторе — воображаемой линии (в отличие от географического экватора эта линия волнистая), проходящей в северном*

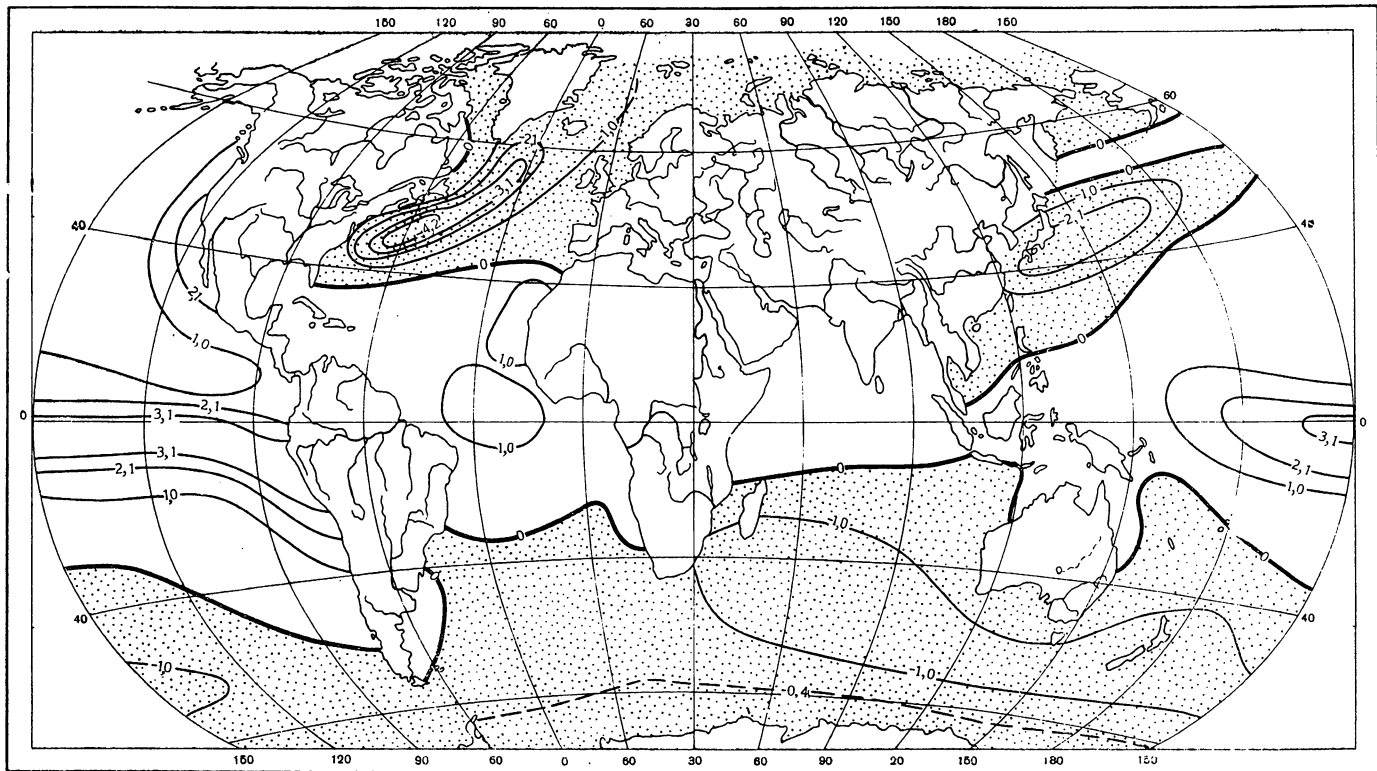


Рис. III.3. Годовой тепловой баланс ( $\text{Дж}/(\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot 10^9)$ ) океана. Величины округлены до десятых долей. Заштрихованы участки океана, где тепловой баланс отрицательный (по В. Н. Степанову, 1974)

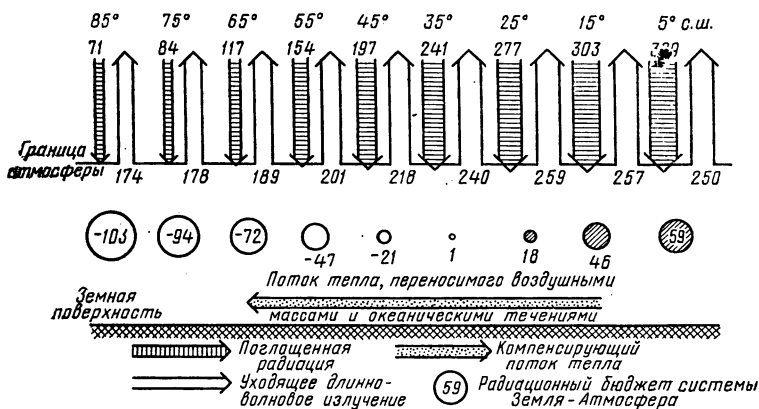


Рис. III.4. Главные особенности переноса энергии (Дж/(м<sup>2</sup>·с) в системе земляная поверхность — атмосфера (по данным К. Я. Кондратьева, 1980)

полушарии примерно по широте 5° на океанах и 10° — на суше. Смещение термического экватора к северу от географического связано с тем, что северное полушарие теплее южного на 2° С. Более низкие температуры южного полушария объясняются охлаждающим действием Антарктиды, поверхность которой отражает 60 % солнечной радиации, и более значительной облачностью. Температура воздуха над океаном выше, чем над сушей, что особенно заметно в умеренных и субполярных широтах.

Распределение температуры осложняется влиянием океанических течений и атмосферной циркуляции. Действие океанических течений хорошо заметно при анализе распределения изотерм. Изотермы в тропических широтах отклоняются в восточных частях океанов в сторону экватора (см. Физико-географический атлас мира, с. 26—27, 30—31). Отклонение обусловлено переносом в этом направлении симметрично расположенных по обе стороны от экватора холодных течений: *Канарского, Калифорнийского, Бенгельского, Западноавстралийского, Перуанского*. В умеренных и субполярных широтах в восточных частях океана изотермы отклоняются в сторону полюсов. Причина такого отклонения — перенос тепла в этом направлении Североатлантическим течением и течением Куроисио (в южном полушарии нет меридиональных течений на соответствующей широте).

На распределение температуры на земной поверхности влияет также рельеф. С повышением местности температура в горах понижается на 0,5—0,6° С на каждые 100 м. Вследствие этого в горах на определенной высоте появляются условия для образования ледников.

Существенной характеристикой температурного режима являются *годовые и суточные колебания температуры*. Годовая амплитуда температуры над поверхностью океана значительно меньше, чем



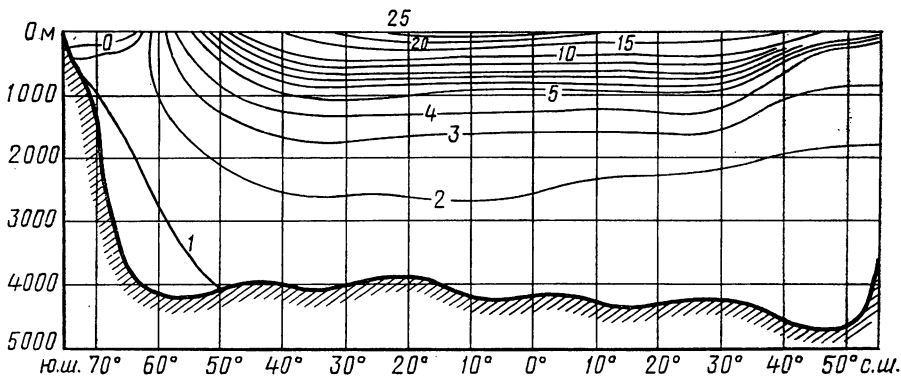


Рис. III.5. Вертикальное распределение температуры (°С) в Тихом океане по среднеширотным данным (по В. Н. Степанову, 1974)

над сушей. Это связано с поглощением океаном большого количества теплоты. В летнее время избыток поступившей теплоты передается в более глубокие слои, а зимой эта часть теплоты возвращается к поверхности. По этой же причине суточная амплитуда температуры над океаном меньше, чем над сушей.

Годовая амплитуда температуры у земной поверхности увеличивается в сторону полюсов, что связано с более резко выраженной изменчивостью поступления солнечной радиации в течение года в высоких широтах. Однако самые значительные годовые амплитуды характерны для северо-востока Азии (Якутия), где широтный фактор усиливается влиянием материка, сильно нагревающегося летом и сильно охлаждающегося зимой (континентальный тип климата). В связи с преобладанием суши в северном полушарии годовая амплитуда температур здесь в целом примерно в два раза больше, чем в южном.

Существенное значение для процессов в географической оболочке имеет *распределение температуры в океане* (рис. III. 5). Наблюдается в общем *двухслойная стратификация вод*: теплый слой, охватывающий несколько верхних сот метров (за исключением высоких широт), и холодный, охватывающий основную массу воды в океане (в том числе поверхностные воды в субполярных и полярных районах). Глубинные воды океана имеют температуру от 1 до 2,5 °С, а *средняя температура Мирового океана 4 °С*, т. е. Мировой океан в среднем холодный, поэтому усиление вертикального обмена в океане, возникающее через определенные промежутки времени, приводит к снижению температуры на поверхности океана и на всей земной поверхности. Соответственно ослабление вертикальной циркуляции в океанах способствует повышению температуры поверхностных вод и в целом температуры географической оболочки. Обнаружен 1800-летний период климатических колебаний, связанный с периодичностью в гравитационном взаимодействии Земли, Луны и Солнца и с соответствующей перестройкой системы вертикальной циркуляции в океане.

### III. 2. 2. Атмосферная циркуляция

Атмосфера — наиболее подвижная, динамичная часть географической оболочки. Это объясняется, во-первых, ее газообразным состоянием, во-вторых, спецификой ее теплового режима. Атмосфера нагревается преимущественно снизу, от земной поверхности, поэтому в ней часто возникают вертикальные, а следовательно, и горизонтальные движения.

**Тепловые машины.** В механическую энергию атмосферных движений переходит 1—2 % усваиваемой земной поверхностью солнечной энергии. Переход осуществляется в процессе работы так называемых *тепловых машин*. Разработка идеи о тепловых машинах географической оболочки принадлежит советскому ученому академику В. В. Шулейкину. Тепловой машиной называют систему, в которой тепловая энергия превращается в механическую. Каждая тепловая машина состоит из двух основных элементов — нагревателя и холодильника, которые связываются между собой потоком вещества — теплоносителя. Благодаря разности температур теплоноситель перемещается от нагревателя к холодильнику, а вместе с ним переносится и теплота, часть теплоты при этом расходуется на движение теплоносителя.

Наиболее крупной тепловой машиной в географической оболочке является *система экватор — полюсы*. Ее называют *тепловой машиной первого рода*. С ней связаны наиболее масштабные движения в атмосфере. Различия в нагревании материков и океанов приводят к возникновению *тепловых машин второго рода*. С ними связывают возникновение муссонов в умеренных и субтропических широтах. Однако существуют и другие представления о природе возникновения муссонов.

В географической оболочке существует множество других тепловых контрастов: внутренний водоем — окружающая его суша, горы — равнины, ледники — поверхности без льда и т. д. В каждом таком случае можно говорить о своего рода тепловой машине, в которой происходит преобразование части тепловой энергии в механическую.

Коэффициент полезного действия тепловых машин в географической оболочке невелик. Это объясняется как небольшой разницей температур нагревателей и холодильников, так и большими потерями энергии на теплообмен с окружающей средой. Возникновение движения воздуха в атмосферных тепловых машинах рассмотрим на упрощенном примере.

Как известно, давление в любой точке атмосферы равно весу вышележащего столба воздуха. При равномерном нагревании земной поверхности и атмосферы изменение давления с высотой происходит одинаково во всех точках, что можно изобразить с помощью *изобар* (линий, соединяющих точки с одинаковым атмосферным давлением), проведенных на вертикальном разрезе атмосферы (рис. III, б, а). Поступление дополнительного тепла в точку В приведет к расширению воздуха и к подъему изобар вверх (рис.

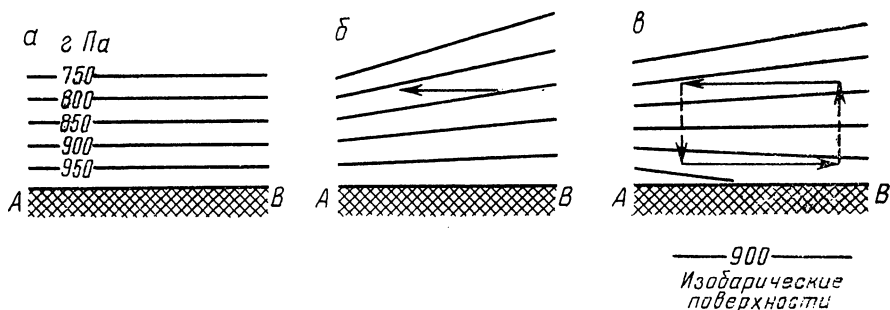


Рис. III.6. Схема возникновения элементарной конвективной ячейки

III. 6, б). Это не вызовет изменения давления у земной поверхности, однако в атмосфере возникнет разность давления по горизонтали, причем горизонтальный барический градиент будет направлен в сторону точки *A*. Перенос воздуха в этом направлении на высоте приведет к увеличению массы воздуха над точкой *A*, а следовательно, и к увеличению давления воздуха в этой точке (т. е. на уровне земной поверхности). Теперь уже у земной поверхности возникает барический градиент, но направленный в противоположную сторону, т. е. к точке *B* (рис. III. 6, в). Соответственно в этом направлении начнется перенос воздуха у земной поверхности.

Таким образом в теплых районах у земной поверхности возникают области пониженного давления, в холодных — повышенного, а на высоте — наоборот. Так образуются замкнутые вертикальные конвективные ячейки (кольца) циркуляции — *элементарные тепловые машины*.

Крупномасштабные вертикальные кольца циркуляции наблюдаются в низких широтах. В экваториальной зоне воздух поднимается вверх. В верхней тропосфере он направляется в сторону тропиков в виде *антипассата*. На широте 30—35° происходит опускание воздуха, откуда он направляется к экватору в виде *пассата* (см. рис. III. 8). Это вертикальное кольцо циркуляции было названо *ячейкой Гадлея* в честь английского ученого XVIII в., изучавшего пассатную циркуляцию. В наше время выяснилось, что пассаты и антипассаты связаны не только с процессами в вертикальных конвективных ячейках, т. е. с процессами термической природы, но и с динамическими процессами<sup>1</sup>. Подробнее этот вопрос разбирается на занятиях по метеорологии и климатологии.

**Основные закономерности атмосферной циркуляции.** Совокупность движений атмосферного воздуха образует *атмосферную циркуляцию*. Основа ее возникновения — неравномерное распределение тепла в атмосфере, т. е. термический фактор. Возникающие движения преобразуются далее под влиянием отклоняющей силы вращения Земли (силы Кориолиса), трения о земную поверхность и ряда других факторов и приобретают сложную структуру.

<sup>1</sup> См.: Блютген И. География климатов. М., т. 1, 1972; т. 2, 1973.

Общее представление о закономерностях движений воздуха можно получить на основе анализа среднего многолетнего распределения атмосферного давления и преобладающих ветров у земной поверхности в январе и июле (см. Физико-географический атлас мира, с. 40—41). В *распределении атмосферного давления* проявляются

*две основные закономерности*: с одной стороны, *зональность*, с другой — *влияние материков и океанов*. Зональность четко прослеживается на рис. III. 7, где приведена осредненная по широте величина атмосферного давления. Наблюдается чередование зон высокого и низкого давления. В области экватора давление ниже, чем в окаймляющих его тропических и субтропических областях. Высокое давление в этих поясах сменяется низким в умеренных и субполярных широтах. К полюсам происходит небольшое увеличение давления. Соответственно такому распределению давления формируется *система ветров* (см. Физико-географический атлас мира, с. 40—41). От субтропической области высокого давления в сторону экватора направлены пассаты, отклоняющиеся от градиента давления под действием силы Кориолиса и приобретающие *восточную составляющую*. В умеренных широтах *господствующий перенос* — *западный*, в полярных — *восточный*. Следует подчеркнуть, что это — осредненная картина, которая полностью совпадает с реальным распределением лишь в отдельные моменты. Изменчивость и непостоянство — характерные черты атмосферной циркуляции.

Не следует думать, что в природе существует простая причинная цепь: неоднородность в распределении тепла → распределению давления → распределению ветров. В общем виде такая последовательность возникновения цепи физических воздействий действительно наблюдается, однако реальное распределение трех названных характеристик зависит от их взаимодействия между собой и со многими другими факторами. Например, исходное распределение тепла мы связываем обычно с поступлением солнечной радиации на земную поверхность. Оно создает термическую неоднородность и тем самым обуславливает возникновение разности атмосферного давления, а следствием последней является ветер. Ветер, возникнув как результат перечисленных выше факторов, сам становится мощным фактором, воздействующим на первые два. Воздушные массы переносят тепло, влагу, минеральные соли и тем самым перераспределяют энергию на поверхности Земли. Последнее в свою очередь вызывает перераспределение атмосферного давления и системы

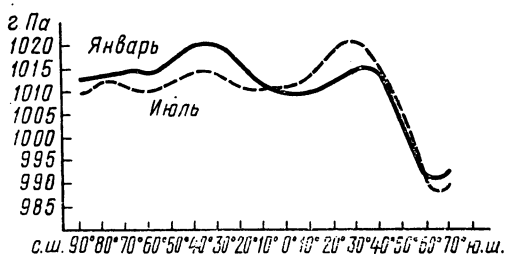


Рис. III.7. Зональное распределение атмосферного давления в январе и июле (по данным Г. Н. Витвицкого, 1980)

ветров. На эти процессы влияет облачность — мощный регулятор радиационного и теплового обмена между земной поверхностью, атмосферой и космическим пространством. В результате картина настолько усложняется, что однозначно невозможно определить цепь причинно-следственных событий.

В средних и высоких широтах перенос воздуха в больших масштабах осуществляется в виде вихревых потоков — *циклонов* и *антициклонов*. Циклон — движущаяся восходящая система потоков воздуха, образующих спираль, закручивающуюся в южном полушарии по часовой стрелке, в северном — против часовой стрелки. Поэтому в северном полушарии при перемещении циклонов с запада на восток (это доминирующее направление движения циклонов в широкой полосе от 40 до 80° широты) в передней части циклона происходит перенос воздуха с юга на север, в тыловой — с севера на юг. В южном полушарии наблюдается аналогичный процесс с той лишь разницей, что в передней части наблюдается заток воздуха с севера на юг, в тыловой — с юга на север. Одновременно в циклонах осуществляются вертикальные движения — в центральной части циклона воздух поднимается вверх.

В антициклонах воздух движется по спирали от центра, где наблюдается высокое давление. Одновременно происходит опускание воздуха над центром антициклона.

В циклонах и антициклонах формируются особые погоды. На территории, занятой циклоном, наблюдается низкое давление, как правило, выпадают атмосферные осадки, происходит резкая смена направления и скорости ветра. Для антициклонов характерно высокое давление, чаще всего малооблачная устойчивая погода без осадков.

Распространение циклонов и антициклонов на земной поверхности характеризуется определенными закономерностями. В областях преимущественного распространения циклонов на климатических картах вырисовываются минимумы давления (Физико-географический атлас, с. 40—41), в областях распространения антициклонов — максимумы давления. Соответственно минимумам и максимумам распределяются атмосферные осадки (там же, с. 42—43). Увеличение осадков в циклонах связано с поднятием воздуха на атмосферных фронтах. В процессе поднятия воздух охлаждается. При определенной температуре происходит конденсация или сублимация содержащегося в воздухе водяного пара. Образовавшиеся водяные капли или кристаллы льда при достижении достаточных размеров падают на земную поверхность. В антициклонах воздух опускается, сжимается, благодаря этому нагревается и удаляется от точки насыщения.

В экваториальной зоне вследствие малых значений силы Кориолиса ( $\sin \varphi$  составляет один из множителей в выражении, определяющем эту силу) циклоны и вообще вихревые системы не образуются. Большое количество атмосферных осадков в этой зоне связано с конвективным поднятием воздуха.

Таким образом, основные (фоновые) закономерности распреде-

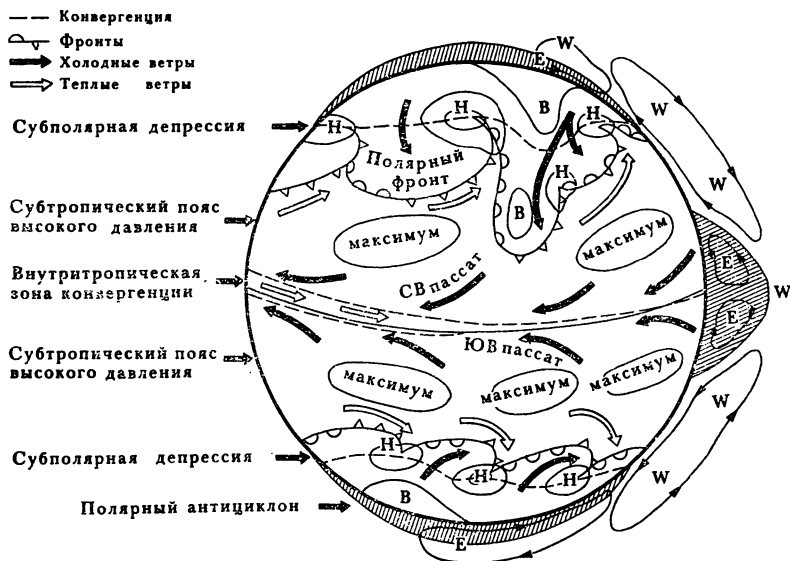


Рис. III.8. Схема общей циркуляции атмосферы (по Г. Флону, из кн. Л. П. Шубаева, 1977):

Вид сверху. Справа — меридиональный разрез; буквами обозначены горизонтальные составляющие ветра. Области восточных ветров заштрихованы. Вблизи северной субполярной депрессии изображена меридиональная форма обмена, близ южной — зональная; *Н* — низкое давление, *В* — высокое

ления атмосферных осадков связаны с характером циркуляционных процессов. Карта атмосферных осадков позволяет увидеть множество деталей в их распределении, связанных с влиянием рельефа и других факторов.

На рис. III. 8 дана схема общей циркуляции атмосферы с учетом основных типов движения в атмосфере (пассатов, вихревых систем, восточных ветров в полярных районах и вертикальных колец) <sup>1</sup>. В целом циркуляция атмосферы складывается из зональных, меридиональных и вертикальных движений. Зональные движения (вдоль параллелей) преобладают. Они на порядок интенсивнее меридиональных и на два порядка — вертикальных. Хотя меридиональные движения и слабее зональных, их значение велико. Меридиональные потоки осуществляют межширотный обмен воздуха. Именно благодаря меридиональному переносу (который имеет место и в океане) реальное распределение температуры на земной поверхности менее контрастное, чем *соллярное*, — теоретическое рассчитанное по радиационному переносу энергии (табл. III. 1).

<sup>1</sup> Проблема построения модели общей циркуляции атмосферы на протяжении последних десятилетий остается одной из самых сложных в метеорологии и климатологии. См. работы: *Лоренц Э. Н.* Природа и теория общей циркуляции атмосферы. Л., 1970; *Погосян Х. П.* Общая циркуляция атмосферы. Л., 1972; *Пальмен Э., Ньютон Ч.* Циркуляционные системы атмосферы. Л., 1973; *Витвицкий Г. Н.* Зональность климата Земли. М., 1980.

Таблица III.1. Соляные и фактические температуры года по широтам, °С

Температуры	Широта, град									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Соляные	39	36	32	22	8	-6	-20	-32	-41	-44
Фактические северного полушария	25,4	26,0	25,0	20,4	14,0	5,4	-0,6	-10,4	-17,2	-19,0
Разность между соляными и фактическими температурами	-13,6	-10,0	-7,0	-1,6	6,0	11,4	19,4	21,6	23,8	25,0
Фактические южного полушария	25,4	24,7	22,8	18,3	12,0	5,3	-34	-13,6	-30,2	-36,5
Разность между фактическими и соляными температурами	-13,6	-11,3	-9,2	-3,7	4,0	11,3	16,6	18,4	10,8	7,5

Вертикальные движения (их главные потоки изображены на рис. III. 8 в виде колец) сильно уступают горизонтальным движениям по интенсивности. Однако они также играют исключительно важную роль, поскольку без них вообще была бы невозможна циркуляция атмосферы.

**Типы атмосферной циркуляции.** В отдельные периоды соотношение между зональными и меридиональными потоками в атмосфере меняется. Соответственно этому исследователи выделяют несколько типов атмосферной циркуляции, которые можно свести к двум основным — *широтному* (зональному) и *меридиональному*.

При широтном типе циркуляции контрасты между низкими и высокими широтами возрастают, а погодные условия характеризуются сравнительно слабой изменчивостью. При меридиональном типе циркуляции обмен воздушными массами между теплыми и холодными районами обуславливает резкую изменчивость погоды, а вследствие этого — и резкую изменчивость всего комплекса физико-географических процессов.

Типы атмосферной циркуляции постоянно сменяют друг друга. Однако в течение нескольких, следующих друг за другом лет (до 15) часто наблюдается преобладание (иногда весьма четко выраженное) одного типа циркуляции. Причина чередования типов не совсем ясна. Возможно, что она связана с солнечной активностью. Высказываются предположения и о существовании в атмосфере (лучше сказать в системе атмосфера — океан — земная поверхность) собственных ритмов.

В последние 15—20 лет на земном шаре отмечено учащение экстремальных явлений погоды (сильные засухи и одновременно исключительно дождливые сезоны, частые ураганы, жестокие морозы и др.). Некоторые ученые связывают их с деятельностью человека, все в более широких масштабах воздействующего на природную среду. Другие считают, что они обусловлены преобладанием в современную эпоху меридионального типа циркуляции (один из этапов колебания климата), вызывающего экстремальные процессы в атмосфере вследствие более активного обмена холодных полярных и теплых тропических масс воздуха.

В атмосфере наблюдаются также *местные циркуляции* — движения воздуха, связанные с формами рельефа, ледниками, взаимодействием суши и водоемов и другими факторами. Они получили название *горно-долинных, склоновых и ледниковых ветров, бризов, фен* и др. Их роль в перераспределении на земной поверхности тепла, влаги и других параметров также значительна, хотя и имеет локальный характер.

Однако, несмотря на постоянные переносы воздуха, в целом атмосфера сохраняет состояние, близкое к равновесному. Все переносы связаны между собой и образуют *гигантский атмосферный круговорот*. Механическая энергия атмосферы постепенно рассеивается и превращается в теплоту, которая затем преобразуется в длинноволновое излучение и направляется в Космос или к земной поверхности. Другая часть механической энергии передается океану при трении воздушных масс о водную поверхность.

Если бы поступление солнечной энергии не возобновляло термическую неоднородность земной поверхности, атмосферная циркуляция вскоре бы прекратилась (примерно за две недели). Еще быстрее это произошло бы на невращающейся Земле при отсутствии силы Кориолиса. Однако непрерывное поступление солнечной радиации к Земле приводит к постоянному воспроизведению основных элементов циркуляции.

### III.2.3. Круговорот воды

Один из важнейших процессов в географической оболочке — *круговорот воды*. Движения воды в различных формах сопровождаются разрушением неровностей земной поверхности, переносом большого количества тепловой энергии и минеральных веществ. Поступление воды с океанов на поверхность суши обеспечивает сложившиеся здесь физико-географические условия: существование рек, рост и развитие растений и животных, формирование почв, в конечном счете существование и нормальное развитие природных комплексов.

Гидросфера, как уже говорилось, возникла благодаря выделению воды из мантии при гравитационной дифференциации вещества Земли. Этот процесс продолжается. Считают, что масса воды на земной поверхности увеличивается на протяжении геологической истории, несмотря на некоторые потери. Часть воды (соответ-



ствующая примерно стосорокаметровому слою воды в океане) была изъята в процессе создания органического вещества и захоронения его в недрах. Другая часть воды потеряна в процессе диссипации составляющих ее элементов, в первую очередь водорода, в Космос. На высоте 70—100 км наблюдается диссоциация молекул воды на  $H^+$  и  $OH^-$ . Водород как наиболее легкий газ затем улетучивается в Космос. Количественные оценки этого процесса, произведенные разными учеными, различаются на несколько порядков, поэтому оценка роли этого процесса в планетарном водном балансе пока затруднительна.

В географической оболочке перемещение воды совершается в различных формах (см. II. 4. 2). Все водоемы связаны между собой. В них происходит постепенная смена воды. Скорость водообмена неодинакова. Она зависит от множества причин, среди которых важную роль играет агрегатное состояние воды и характер водомещающей среды. Ниже приведены периоды возобновления запасов воды на Земле (по кн.: Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли, 1974):

<i>Виды воды</i>	<i>Период возобновления воды (скорость водообмена)</i>
Мировой океан . . . . .	2500 лет
Подземные воды . . . . .	1400 лет
Почвенная влага . . . . .	1 год
Полярные ледники и постоянно залегающий снежный покров . . . . .	9700 лет
Ледники горных районов . . . . .	1600 лет
Подземные льды зоны многолетней мерзлоты . . . . .	10 000 лет
Воды озер . . . . .	17 лет
Воды болот . . . . .	5 лет
Воды в руслах рек . . . . .	16 дней
Биологическая вода . . . . .	несколько часов
Атмосферная влага . . . . .	8 дней

Наиболее быстро обмен воды происходит в организмах — за несколько часов. Смена влаги в атмосфере и руслах рек осуществляется за несколько дней. Для смены воды, находящейся в озерах и болотах, требуется несколько лет. В остальных водных системах этот процесс длится сотни и тысячи лет. Правда, в океанах за счет внутреннего водообмена (океанических течений) полная смена вод происходит гораздо быстрее — за 63 года. Особенно медленно процесс смены воды протекает в ледниках и подземных льдах зоны многолетней мерзлоты.

В круговороте воды можно выделить три основных звена: *материковое, океаническое и атмосферное*.

**Материковое звено круговорота воды.** Сложную цепь переходов претерпевает вода на суше. Попадая на поверхность суши в виде атмосферных осадков, вода частично просачивается в почвогрунты, частично стекает по поверхности, формирует *поверхностный и речной сток*, а затем вливается в озера, моря и океаны (рис. III.9). Просочившаяся в почвогрунты вода частично поднимается по корневой системе и стеблям растений, а также по поч-

венным капиллярам к поверхности и испаряется. Испарение воды через листья растений называется *транспирацией*. Другая часть просочившейся в грунт влаги перемещается в виде внутрипочвенного стока и подземных вод более глубоких горизонтов. Она выходит на земную поверхность на склонах (источники), в руслах рек или на дне озер и морей. Перемещение влаги в почвогрунтах совершается гораздо медленнее, чем в атмосфере или при поверхностном стоке, поэтому почвогрунты сглаживают резкие всплески притоков воды в виде атмосферных осадков, которые, как известно, выпадают неравномерно.

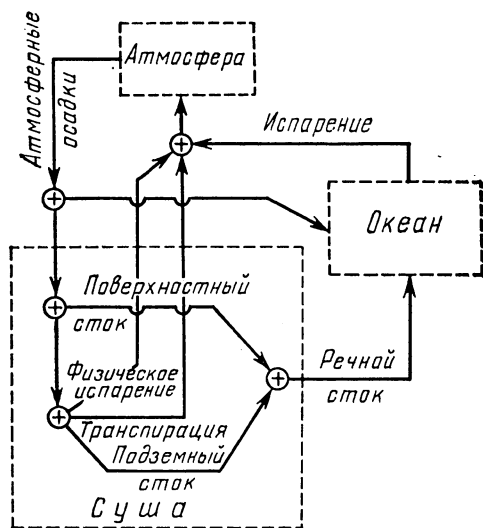


Рис. III.9. Круговорот воды (знак плюс указывает на суммирование потоков)

Особый характер имеет *динамика ледников*. В ледниках сосредоточена большая часть запасов пресной воды земного шара. Особенно большие запасы воды в *материковых ледниках*, мощность которых до 4 км. Они характерны для Антарктиды и Гренландии. Под действием собственной тяжести ледники растекаются по краям. В результате создается динамическое равновесие: поступающие новые порции снега постепенно в результате самоуплотнения переходят в фирновый лед. В итоге возникает избыток массы по сравнению с равновесной фигурой вязкого ледяного тела. Начинается движение льда к краям покрова, стремящееся восстановить фигуру равновесия (рис. III.10). Скалывающиеся глыбы льда на краях ледниковых покровов образуют *айсберги*. Скорость движения материковых льдов колеблется от нескольких сантиметров (в центре) до нескольких километров (у края) в год.

*Горные ледники* движутся от области питания к области абляции в виде языков. Края ледников располагаются на таком уровне, где поступление льда сверху оказывается равным количеству растаявшего и испарившегося льда. Этот уровень соответствует *снеговой линии*. Скорость движения горных ледников от единиц метров небольших ледников до нескольких сотен метров в год у крупных.

Масса ледников на Земле не остается постоянной. В течение геологической истории географическая оболочка пережила несколько крупных материковых оледенений. В периоды великих оледенений большие массы воды изымались из океана и сосредотачивались в виде полярных материковых покровов. Периоды оле-

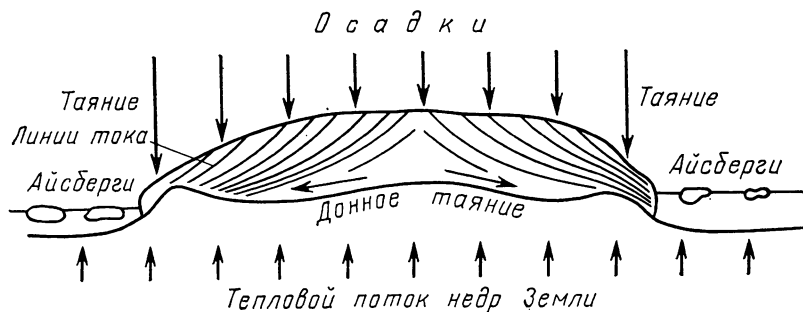


Рис. III.10. Схема бюджета материковой (Антарктида) массы льда (по А. П. Капице, 1970)

денений сменялись более продолжительными периодами, в которые полярные ледники вообще отсутствовали на Земле. Изменение массы ледниковых покровов приводит к изменению структуры влагооборота, к изменению соотношения площадей суши и океана и, естественно, влечет за собой целую цепь изменений в природном облике большинства районов земного шара. Подсчитано, например, что полное таяние ледниковых щитов Антарктиды и Гренландии вызовет повышение уровня Мирового океана на 60 м. Это приведет к увеличению площади водной поверхности на 20 млн. км<sup>2</sup>. Влияние ледников на природу земной поверхности хорошо изучено в пределах последних нескольких миллионов лет геологической истории.

**Океаническая циркуляция.** Океан более устойчив, чем атмосфера. Он нагревается главным образом сверху за счет поглощения солнечной радиации и теплового излучения атмосферы. Геотермический поток, идущий к океаническому дну из земных недр, незначителен и не оказывает существенного влияния на его тепловой режим. Нагревание сверху делает океан гидростатически устойчивым (верхние слои прогреваются, а нижние оказываются холодными), поэтому вертикальные движения в океане выражены гораздо слабее, чем в атмосфере. На замедление обмена в океане оказывает влияние и более высокая плотность воды (по сравнению с воздухом).

Общая совокупность перемещений воды в океане складывается из движений и круговоротов различных пространственных и временных масштабов. Периоды движений колеблются от секунд (и менее) до многих сотен лет, а пространственные масштабы течений — от миллиметров до тысяч километров: турбулентность, поверхностные и внутренние волны, приливы и отливы, океанические меандры и вихри, океанические течения и др. В этом спектре движений особый интерес с позиций общего землеведения представляет *общая циркуляция океанических вод* — устойчивая крупномасштабная система движений.

В соответствии с зональным распределением солнечной энергии по поверхности планеты и в океане, и в атмосфере создаются

однотипные и генетически связанные циркуляционные системы. Перемещение и водных, и воздушных масс определяется общей для атмо-и гидросферы закономерностью: неравномерным нагреванием и охлаждением поверхности Земли. От этого в одних районах возникают восходящие токи и убыль масс, в других — нисходящие токи и увеличение масс (воды, воздуха). Рождается импульс движения.

Среди факторов возникновения океанической циркуляции различают *механические и термохалинные*. Важнейший механический фактор — *ветровое трение* о поверхность воды, благодаря которому океан получает механическую энергию от атмосферы. Ветер вызывает *дрейфовые течения*, которые обуславливают сгон воды в одних районах и нагон в других. Возникают разности уровней воды и соответствующий градиент давления, которые вызывают течения, называемые *градиентными (стоковые и сгонные)*. Все течения такого рода называют *ветровыми*, поскольку в основе их возникновения находится движение воздуха.

Некоторое значение в качестве механического фактора имеет неравномерное распределение атмосферного давления, вызывающее понижение уровня океана в областях высокого давления и повышение в областях низкого давления.

Термохалинные факторы (получение и отдача тепла, атмосферные осадки, испарение, приток воды с материков) влияют на температуру и соленость воды и тем самым определяют ее плотность. Более плотные воды опускаются (особенно эффективен процесс испарения, который делает воду более холодной и одновременно более соленой), что приводит к вертикальному перемешиванию. Вертикальные движения вызывают горизонтальные. Следовательно, циркуляция, вызванная термохалинными факторами, дополняет ветровую.

Система океанических течений напоминает кровеносную систему гигантского существа. Многие ученые образно сравнивали водные потоки Земли с кровью. И это справедливо. Течения переносят значительное количество тепловой энергии, солей, питательных веществ, т. е. выполняют примерно те же функции, что и кровеносная система.

В настоящее время хорошо изучена *циркуляция поверхностных вод*. Она захватывает верхние сотни метров. Внимательное изучение картины поверхностных течений (рис. III. 11) позволяет увидеть большое сходство системы течений в различных океанах, несмотря на различия очертаний берегов океанов и рельефа их дна.

Характерная черта системы — *замкнутые циркуляционные образования — круговороты*. В Атлантическом океане тропический круговорот в северном полушарии включает следующие течения: *Северное Пассатное, Гольфстрим, Североатлантическое, Канарское*; в южном полушарии — *Южное Пассатное, Бразильское, Южноатлантическое, Бенгельское*. Характер движения в течениях, образующих круговороты в тропических областях, антициклонический, т. е. течения движутся по часовой стрелке в северном

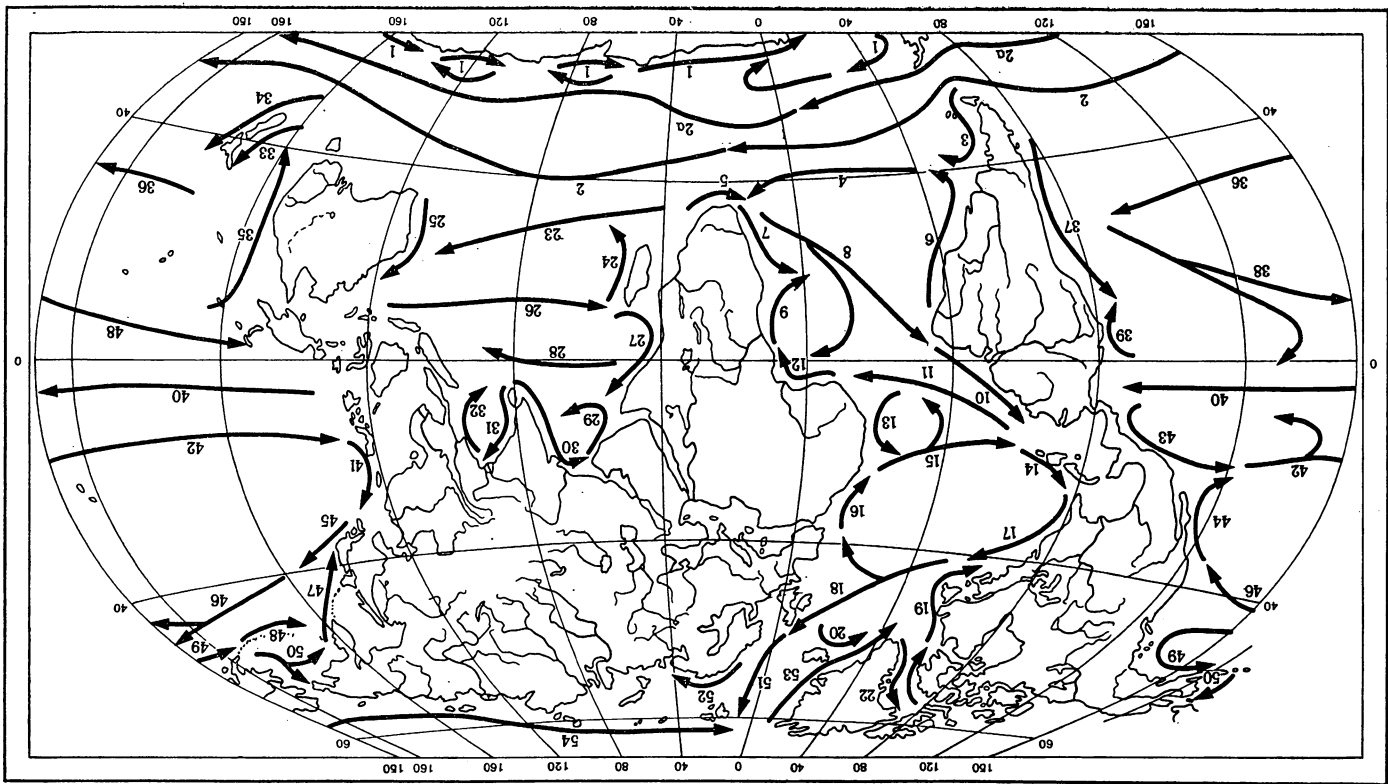


Рис. III.11. Основные течения на поверхности Мирового океана (по Степанову, 1974):

1 — Прибрежное антарктическое, 2 — Антарктическое циркулярное, 2а — южная ветвь Антарктического циркулярного течения; *Атлантический океан*; 3 — Фоклендское, 4 — Южноатлантическое, 5 — Игольное, 6 — Бразильское, 7 — Бенгельское, 8 — Южное пассатное, 9 — Ангольское, 10 — Ганайское, 11 — Экваториальное противотечение, 12 — Гвианское, 13 — Зеленого Мыса, 14 — Английское, 15 — Северное пассатное, 16 — Канарское, 17 — Гольфстрим, 18 — Североатлантическое, 19 — Лабрадорское, 20 — Ирмингера, 21 — Баффиново, 22 — Западное гренландское; *Индийский океан*; 23 — Южноиндийское, 24 — Магалайское, 25 — Западноавстралийское, 26 — Южное пассатное, 27 — Сомалийское, 28 — Экваториальное противотечение, 29 — Западноавстралийское, 30 — Восточноавстралийское, 31 — Западнобенгельское, 32 — Восточнобенгельское; *Тихий океан*; 33 — Южное пассатное, 34 — Экваториальное противотечение, 35 — Восточноавстралийское, 36 — Южнотихоокеанское, 37 — Перуанское, 38 — Южное пассатное, 39 — Перу-Чилийское, 40 — Экваториальное противотечение, 41 — Миндао, 42 — Северное пассатное, 43 — Мексиканское, 44 — Калифорнийское, 45 — Куро́со, 46 — Северо-тихоокеанское, 47 — Оя́сино, 48 — Алеутское, 49 — Аляскинское, 50 — Восточноберингово-морское; Северный Ледовитый океан; 51 — Норвежское, 52 — Нордкапское, 53 — Восточногренландское, 54 — Западное арктическое

полушарии и против часовой — в южном. Тропические океанические круговороты примерно соответствуют стационарным атмосферным антициклонам (сравни рис. III.11 и карты Физико-географического атласа мира, с. 40—41).

В умеренных и субполярных широтах северного полушария течения образуют круговороты, направленные против часовой стрелки. Характер вращения в них циклонический. Эти круговороты примерно соответствуют климатическим минимумам атмосферного давления, т. е. областям, в которых в течение года преобладает циклоническая циркуляция. В южном полушарии систем течений такого рода нет. На этих широтах океаны в южном полушарии не разделены материками (там располагаются воды, выделяемые некоторыми исследователями в Южный океан). Вследствие этого образуется мощное *Антарктическое циркулярное течение* (течение западных ветров), направленное с запада на восток, и слабо выраженное противотечение, направленное вдоль берегов Антарктиды в противоположную сторону.

Антициклонические и циклонические круговороты в каждом полушарии связаны между собой таким образом, что один из потоков входит одновременно в оба круговорота. Например, Североатлантическое течение является северной ветвью тропического круговорота и одновременно южной ветвью циклонического круговорота умеренных и субполярных широт. Благодаря этому круговороты взаимодействуют между собой.

Круговороты океанических течений являются отражением всеобщего процесса динамического равновесия, наблюдающегося в океане: убыль массы воды в любой точке компенсируется ее поступлением, и наоборот. Такую природу имеет одно из самых великих течений земного шара — *Гольфстрим*. Оно возникает главным образом вследствие накопления водных масс в западной части Атлантического океана, приносимых *Северным Пассатным* и *Гвианским* течениями.

Следовательно, *поверхностная циркуляция Мирового океана* представляет собой систему *гигантских*, чередующихся в пространстве цик-

*лонических и антициклонических круговоротов*, главные звенья которых примерно соответствуют средним движениям в атмосфере: пассатам, западным ветрам и др. *Зональные движения в океане*, как и в атмосфере, доминируют, *меридиональные течения* (Гольфстрим, Куро시오, Канарское, Калифорнийское, Перуанское, Бразильское и др.) представляют собой замыкающие звенья в условиях расчленения океанов материками.

Кроме систем течений, образующих циклонические и антициклонические круговороты, следует назвать *экваториальные межпассатные противотечения*. Они направлены с запада на восток между северными и южными пассатными течениями и в значительной мере являются *компенсационными* — переносят часть избытка масс, создающегося за счет мощных восточно-западных пассатных течений в западных частях океанов.

Противотечения широко распространены в подповерхностных и глубинных слоях. Хорошо они изучены в экваториальной зоне, где захватывают значительную часть водного слоя (от 50 до 300 м) и направлены на восток. В Тихом океане *экваториальное подповерхностное противотечение* было названо в честь его исследователя Т. Кромвелла *течением Кромвелла*, в Атлантическом — в честь М. В. Ломоносова *течением Ломоносова*.

Поверхностные воды связаны с глубинными и вертикальным обменом. Хотя вертикальные движения на 3—5 порядков меньше горизонтальных (в атмосфере, как указывалось выше, вертикальные движения также значительно уступают по интенсивности горизонтальным), их роль велика, поскольку благодаря им происходит обмен поверхностных и глубинных вод энергией, солями, питательными веществами. Наиболее интенсивный вертикальный обмен осуществляется в *зонах конвергенции (сходимости) и дивергенции (расходимости) потоков водных масс*. В зонах конвергенции наблюдается погружение водных масс, в зонах дивергенции — подъем их к поверхности, называемый *апвеллингом*. Зоны дивергенции формируются в областях циклонических круговоротов, где центробежные силы разносят воды от центра к периферии и возникает подъем вод в центральной части круговорота. Дивергенция возникает и у берегов, там, где преобладает ветер с суши (сгон поверхностных вод). В антициклонических системах и в тех прибрежных зонах, где преобладает ветер с океана, происходит опускание вод.

Распределение зон конвергенции и дивергенции однотипно в различных океанах. Оно показано на рис. III. 12 для идеализированного океана и характеризуется следующими закономерностями. Несколько севернее экватора располагается *экваториальная конвергенция*. По обе стороны от нее по ложбинам тропических циклонических систем протягиваются *тропические дивергенции*, затем по осям субтропических антициклонических систем — *субтропические конвергенции*. Высокоширотным циклоническим системам соответствуют *полярные дивергенции*, гребню арктического круговорота воды — *арктическая конвергенция*.

Циркуляция более глубоких слоев Мирового океана изучена

хуже. Непосредственное их изучение связано с определенными техническими трудностями, поэтому большее значение в изучении глубинной циркуляции приобретают теоретические методы. На глубине интенсивность движений уменьшается, возрастает значение меридиональных переносов. Они по величине становятся равными зональным. Масштаб циркуляционных форм на глубине уменьшается, направление и характер движений становятся менее упорядоченными. Характерно, что циркуляция нижней сферы Мирового океана (глубже 4000 м) в разных океанах неодинакова, что в значительной степени объясняется индивидуальными особенностями водных масс, очертаний берегов и рельефа дна. Предполагают, что большая часть придонных вод Мирового океана образуется при опускании вод в северной и южной частях Атлантического океана (несколько южнее Гренландии и недалеко от Антарктиды, восточнее шельфового ледника Ларсена в море Уэдделла). Эти холодные воды полярных областей заполняют нижние слои океанов, определяя их низкую температуру.

В целом с глубиной циркуляция все меньше связана с процессами, происходящими в зоне контакта основных геосфер, подобно тому как в атмосфере главные особенности процессов у земной поверхности находят отражение лишь в тропосфере.

Картина океанических течений получена в результате осреднения (как и картина атмосферной циркуляции). Реальная ситуация гораздо сложнее, ибо течения меняют свою скорость, интенсивность, а иногда и направление. Некоторые течения временами исчезают. Океанические потоки имеют сложную структуру. Подобно рекам они меандрируют, подобно воздушным потокам об-

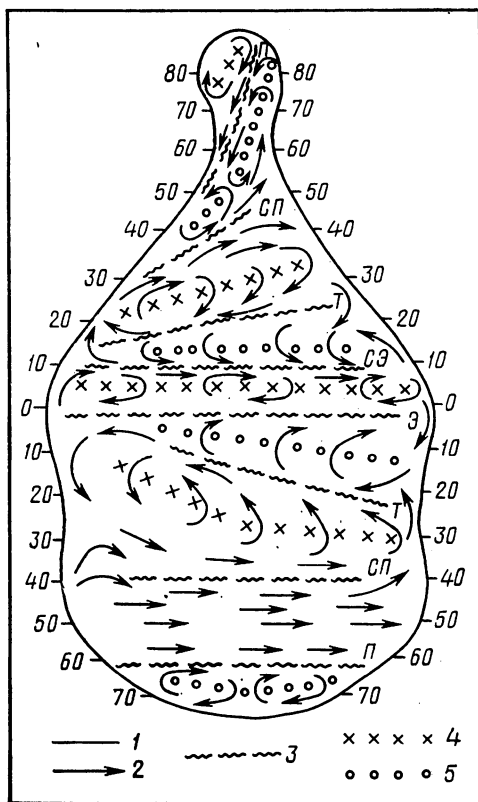


Рис. III.12. Идеализированная схема циркуляции поверхностных вод океана (по В. Н. Степанову, 1974):

1 — береговая линия, ограничивающая площадь Мирового океана на данной географической широте, 2 — течения, 3 — главные океанические фронты, разделяющие макроциркуляционные системы (Э — экваториальный, СЭ — субэкваториальный, Т — тропические, СП — субполярные, П — полярные), 4 — конвергенции, 5 — дивергенции



разуют завихрения. Океанические вихри в последние десятилетия активно изучаются. Большой вклад в их изучение, как и в изучение всех основных процессов в Мировом океане, вносят советские исследователи.

Структура поверхностных океанических течений, захватывающих верхние сотни метров, в основных чертах совпадает со структурой атмосферной циркуляции (см. рис. III. 8 и карты Физико-географического атласа мира, с. 50—51). Исключение составляют западные течения, замыкающие круговороты и идущие не обязательно по ветру, и межпассатные противотечения. Возникает естественное желание связать океанические течения с ветром и сделать вывод о наличии простой причинно-следственной цепи *ветер — океанические течения*, приняв при этом, что поверхностные воды смещаются с места под действием касательного трения о водную поверхность. В действительности существуют более сложные связи атмосферы и океана. Атмосфера возбуждает основные океанические течения, но большую часть энергии она получает от океана (причем 80 % за счет скрытой теплоты испарения). Распределение энергии в значительной степени зависит от структуры океанических течений (больше всего теплоты океан передает атмосфере в районе Гольфстрима и Куроисио). В результате атмосферные движения вынуждены приспосабливаться к структуре океанических течений, поэтому *океанические и воздушные течения образуют единую систему, возникающую в результате приспособления их друг к другу*.

Следует также отметить, что океан обладает большой тепловой и динамической инерцией. Его реакции на воздействия атмосферы запаздывают и их взаимодействие приобретает сложный характер. Океан, по образному выражению А. С. Мониной, является своего рода «запоминающим устройством», хранящим «отпечатки» атмосферных возмущений за некоторый предшествующий период.

**Атмосферное звено круговорота воды.** Следующее звено круговорота воды на земле — *атмосферное*. Содержание воды в атмосфере невелико. При осаднении всей воды, содержащейся в атмосфере, на земную поверхность образуется слой всего лишь в 25 мм. Но атмосфера выполняет важные функции в интеграции всех водных резервуаров в единую систему влагооборота.

Важное значение имеет большая подвижность атмосферы, благодаря которой идет интенсивный влагообмен. За год атмосферная влага сменяется примерно 45 раз (т. е. примерно один раз за 8 дней). В результате на земную поверхность выпадает слой осадков высотой примерно 1,1 м. Поступление влаги в атмосферу происходит за счет испарения. Ежегодно с поверхности земного шара испаряется  $577 \cdot 10^{12}$  м<sup>3</sup> воды, причем  $505 \cdot 10^{12}$  м<sup>3</sup> из них испаряется с поверхности океана. В атмосфере на уровне облаков водяной пар конденсируется, причем зачастую до этого он переносится на большие расстояния.

Вместе с водяным паром переносится энергия, перешедшая в скрытую форму при испарении. Общая величина этой энергии со-

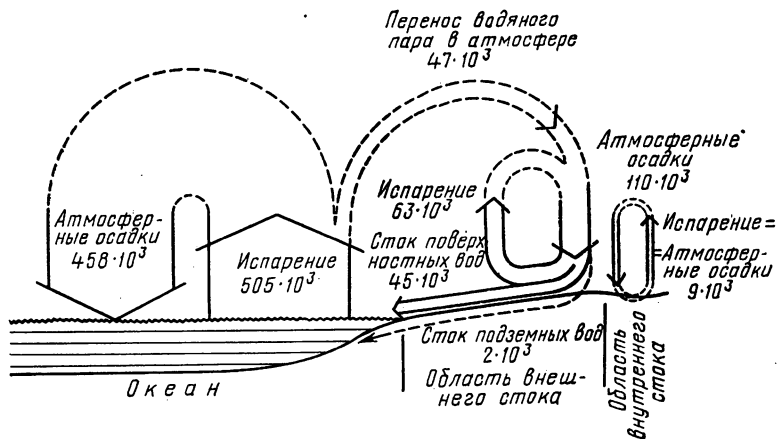


Рис. III.13. Влагооборот (км<sup>3</sup>) в системе Мировой океан — атмосфера — суша (по данным кн. Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли, 1974)

ставляет более 80 % радиационного бюджета. Выделение в атмосферу скрытого тепла при конденсации — важнейший энергетический источник атмосферных движений. Вот почему водяной пар иногда образно называют «основным топливом атмосферы».

**Мировой водный баланс.** На поверхность Мирового океана выпадает  $458 \cdot 10^{12}$  м<sup>3</sup> воды, т. е. на  $47 \cdot 10^{12}$  м<sup>3</sup> меньше испарившейся с него влаги. Эта разность в конечном счете переносится на сушу и вместе с водой, испарившейся на суше, формирует атмосферные осадки ( $119 \cdot 10^{12}$  м<sup>3</sup>). Часть выпавшей над сушей влаги снова вовлекается в испарение ( $72 \cdot 10^{12}$  м<sup>3</sup>), другая часть формирует сток (реки, ледники, подземные воды и др.), который в конечном счете направляется в океан, компенсируя превышение атмосферных осадков над испарением (рис. III. 13, табл. III. 2). Общую схему круговорота воды на поверхности Земли можно описать двумя уравнениями водного баланса:

$$\text{для поверхности Мирового океана — } E_o = X_o + f,$$

$$\text{для поверхности суши — } X_c = E_c + f,$$

где  $E_o$  — испарение с поверхности океана,  $E_c$  — испарение с поверхности суши,  $X_o$  — атмосферные осадки над океаном,  $X_c$  — атмосферные осадки над сушей,  $f$  — сток с континентов (приток в океан). Однако не всюду на океанах испарение превышает осадки. В умеренных и полярных областях, а также в приэкваториальной зоне осадков выпадает больше, чем испаряется (рис. III. 14).

**Хозяйственное звено круговорота воды.** Круговорот воды в хозяйственных системах по объему переносимой воды значительно уступает трем основным звеньям, но имеет важное значение для баланса пресной воды во многих районах земного шара. Основными потребителями пресной воды являются сельское хозяйство, промышленность и население.

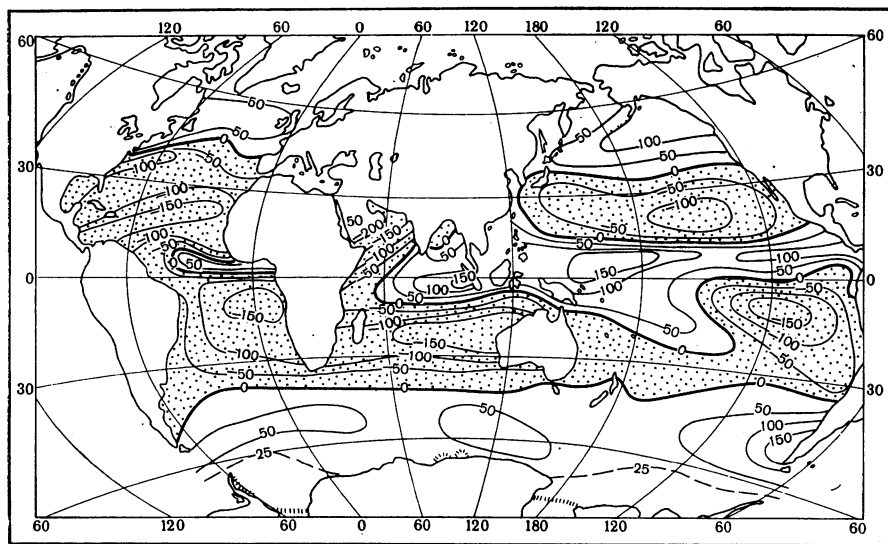


Рис. III.14. Влагообмен океан — атмосфера (г/см<sup>2</sup>·год). Точками отмечены акватории, в которых испарение превышает осадки (по В. Н. Степанову, из кн. Шубаева, 1977)

Таблица III.2. Мировой водный баланс <sup>1</sup>

Регион	Площадь, млн. км <sup>2</sup>	Осадки		Испарение		Сток (приток в океан)	
		мм	м <sup>3</sup>	мм	м <sup>3</sup>	мм	м <sup>3</sup>
Земной шар	510	1130	577·10 <sup>12</sup>	1130	577·10 <sup>12</sup>	—	—
Мировой океан	361	1270	458·10 <sup>12</sup>	1400	505·10 <sup>12</sup>	130	47·10 <sup>12</sup>
Суша	149	800	119·10 <sup>12</sup>	485	72·10 <sup>12</sup>	315	47·10 <sup>12</sup>

<sup>1</sup> См.: Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли. Л., 1974.

В сельском хозяйстве наибольшее количество воды расходует-ся на орошение ( $1,9 \cdot 10^{12}$  м<sup>3</sup> в начале семидесятых годов), причём около 80 % этой воды безвозвратно покидает речную сеть. *Безвозвратным потреблением* называют такое использование воды, при котором она связывается в химических соединениях или расходуется на испарение. Все больше возрастают потери воды на испарение с поверхности водохранилищ. В 1970 г. эта величина составила на земном шаре  $0,07 \cdot 10^{12}$  м<sup>3</sup>, в то время как в 1950 г. она была равна всего  $0,004 \cdot 10^{12}$  м<sup>3</sup>.

Суммарный водозабор на промышленные нужды в 1970 г. составил  $0,5 \cdot 10^{12}$  м<sup>3</sup>, из них 5—10 %<sup>1</sup> изъято безвозвратно. Главнейший потребитель воды в промышленности — теплоэнергетика, где вода используется для производства пара и охлаждения агрегатов. На нужды населения в 1970 г. использовалось около

$0,12 \cdot 10^{12} \text{ м}^3$ , причем  $0,02 \cdot 10^{12} \text{ м}^3$  из них относится к безвозвратному потреблению.

По отношению к речному стоку всей Земли количество используемой воды невелико. Однако речной сток распределен по земной поверхности очень неравномерно. Также неравномерно распределено и водопотребление. Особенно оно велико в густонаселенных районах. Поэтому в наиболее густонаселенных районах уже существует дефицит водных ресурсов и он растет с каждым годом. Проблема дефицита вынуждает все шире осуществлять территориальное перераспределение воды.

К 2000 г. ожидаются следующие величины водопотребления: в коммунальном хозяйстве —  $0,44 \cdot 10^{12} \text{ м}^3/\text{год}$ , в промышленности —  $1,9 \cdot 10^{12}$ , в сельском хозяйстве —  $3,4 \cdot 10^{12}$ , испарение с поверхности водохранилищ —  $0,24 \cdot 10^{12} \text{ м}^3/\text{год}$ . В сумме водопотребление составит примерно  $6 \cdot 10^{12} \text{ м}^3/\text{год}$ , или около 13 % стока суши. Причем объем безвозвратного водопотребления должен составить  $3 \times 10^{12} \text{ м}^3/\text{год}$ .

Другая проблема — загрязнение вод. Объем сточных вод превышает  $0,45 \cdot 10^{12} \text{ м}^3/\text{год}$ . На обезвреживание этого объема расходуется около  $6 \cdot 10^{12} \text{ м}^3$  речной воды, или примерно 40 % всех мировых ресурсов устойчивого стока.

### III. 2. 4. Биологические и биогеохимические круговороты

Минеральное вещество, воды, газы, энергия перемещаются также в ходе создания и разрушения органического вещества. Масштабы этого переноса в количественном отношении по сравнению с ранее рассмотренными невелики. Однако переносы вещества и энергии, связанные с организмами, имеют исключительно важное значение для географической оболочки, так как приводят к необратимым изменениям ее вещественно-энергетической структуры.

Функционирование живых организмов привело к большим изменениям в составе и строении всех геосфер: громадные массы диоксида углерода атмосферы были переведены в органические соединения, и в связи с этим в земной коре и на земной поверхности накоплены большие запасы химической энергии, в атмосфере появился свободный кислород, возник озоновый экран, образовалась почва — особая биокосная система, обладающая плодородием, в поверхностном слое земной коры произошло накопление многих химических элементов, при участии живых организмов образовались осадочные породы и т. д.

Противоположно направленные процессы создания и разрушения органического вещества в совокупности образуют *биологические круговороты*. Если эти круговороты рассматривать с точки зрения миграции химических элементов (углерода, азота, кислорода, водорода, кальция, фосфора, железа и др.), то это будут *биогеохимические круговороты*. Некоторые циклы биологических и био-

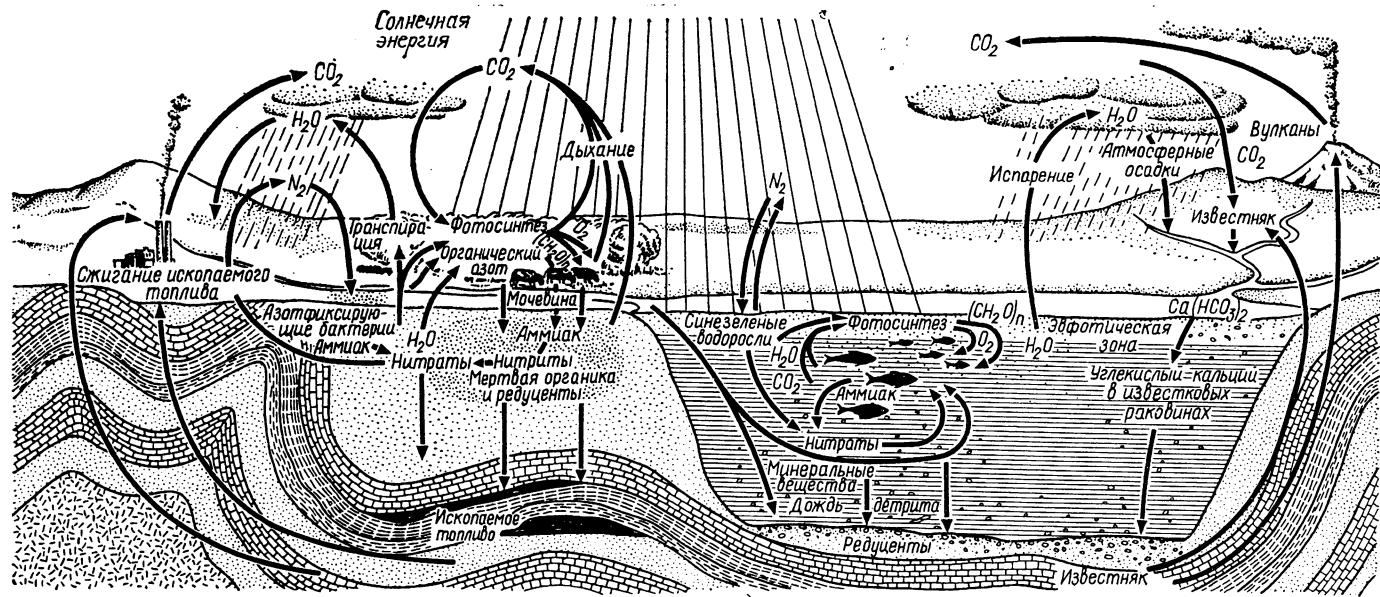
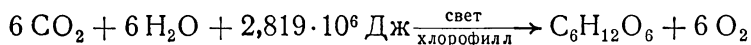


Рис. III.15. Круговорот основных веществ в биосфере (по Хатчинсону, 1972)

геохимических круговоротов вместе с другими круговоротами изображены на рис. III. 15.

Важнейшим процессом биологических круговоротов является *фотосинтез*. Уравнение фотосинтеза в простейшем виде следующее:



В реакции, идущей за счет солнечной радиации и при участии хлорофилла (играющего роль катализатора), происходит взаимодействие диоксида углерода и воды, в результате чего синтезируются богатые энергией органические соединения, а в окружающую среду выделяется кислород (продукт разложения воды). В процессе фотосинтеза возникает сильный окислитель — свободный кислород и сильный восстановитель — органическое вещество. Одновременно с фотосинтезом в каждом растении идет обратный процесс — дыхание. В нормально развивающихся фитоценозах количество образующегося при фотосинтезе органического вещества превышает количество разрушающегося вещества при дыхании. Эта разница за год составляет *годовую продукцию фотосинтеза*.

**Трофические (пищевые) цепи.** Фотосинтез — исходная ветвь биологического круговорота. Далее перенос вещества и энергии осуществляется на основе трофических (пищевых) цепей. Каждая цепь состоит из последовательного ряда организмов, каждый из которых является источником пищи для последующего.

В трофические цепи входят различные типы организмов. Организмы, синтезирующие необходимые для них питательные вещества из простых неорганических соединений, называют *автотрофными* (самопитающимися). Их именуют также *продуцентами*. Зеленые растения и пурпурные бактерии являются *фотосинтезирующими автотрофами*: они используют солнечную энергию. Некоторые бактерии — *хемосинтезирующие автотрофы*: они получают энергию за счет окисления неорганических соединений (например, аммиака или сероводорода).

Другой тип организмов — *гетеротрофные*. Они питаются готовыми органическими веществами, их называют *консументами*. К ним относятся животные, грибы и большинство бактерий. Животные по типу питания делятся на *растительноядных*, питающихся растениями, и *плотоядных*, питающихся другими животными. Многие животные всеядны.

Грибы и некоторые бактерии — *сапрофиты*. Они питаются разлагающимися органическими остатками и продуктами жизнедеятельности организмов. Их называют также *редуцентами*, поскольку они разлагают органические соединения на простейшие минеральные (редукция — сведение сложного к простому). Еще один тип гетеротрофного питания — *паразитизм*. Он распространен у некоторых растений и животных.

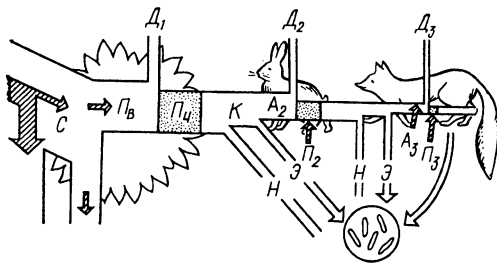


Рис. III.16. Поток вещества и энергии, проходящий через три трофические ступени (по П. Дювиньо и М. Тангу, 1973):

$C$  — фотоактивная радиация, усваиваемая зеленым листом,  $P_{в}$  — валовая продуктивность растения,  $P_{ч}$  — чистая продуктивность,  $K$  — часть растения, съедаемого растительноядными,  $H$  — неподаваемые остатки,  $\mathcal{E}$  — экскременты,  $A_2$  — валовая продукция, усваиваемая растительноядными,  $A_3$  — валовая продукция, усваиваемая хищниками (плотоядными),  $P_2$  — чистая продукция на уровне растительноядных,  $P_3$  — чистая продукция на уровне хищников,  $D_1, D_2, D_3$  — потери на дыхание на различных уровнях. Внизу — редуценты

ция на уровне растительноядных,  $P_3$  — чистая продукция на уровне хищников,  $D_1, D_2, D_3$  — потери на дыхание на различных уровнях. Внизу — редуценты

Трофические цепи не автономны. Они переплетаются. Однако можно представить и автономное существование таких, например, пищевых связей, как «злаки — кузнечики — лягушки — змеи — орел» или «водоросли — ракообразные — пескарь — окунь — человек». Е. Одум вычислил элементы теоретической трофической цепи, сведенной к одной последовательности. Ее исходная продукция представлена посевом люцерны на площади 4 га. На этом поле кормятся телята (они едят только люцерну), а этими телятами питается двенадцатилетний мальчик. Телятина служит ему единственным источником питания. Люцерна использует 0,24 % поступающей солнечной энергии, телята — 8 % энергии, аккумулярированной люцерной. Мальчик использует 0,7 % энергии, запасенной в телятине. Следовательно, *при переходе с одного уровня трофической цепи на другой происходит большая потеря энергии*. В рассчитанном Е. Одумом примере в последнем звене цепи (мальчик) используется чуть более одной миллионной доли солнечной энергии, поступающей на 4 га почвы. Потери энергии в трофических цепях неизбежны. Согласно второму закону термодинамики преобразования энергии всегда сопровождаются рассеянием теплоты. На рис. III. 16 эта закономерность демонстрируется на примере трех трофических ступеней.

Эффективность, т. е. коэффициент полезного действия экологической пирамиды, определяется соотношением величины ассимиляции на данном уровне с величиной ассимиляции на предыдущем уровне. Она всегда низкая, подобно низкому коэффициенту полезного действия тепловых машин в географической оболочке. Если пищевые цепи рассматривать с точки зрения энергетических переносов, то их также можно назвать «тепловыми машинами».

Таким образом, не только растения, но и животные, и микроорганизмы создают органическое вещество. Создаваемая ими *биомасса* характеризует так называемую *вторичную продуктивность*. Она примерно на два порядка уступает биомассе, создаваемой растениями, но имеет важное значение. Во-первых, она является необходимым звеном взаимодействий в биоценозе, направленных на поддержание его нормального функционирования. Во-вторых, животные — важный источник пищи для человека.

**Баланс органического вещества.** Произведенное органическое вещество частично разрушается при отмирании. Отмершие части организмов или целые организмы постепенно минерализуются с помощью редуцентов или захороняются и превращаются в уголь, торф и другие виды горючих ископаемых. Можно выделить следующие компоненты баланса органического вещества:

— *биомасса* — общее количество живого органического вещества в надземной и подземной сферах природного комплекса;

— *мертвое органическое вещество* — сумма органического вещества, заключенного в погибших растениях и животных, лесной подстилке, торфяном горизонте почв, стеной подстилке;

— *продукция* — органическое вещество, произведенное за определенный отрезок времени;

— *опад* — органическое вещество, отмирающее за определенный период (обычно берется годичный промежуток);

— *чистая продукция* — разность между продукцией и опадом.

Составляющие баланса органического вещества и соотношения между ними значительно различаются в зависимости от типа природной среды. Наибольшие различия между сушей и океаном. Уже отмечалось, что биомасса океана в 200 раз меньше биомассы суши. Годовая продуктивность океана и суши различается гораздо меньше: на суше она в 2,25 раза больше (соответственно  $1,8 \cdot 10^{11}$  и  $0,8 \cdot 10^{11}$  т<sup>1</sup> сухого органического вещества). Отношение годовой продукции к биомассе на суше составляет примерно 0,069, в океане — 11,4, т. е. на суше годовая продуктивность равна примерно 7 % биомассы, в океане она превышает разовую массу живых организмов в 11 с лишним раз. Так как площадь океана в 2,43 раза больше площади суши, то его *продуктивность на единицу площади* примерно в 5,5 раза меньше, чем суши. Эти различия четко прослеживаются на рис. III. 17, на котором материка выделены более интенсивной штриховкой. Еще больше возрастают различия между продуктивностью материков и океанов, если рассчитать продуктивность, отнесенную к единице объема.

Распределение компонентов баланса органического вещества на суше, по А. И. Перельману (Геохимия ландшафта. М., 1975), характеризуется следующими закономерностями. Наибольшая биомасса наблюдается в лесных сообществах (кг/м<sup>2</sup>): во влажных тропических лесах — до 70, во влажных субтропических лесах — до 45, в широколиственных лесах умеренного пояса — до 40, в тайге — до 35 сухого органического вещества. Саванны имеют меньшую биомассу — 2—4 кг/м<sup>2</sup>, степи — 1,3—2,5 кг/м<sup>2</sup>. Еще больше уменьшается биомасса в пустынях и тундре (рис. III.18). Характерно, что в степях, тундрах и пустынях основная масса живого вещества (до 80 %) сосредоточена под землей. Это объясняется неблагоприятными условиями на поверхности: частым перегревом растений, недостатком влаги (в степях и пустынях) и низкими температурами (в тундре).

Наибольшая годовая продукция наблюдается во влажных тро-

<sup>1</sup> Марков К. К. и др. Введение в физическую географию. М., 1978.



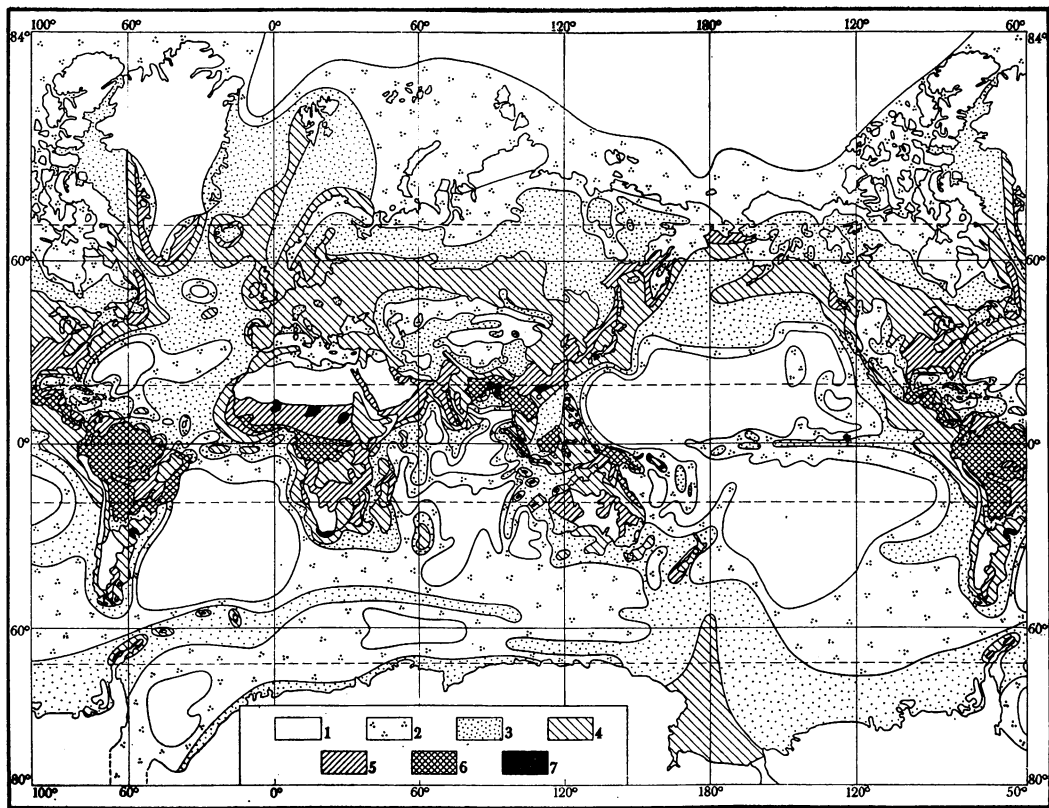


Рис. III.17. Схема первичной продуктивности (живая масса, кг/м<sup>2</sup>) Земли (по К. К. Маркову и др., 1978):

1 — менее 0,25; 2 — 0,25—1,0; 3 — 1,0—2,0; 4 — 2,0—3,75; 5 — 3,75—7,5; 6 — 7,5—12,5; 7 — более 12,5

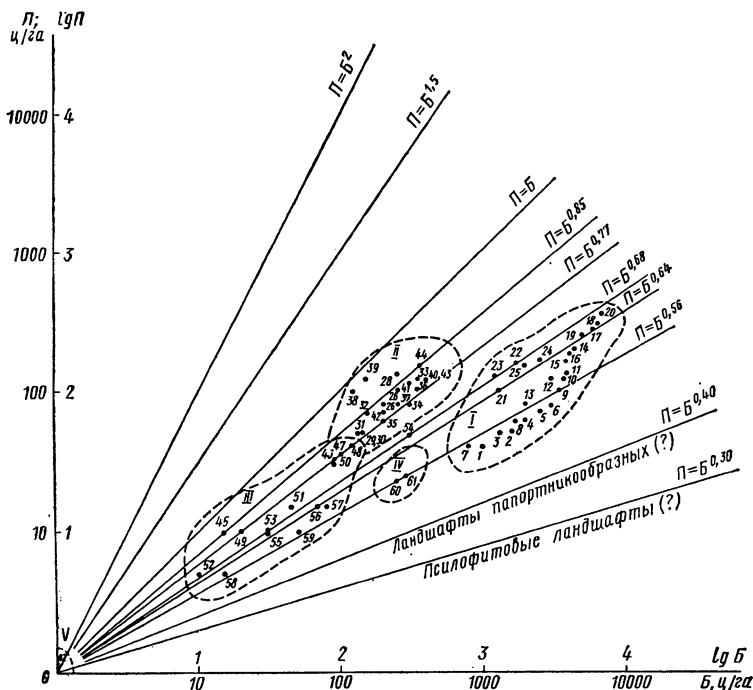


Рис. III.18. Биомасса  $B$  и среднегодовая продуктивность  $P$  основных типов ландшафтов (по А. И. Перельману, 1975):

леса (I группа — 1—25); степи, луга, саванны (II группа — 26—44); пустыни (III группа — 45—59); тундры (IV группа — 60—61); примитивные пустыни (V группа — 62)

пических лесах — 2,5—3,5 кг/м<sup>2</sup>. Значительна она и в других типах лесов. По этому показателю саванны и степи не намного уступают лесам.

По отношению массы мертвого органического вещества к опад можно судить о скорости разложения органического вещества. Это отношение изменяется, по Л. Е. Родину, Н. И. Базилевич (Динамика органического вещества и биологический круговорот в основных типах растительности. М.—Л., 1965), следующим образом: кустарничковые тундры — 92, тайга — 10—20, широколиственные леса — 3—4, степи — 1—1,5, субтропические леса — 0,7, влажные тропические леса — 0,1. В тундре и в меньшей степени в тайге ежегодно отмирающее органическое вещество слабо разлагается. Это объясняется замедленной активностью микроорганизмов в условиях низких температур. Гораздо быстрее процессы минерализации идут в степях и саваннах. Наибольшей скоростью разложения органического вещества характеризуются влажные тропические леса, где высокие температуры сочетаются с хорошим увлажнением.

Охарактеризованные закономерности территориального распределения компонентов баланса органического вещества на суше связаны главным образом с характером водно-теплового режима при-

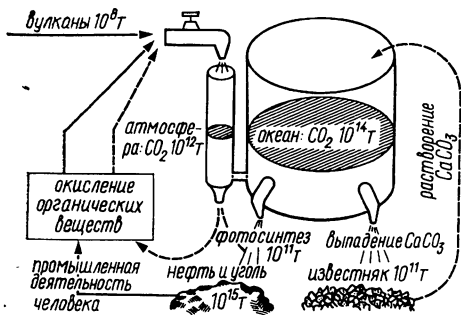


Рис. III.19. Круговорот углерода (по Т. А. Айзатуллину и др., 1979)

родных комплексов. Тепло и влага сильно влияют на интенсивность фотосинтеза, на структуру и видовой состав биоценозов и на скорость минерализации.

Более сложный комплекс факторов определяет биомассу и продуктивность в океане. Большую часть биомассы океана составляет зоопланктон — примерно 74 %. Однако подавляющую часть годовой продукции дает фитопланктон — пример-

но 96 %. Анализ распределения органического вещества в океане (см. рис. II. 8 и III, 17) показывает, что биомасса и продуктивность возрастают на шельфе, в районах апвеллинга и в других пограничных (контактных) зонах, т. е. там, где энергичнее осуществляется обмен веществом, а тем самым создаются более благоприятные возможности для поступления питательных веществ.

**Биогеохимические циклы.** Основной химический элемент живой субстанции — *углерод*. Как и вода, он отличается рядом свойств, делающих его особенно ценным для создания органического вещества. Углерод образует устойчивые соединения как с электроположительными, так и с электроотрицательными веществами. Атомы углерода способны образовывать цепочкообразные и кругообразные молекулы сложного строения. Органические соединения, образованные на его основе, устойчивы в термодинамических условиях земной поверхности. Эти соединения разрушаются под воздействием микроорганизмов. В безжизненной среде они сохраняются или лишь медленно изменяются (залежи каменного угля, торфа, нефти).

Основной цикл круговорота углерода — его участие в биологическом круговороте: он поглощается из атмосферы или воды зелеными растениями в качестве одного из источников питания и выделяется в процессе дыхания растений и животных, а также бактериального разложения их остатков. Зеленые растения земного шара в течение четырех лет поглощают такое количество углерода, какое содержится в атмосфере, и в течение 300 лет — весь углерод гидросферы. В процессе дыхания организмов и разложения их остатков, а также некоторых природных и техногенных реакций (вулканическая деятельность, сжигание топлива и др.) примерно такое же количество углерода возвращается в атмосферу и гидросферу. Следовательно, круговорот углерода (как и другие круговороты) имеет сложную природу, входит одновременно в несколько других круговоротов, связанных с деятельностью организмов и с геологическими и техногенными процессами и т. д. (рис. III.19).

Для жизненного процесса весьма важно, что углерод в атмосфере-

ре и гидросфере находится в составе газообразного соединения — диоксида углерода. В результате углерод как исходная субстанция жизни легко перемещается на земной поверхности, обеспечивая фотосинтез.

Круговорот углерода полностью необратим. Часть атомов в форме органических (гумус, торф, сапрпель) и неорганических (карбонаты кальция и др.) соединений захороняется в осадках. Если осадки попадают в глубокие слои земной коры, содержащийся в них углерод на миллионы лет выбывает из круговорота. В углях, нефти, известняках и других породах сосредоточено около  $10^{16}$  т углерода, что значительно превышает его содержание в водах океанов и морей, атмосфере и живом веществе. При извержении вулканов и горообразовательных процессах захороненный углерод возвращается в географическую оболочку и вовлекается вновь в биологический круговорот. Так как жизнь на Земле существует более 3 млрд. лет, весь углерод географической оболочки неоднократно вовлекался в биологический круговорот.

Другим элементом, важным для процессов биологического круговорота, является азот. Содержание азота в ландшафте значительно выше, чем в литосфере. Он преобладает в атмосфере, его много в живом веществе и почвах. Азот называют элементом жизни и плодородия.

Свободный азот атмосферы мало доступен растениям и животным. Непосредственно фиксируют азот из воздуха некоторые водоросли, но больше всего в ландшафт поступает азота в результате деятельности некоторых азотфиксирующих микроорганизмов. Одновременно происходит и переход азота органических соединений в свободное состояние.

Исключительно большое значение в природных процессах имеет *свободный кислород*. В. И. Вернадский назвал его самым могущественным химическим деятелем на Земле. Реакция окисления кислородом — одна из важнейших и распространенных в природе.

Содержание кислорода, связанного в горных породах, почвах и воде, в географической оболочке огромно. Это самый распространенный элемент. Однако длительное время кислород на земной поверхности отсутствовал в свободном состоянии. Небольшие количества свободного кислорода появились примерно 3 млрд. лет назад. Постепенный рост содержания кислорода в атмосфере привел к возникновению озонового экрана, способного задерживать жесткие ультрафиолетовые лучи. Это привело к быстрому развитию организмов, к расселению их по суше. Одновременно на протяжении всей истории географической оболочки происходило накопление кислорода в верхних горизонтах земной коры, в коре выветривания и почвах.

**Биогеохимическая дифференциация.** Перераспределение химических элементов в ходе биогеохимических круговоротов привело к их территориальной дифференциации. Живые организмы обладают свойством избирательного поглощения химических элементов. В результате происходит постепенное накопление элементов (осо-

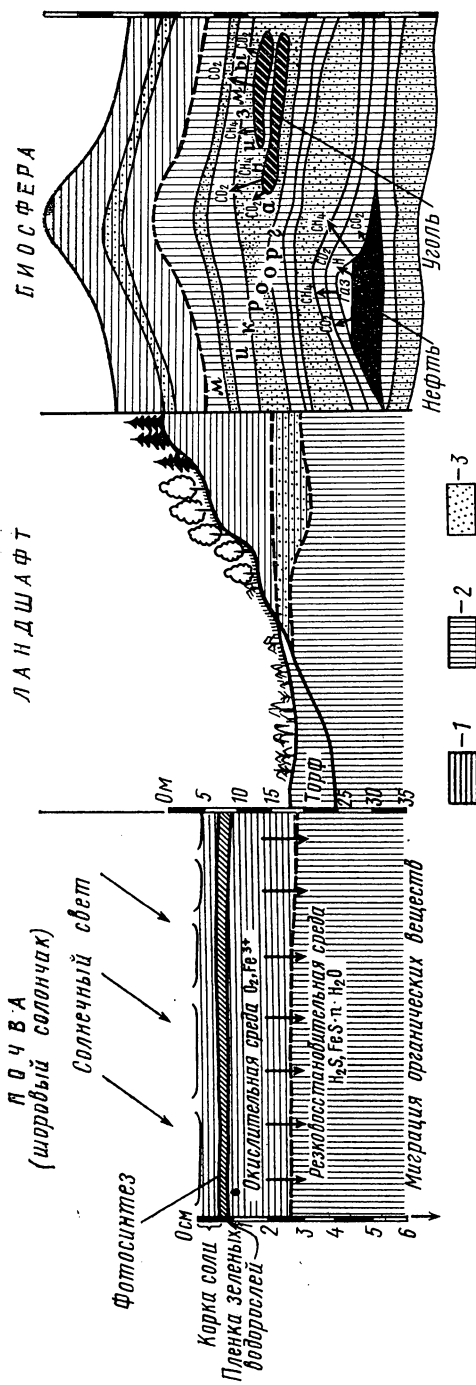


Рис. III.20. Окислительно-восстановительная дифференциация в географической оболочке (по А. И. Перельману, 1975):  
 1 — окислительная среда, 2 — восстановительная среда, 3 — водоносные горизонты

бенно в природных комплексах с развитой растительностью), в верхнем слое и на поверхности почвы. Наиболее активно накапливаются фосфор, сера, кальций, калий, марганец и некоторые другие. Часть элементов накапливается в верхних горизонтах почвы за счет их выноса из более глубоких горизонтов при капиллярном поднятии грунтовых вод. В то же время некоторые подвижные химические элементы выщелачиваются просачивающимися вглубь атмосферными осадками. Происходит своего рода борьба между процессами выщелачивания химических элементов и их накоплением. В результате формируются соответствующие геохимические профили по вертикали.

**Биогеохимический круговорот** в географической оболочке в ходе длительной ее истории привел к возникновению **окислительно-восстановительной контрастности**. В одних частях оболочки господствует **окислительная среда**, в других — **восстановительная**. До возникновения жизни на Земле наблюдалась только слабовосстановительная среда. Окислительная среда в настоящее время имеет

место в верхних горизонтах географической оболочки, где накопился свободный кислород. Очаги восстановительной среды встречаются в болотах, илистых отложениях, горных породах и водах, обогащенных органическим веществом — одним из самых энергичных восстановителей. Повсеместное господство восстановительных условий наблюдается в глубоких горизонтах географической оболочки, где нет свободного кислорода и преобладают анаэробные процессы. Там образуются сероводород, метан, сульфиды и другие соединения. Окислительно-восстановительная дифференциация в географической оболочке показана на рис. III. 20.

Интенсивные биогеохимические круговороты характерны для ландшафтов влажных тропиков. Быстрое образование органического вещества сочетается в них с ускоренным разложением остатков организмов. Большое количество выпадающих атмосферных осадков приводит к выносу из почв и коры выветривания растворимых продуктов, которые затем транспортируются грунтовыми водами в реки и моря. Особенно быстро вымываются сера, хлор, калий, натрий, магний, кальций. Водные растворы приобретают кислую реакцию. Почвы и кора выветривания обогащаются малоподвижными элементами: железом, алюминием, кремнием. Большое содержание железа придает почвам этих ландшафтов красную, оранжевую и желтую окраску.

Реки и озера влажных тропиков характеризуются слабой минерализацией. В них доминируют диоксид кремния  $\text{SiO}_2$ , гидрокарбонатный ион  $\text{HCO}_3^-$ .

Интенсивный вынос подвижных элементов и соединений сочетается с активным поглощением химических элементов организмами, особенно растениями. Это предохраняет почву и кору выветривания от полного выноса подвижных элементов.

Активный биогеохимический круговорот во влажных тропиках привел к тому, что значение пород в формировании здесь ландшафтов меньше, чем в других регионах. Область наиболее активного ландшафтного взаимодействия постепенно все более отделяется от горной породы из-за формирования мощной коры выветривания. Иное дело в вулканических областях, где ландшафтное взаимодействие происходит непосредственно на поверхности лавовых потоков.

Иная биогеохимическая обстановка складывается в таежных ландшафтах. Солнечная энергия в них поступает в значительно меньшем количестве, чем во влажные тропики. Вследствие этого биогеохимический круговорот, почвообразование и выветривание идут значительно медленнее. Атмосферные осадки и органические кислоты способствуют выщелачиванию почв, поэтому в таежных ландшафтах наблюдается дефицит многих минеральных веществ (соединений кальция, калия, фосфора и др.). Воды отличаются (как и во влажных тропиках) слабой минерализацией.

В степных ландшафтах наблюдается недостаток влаги, и это определяет многие их биогеохимические особенности. Лишь наиболее растворимые соли (хлориды и сульфаты натрия) вымываются из почвы, а остальные соединения задерживаются в пределах почвен-

ного профиля. Речные воды имеют сравнительно высокую минерализацию — от 500 до 1000 мг/л.

Специфические биогеохимические условия складываются в тундрах, пустынях, саваннах и других ландшафтах. Каждый, кроме того, имеет свои особенности, связанные с характером горных пород, слагающих поверхность, гипсометрическим положением и другими факторами.

Химические элементы перемещаются не только в результате биогенной миграции. В большом количестве их перенос осуществляется воздушным путем и водными потоками.

*Воздушные мигранты* — это элементы, образующие газообразные соединения. Среди них наибольшее значение имеют водород, кислород, азот, углерод. Они определяют важнейшие геохимические особенности природных комплексов.

*Водные мигранты* перемещаются в виде ионов, недиссоциированных молекул и коллоидов. К ним относятся натрий, магний, алюминий, кремний, фосфор, сера, хлор, калий, марганец, железо, кобальт, никель, ванадий и др. Водная миграция вносит большое разнообразие в распределение химических элементов на земной поверхности. Если воздушный перенос скорее способствует сглаживанию территориальных геохимических различий, то водная миграция является дифференциатором. Среди элементов, мигрирующих водным путем, различают элементы, отличающиеся высокой подвижностью (S, Cl, K, Na, Mg, Ca), и элементы малоподвижных (Al, Fe, Si). Если расположить их в один ряд от самых подвижных к наименее подвижным, то получится такая последовательность: S, Cl — K, Na, Mg, Ca — Si — Fe, Al.

Наиболее подвижные элементы вымываются из почвы водными потоками. Одновременно происходит относительное накопление в данном ландшафте слабоподвижных элементов. В результате в ландшафтах с большим количеством осадков происходит вымывание серы, хлора, калия, натрия, кальция, магния и других элементов и накопление алюминия, железа, кремния. В засушливых ландшафтах происходит концентрация серы, хлора, натрия и др.

### III.2.5. Перенос минерального вещества

В течение миллиардов лет на Земле наблюдаются тектонические поднятия и опускания, землетрясения, вулканические процессы. Они создают неровности земной поверхности, которые уже в ходе их создания подвергаются разрушающему воздействию экзогенных факторов, к которым относят работу текучих вод, ветра, волн, ледников. Разрушение неровностей и перенос вещества осуществляется также в результате обвалов, оползней, грязевыми потоками. Перечисленным экзогенным процессам предшествует выветривание горных пород, происходящее в результате действия физических, химических и биологических агентов. Таким образом происходит разрушение неровностей земной поверхности. Минеральные частицы большей частью переносятся воздухом, водой, льдом, т. е. те-

ми же агентами, которые были рассмотрены выше. Считают, что все материка могут быть сnivelированы до уровня океана экзогенной денудацией за 10—20 млн. лет, если прекратятся тектонические движения.

Медленно, но непрерывно и на больших площадях происходит перенос минеральных частиц речными водами. Часть из них транспортируется в форме взвешенных и влекомых наносов. Это так называемый *твердый сток*. Другая часть переносится в растворенном виде. Твердый сток для всей поверхности суши составляет около 14 млрд. т/год (исключая Антарктиду и Гренландию). Растворенные наносы (ионный сток) для суши земного шара (также исключая Антарктиду, Гренландию и арктические острова) оцениваются в 1,5—2,0 млрд. т/год.

Наиболее интенсивная денудация характерна для горных стран, отличающихся большой потенциальной энергией гравитации, обычно большим количеством атмосферных осадков, резкими сменами температур в течение суток. Большой твердый сток характерен для таких рек, как Амударья, Сырдарья, Хуанхэ, Нил, пересекающих пустынные и полупустынные территории, сложенные рыхлыми, легко размываемыми породами.

Денудация земной поверхности осуществляется также ледниками. Их роль особенно велика была в плейстоцене, когда ледниковый покров занимал 30 % суши. Движущийся ледник выпахивает ложбины в рыхлых породах и разрушает твердые. В Антарктиде интенсивность современной *ледниковой денудации (экзарации)* равна 0,05 мм/год. Соскобленные обломки перемещаются вместе с движущимся ледником на десятки, сотни и даже тысячи километров. В Антарктиде материал транспортируется к окраине материка, а затем перемещается айсбергами по акватории океана.

Рыхлыми ледниковыми образованиями (современными и плейстоценовыми) покрыто примерно 10 % суши. Они представлены моренными и водно-ледниковыми отложениями.

Наряду с денудацией суши наблюдается поступление твердого материала на материки. Один из путей такого поступления — выпадение на сушу солей морского происхождения вместе с атмосферными осадками. Частицы соли попадают в атмосферу главным образом во время штормов, когда ветер срывает с гребней волн капли воды.

Некоторое увеличение массы вещества на суше происходит за счет процессов выветривания: изверженные и другие горные породы, разрушаясь, присоединяют воду, кислород, диоксид углерода; происходит окисление минерального вещества, образование глинистых сланцев, песчаников, известняков, доломитов и других пород.

Часть минерального вещества поступает за счет вулканических извержений и при формировании осадочных пород, включающих органическое вещество. Ежегодно примерно 0,8 % продуцируемой биомассы захороняется в осадочных отложениях. Некоторая часть минерального вещества поступает из Космоса.

Расчет баланса минерального вещества суши, сделанный



Л. Г. Бондаревым (Вечное движение, М., 1974, с. 57), представлен ниже. Он свидетельствует о том, что снос с материков примерно в 7 раз превышает поступление вещества, т. е. отрицательный баланс массы составляет 21 млрд. т/год. Особенно активно происходит перемещение минеральных частиц при речной эрозии. Это главная расходная часть баланса. За счет этого процесса высота суши уменьшается на несколько сотых долей миллиметра в год.

#### Современный баланс минерального вещества суши

Расход	× 10 <sup>12</sup> кг/год
Твердый сток	14,1
Ионный сток	1,6—1,7
Денудация в областях развития современного покровного оледенения	2,2—2,3
Морская абразия	0,7—1,1
Эоловый вынос	2,0—4,0
Сжигание минерального топлива	2,6
Всего	23,2—25,7
Приход	
Связывание воды и вещества атмосферы при выветривании	0,1—1,6
Вулканогенная аккумуляция	1,8
Биогенная аккумуляция	1,0
Аккумуляция вещества, поступающего из Космоса	до 0,02
Всего	2,9—4,4

Высота суши меняется и под влиянием изменений уровня Мирового океана, связанных с непостоянством массы воды (например, уменьшение объема вод за счет оледенений) и тектоническими движениями. Такие изменения уровня Мирового океана называют *эвстатическими колебаниями*. В современный период происходит увеличение массы океанских вод и соответственно уменьшение объема и массы суши, возвышающейся над уровнем океана. Это ведет к нарушению изостатического равновесия литосферы и «всплыванию» материков.

Последние века и особенно десятилетия ознаменовались активным влиянием человека на процессы переноса минерального вещества. В. И. Вернадский и А. Е. Ферсман еще несколько десятилетий тому назад подчеркнули, что воздействие человека на перенос вещества по интенсивности соответствует самым революционным эпохам развития природы земной поверхности.

Наиболее активные антропогенные процессы переноса вещества связаны с земледелием, вырубкой лесов, развитием горнодобывающей промышленности. Суммарный денудационный эффект деятельности человека в масштабах Земли составляет более 10 млрд. т/год, или свыше 40 % планетарной денудации (по данным на 1975 г.). Следовательно, *антропогенные процессы переноса вещества сопоставимы с естественными экзогенными*. Следует подчеркнуть, что само перемещение вещества практически всегда осуществляется с помощью природных переносов воздушными и водными массами и т. д. Человек только способствует их интенсификации и вовлечению большего количества минеральных частиц в круговороты.

### III. 2. 6. Литосферные круговороты

Грандиозные движения вещества наблюдаются в литосфере. Благодаря вертикальным и горизонтальным движениям блоков земной коры и магматической деятельности, а также процессам сноса, описанным выше, происходит обмен веществом земной поверхности с мантией. Наиболее яркие проявления этого процесса — вулканизм и землетрясения.

*Вулканизм* играл и играет большую роль в развитии природы земной поверхности. Он, вероятно, определяет существенные черты строения поверхности и других планет. В настоящее время на Земле насчитывается свыше 800 действующих вулканов, которые<sup>1</sup> извергают на земную поверхность 3—6 млрд. т вещества в год. Это пеплы, шлаки, лавовые потоки андезитового состава, газы и водяной пар. Если принять, что в прошлом вулканическая деятельность была такой же интенсивной, то за геологическую историю на земную поверхность было вынесено от  $13,5 \cdot 10^{18}$  до  $27 \cdot 10^{18}$  т вулканических продуктов<sup>1</sup>. Эти величины примерно соответствуют массе земной коры всех континентов, которая составляет  $18 \cdot 10^{18}$  т. Отсюда можно сделать вывод о том, что земная кора складывается из вулканических пород и продуктов их глубокой перестройки.

Водяной пар, выделяющийся при вулканических извержениях, содержит все компоненты, составляющие атмосферу и гидросферу Земли. Общее количество летучих компонентов вулканических извержений, выделившееся за геологическую историю, превышает массу атмосферы и гидросферы, вместе взятых.

При извержениях вулканов в атмосферу поступает большое количество твердого вещества. Наиболее мелкие частицы образуют атмосферный аэрозоль, который задерживает солнечные лучи и, вероятно, является одним из факторов климатообразования.

*Землетрясения*, как и вулканы, наиболее часты в Тихоокеанском и Средиземноморском горных поясах и в районах срединных океанических хребтов. За год на планете бывают сотни тысяч землетрясений. Многие из них незначительны и человеком не ощущаются, а фиксируются лишь приборами. Однако довольно часты землетрясения, приводящие к большим разрушениям и гибели людей. За последние три-четыре десятилетия от землетрясений погибло не менее 15 млн. человек.

Другие типы движений в земной коре проявляются менее заметно, однако суммарный их эффект значителен. Таковы *медленные колебательные движения* земной коры. Существует специальная отрасль знания — новейшая тектоника, изучающая колебательные движения за последние 25—30 млн. лет.

Кроме вертикальных движений земной коры существуют и *горизонтальные перемещения*. Но если вертикальные движения земной коры были обнаружены сравнительно давно, то о горизонтальных стали говорить лишь в конце прошлого века. В 1911 г. немец-

<sup>1</sup> Маршинин Е. К. Вулканы и жизнь. М., 1980, с. 54.

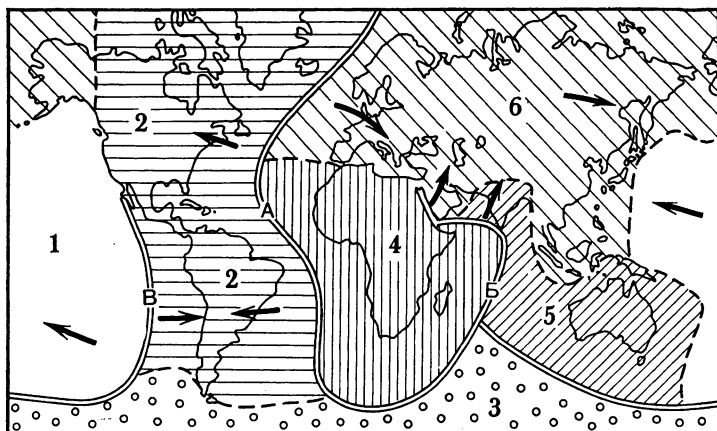


Рис. III.21. Литосферные плиты (по Л. П. Шубаеву, 1977):

1 — Тихоокеанская, 2 — Американская, 3 — Антарктическая, 4 — Африканская, 5 — Индийская, 6 — Евразийская; стрелками показано направление движения блоков (африканский считается неподвижным). А — Срединно-Атлантический, Б — Срединно-Индийский, В — Восточнотихоокеанский хребты

кий геофизик А. Вегенер выдвинул гипотезу дрейфа (горизонтального перемещения) материков. Его натолкнуло на мысль о существовании дрейфа сходство очертаний материков по обе стороны Атлантического океана, соответствие геологического строения, родство наземных фауны и флоры на соответствующих широтах противоположных берегов, а также распространение в южной части Африки, на Мадагаскаре, на территории Индостана, в западной части Австралии и восточной части Южной Америки следов древнего ледникового покрова в карбоне и перми (конец палеозойской эры). Эти факты легче всего объяснить существованием когда-то единого суперконтинента, впоследствии распавшегося на части. Он был назван *Пангеей*. Позднее были найдены и другие доказательства движения блоков земной коры (палеомагнетизм и особенности строения дна океанов и др.). Палеомагнитные данные свидетельствуют о непостоянстве положения и пространственной ориентировки отдельных континентов во времени.

*Горизонтальные движения блоков земной коры* признаются в настоящее время большинством исследователей. Нет единого мнения в основном о конкретных формах проявления движений и их механизме. Наибольшей популярностью пользуется *теория тектоники плит* (новая глобальная тектоника), согласно которой литосфера состоит из шести основных плит (рис. III.21). Плиты изостатически уравновешены на веществе субстрата (астеносферы) и перемещаются в горизонтальном направлении благодаря тепловой конвекции в мантии. На рис. III.21 стрелками показаны направления смещения плит. В местах схождения плит в одних случаях происходит погружение одной плиты под другую (*субдукция*) и возникновение *глубоководных желобов*, сопровождающихся цепочками остро-

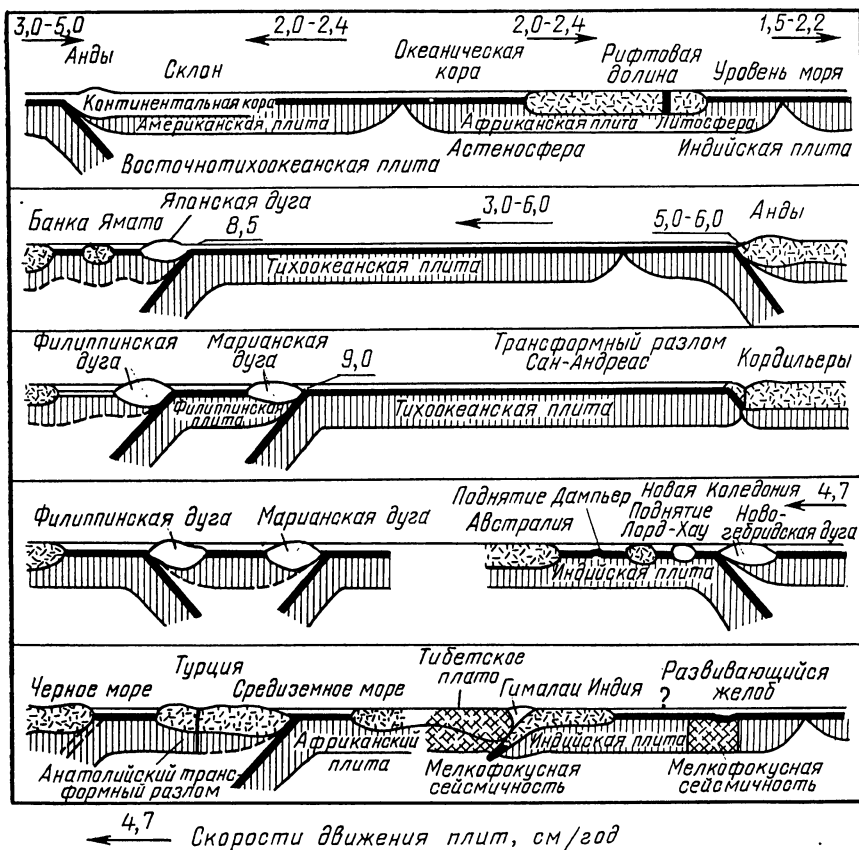


Рис. III.22. Типы границ между литосферными плитами (по Дж. Дьюи и Жд. Берду; из кн. А. С. Моница, 1977)

вов (например, Курило-Камчатская область), в других — наблюдается столкновение плит и их взаимная деформация. Результатом такого столкновения, например, считают образование Гималаев при надвижении Индостана на Евразийскую плиту.

В местах расхождения плит располагаются *срединно-океанические хребты*. В срединной зоне каждого хребта имеется ложбина с отвесными краями — *грабен*, или *рифт*, который является местом растяжения и разрыва литосферы. На рис. III.22 показаны различные типы сочленения литосферных плит. Рис. III.23 иллюстрирует возможный механизм расхождения плит.

Одним из подтверждений расхождения плит в зоне срединно-океанических хребтов является разновозрастность осадочных отложений океанического дна: возраст увеличивается от хребтов к краям океанов (рис. III.24). Вероятно, движущиеся плиты уносят более древние отложения к краям океанов. Разница в возрасте осадочных отложений на краях океанов и около срединных хребтов го-

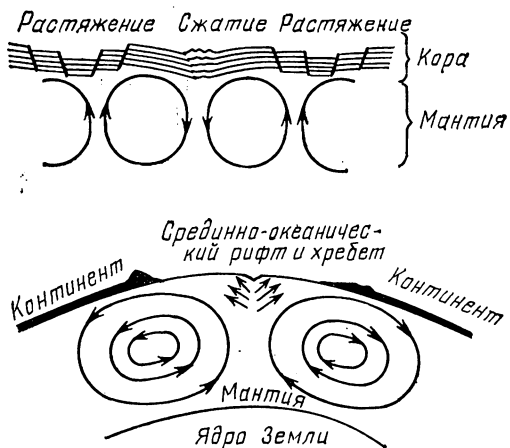


Рис. III.23. Схема конвекционных потоков в мантии (по Т. К. Захаровой, 1969)

ворит о времени, в течение которого плита двигалась от хребта к материку<sup>1</sup>.

Таким образом, теорией тектоники плит рисуется такая схема обмена веществом земной коры с мантией: в зонах срединных хребтов вещество мантии поднимается к поверхности и наращивает земную кору, в зонах субдукции происходит погружение плиты и последующее переплавление ее вещества в недрах.

Общая схема круговорота минерального вещества

в географической оболочке и обмена последней веществом с мантией приведена на рис. III.25. На схеме показаны лишь главные звенья движения вещества. Осадочные породы, образующиеся на земной поверхности в результате процессов выветривания, переотложения и седиментации, при тектонических опусканиях попадают сначала в нижние слои земной коры и подвергаются там воздействию давления вышележащих толщ и высокой температуры недр. В результате они превращаются в метаморфические породы. Последние, погружаясь еще глубже, переплавляются и превращаются во вторичную магму. Одновременно идет компенсирующий процесс: магма поднимается вверх, происходят вулканические излияния и интрузивные внедрения, дифференциация и кристаллизация вещества магмы, его переработка экзогенными процессами и превращение в осадочные породы. Так замыкается главная ветвь круговорота. Эта ветвь осложняется другими процессами, например выветриванием метаморфических и осадочных пород и метаморфизацией магматических пород.)

Обмен веществом с мантией — необходимое условие нормального функционирования географической оболочки. Благодаря обмену происходит обогащение земной поверхности  $\text{CO}_2$ , который наряду с водой служит «строительным камнем» органического вещества. Периоды интенсивного накопления органического вещества в осадочных породах (углеродистые полезные ископаемые, карбонатные осадки и др.), неоднократно наблюдавшиеся за геологическую историю, совпадают с периодами интенсивного вулканизма, поэтому можно сделать вывод, что при полном господстве платформенного режима на Земле прекратится вулканическая деятельность, а следовательно, и вынос на поверхность  $\text{CO}_2$ . Спустя некоторое время исчерпается запас диоксида углерода и прекратится жизнь.

<sup>1</sup> См.: Сорехтин О. Г. Глобальная эволюция Земли. М., 1974.

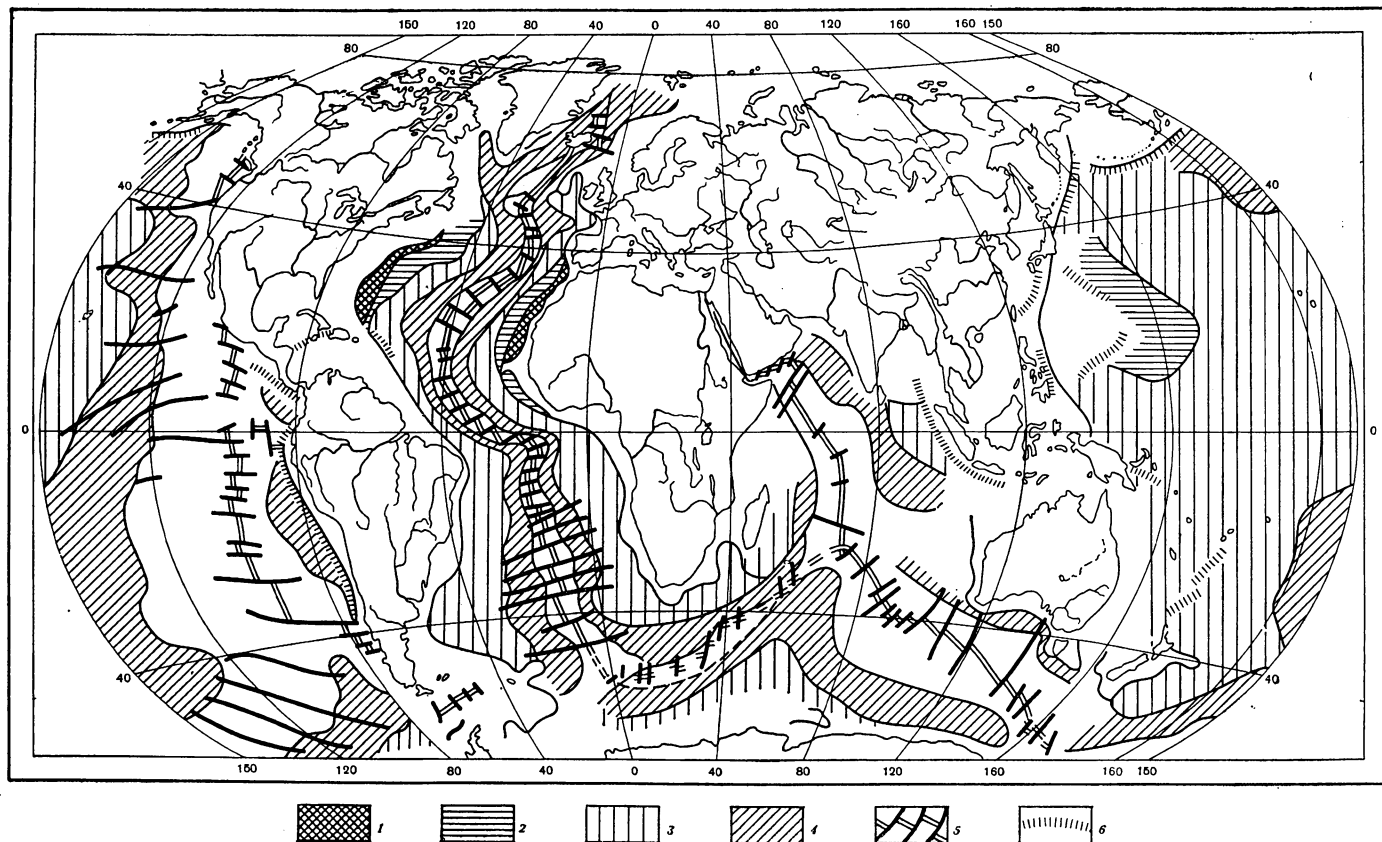


Рис. III.24. Картограмма времени образования океанической коры дна Мирового океана (по Федынскому и др., 1972):  
 1 — ранняя — поздняя пермь (300—250 млн. лет назад), 2 — ранний триас — поздняя юра (240—150 млн. лет назад), 3 — ранний — поздний мел (140—80 млн. лет назад), 4 — ранний — средний палеоген (70—40 млн. лет назад), 5 — поздний палеоген — четвертичный период (40 млн. лет назад — современность), 6 — островные дуги

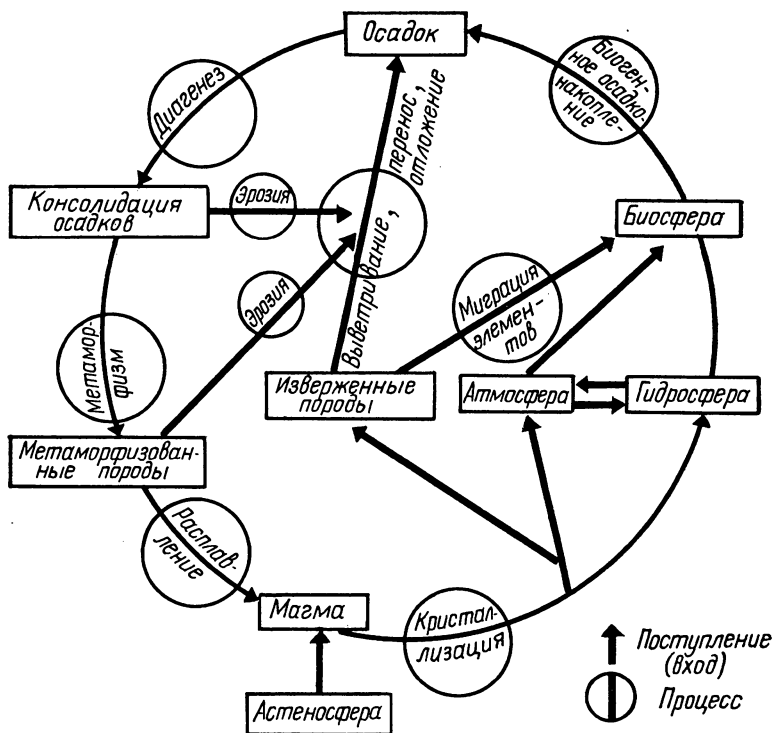


Рис. III.25. Круговорот минерального вещества (по Я. Демеху, 1977)

Это может произойти через десятки или сотни миллионов лет после установления полного господства платформенного режима. На основе этих данных А. Б. Ронов формулирует *геохимический принцип* сохранения жизни: жизнь на Земле и других планетах возможна лишь до тех пор, пока эти планеты активны и происходит обмен энергией и веществом между их недрами и поверхностью.

### III. 2 7. Основные особенности трансформации и переноса энергии и вещества в географической оболочке

Рассмотренные системы переноса энергии и вещества показывают, что *географическая оболочка активно обменивается энергией и веществом с Космосом и земными недрами. В самой оболочке происходят преобразования и переносы вещества и энергии.*

Самая активная форма переносов — круговороты. Круговая форма позволяет осуществлять непрерывность движения в условиях ограниченного количества вещества. Каждый цикл круговорота представляет элементарную единицу движения. Но полного повторения циклов не наблюдается. Происходит постепенное направленное изменение состава и структуры энергетических и вещественных

потоков, что приводит к перестройке состава и структуры геосфер. Направленные изменения постигаются лишь за большие промежутки времени (это уже особый вид движения и о нем подробнее см. в гл. IV).

Можно отметить следующие особенности преобразования энергии и вещества в географической оболочке:

1. *Накопление энергии в различных формах:* в виде органического вещества ( $3,5 \cdot 10^{21}$  Дж/год), теплового контраста вод океана и воздуха атмосферы, потенциальной энергии масс земной коры, поднятых над уровнем моря, в форме любого контраста и упорядоченности вещества географической оболочки. Таким образом, *географическая оболочка — не только гигантский преобразователь энергии, но и ее накопитель.*

2. *Постепенное увеличение дифференциации вещества географической оболочки.* Из первоначально однородного вещества мантии Земли образовались геосферы. Далее происходило усложнение их состава: образовались осадочная оболочка, подземные воды, ледниковый покров, почвы. Возрастают геохимическая дифференциация и дифференциация органического мира, происходит увеличение раздробленности твердого вещества — растет доля глин, песков, почвенных коллоидов. Более сложными становятся временные циклы движений.

В географической оболочке энергия проявляется во многих формах. Выше было дано их количественное сравнение, но на основе такого сравнения нельзя оценить роль каждого вида энергии в физико-географических процессах. Важное значение имеют и такие характеристики энергии, как ее качество, форма подачи и степень соответствия процессу.

*Качество энергии* можно оценить по степени упорядоченности и концентрации, способности превращаться и экономичности таких превращений в другие виды энергии, а также возможности накапливаться и храниться. По тем или иным перечисленным характеристикам высоким качеством обладают солнечная, химическая и механическая виды энергии. Наименее качественной является тепловая. Градиенты тепловой энергии невелики, а ее переход в другие виды (в процессе работы «тепловых машин») сопровождается большими потерями.

*Эффективность форм энергии* зависит также от формы поступления ее в систему. Сравним процессы движения вещества в земной коре и атмосфере. Основные перемещения блоков земной коры осуществляются за счет эндогенной энергии<sup>1</sup>. В основе механизма перемещения находится тепловая конвекция, возникающая вследствие нагревания вещества снизу. В то же время гигантские потоки солнечной энергии, нагревающие верхние слои земной коры, не приводят непосредственно к движению блоков. В атмосферу большая

---

<sup>1</sup> В работах И. С. Щукина и С. П. Горшкова рассматриваются модели возникновения движения блоков земной коры под действием денудации земной поверхности, изменения объема материковых льдов и океанических вод.



часть солнечной энергии поступает снизу — от земной поверхности. Вследствие этого роль солнечной энергии в формировании системы атмосферных движений очень велика.

Эффективность потоков энергии зависит также от *соответствия данного вида энергии конкретному процессу*. Например, в реакции фотосинтеза используются лишь фотоны солнечного света в интервале волн от 0,40 до 0,76 мкм.

Сказанное позволяет сделать вывод о том, что значение видов энергии не может быть оценено только по их величине. Важную роль играют их качество, форма подачи в систему и степень соответствия процессу.

### III. ПЕРИОДИЧЕСКИЕ ДВИЖЕНИЯ В ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКЕ

Выше были рассмотрены основные циклы движения в географической оболочке, различающиеся прежде всего по характеру материального носителя. Циклы различаются также по характеру динамических режимов, под которыми понимают типы изменения во времени параметров систем. Одним из таких динамических режимов является периодический. В этом случае система через равные промежутки времени приходит в одно и то же состояние. В физико-географических явлениях строгой периодичности не существует, поэтому правильнее говорить о «квазипериодичности» (квази — почти).

*Периодичность в географической оболочке* проявляется во многих процессах: тектонических, магматических, осадконакопления, климатических, гидрологических и множестве других.

Многочисленные факты свидетельствуют о колебаниях климата, которые обусловлены периодическими изменениями параметров земной орбиты, солнечной активности, приливообразующей силы и многих других факторов. Об этом достаточно надежно свидетельствуют геологические, гляциологические, археологические данные, а также наблюдения за исторический период. Хорошо, например, прослеживаются климатические колебания, имеющие продолжительность в 35 лет (этот цикл колебаний впервые установил известный климатолог Брикнер) и 1800 лет. Последний зафиксирован в развитии природы Сахары, где неоднократно чередовались эпохи влажного и аридного климата.

Периодичность характерна для тектоно-магматических процессов: поднятий и опусканий, землетрясений, складчатых движений, интрузивного и эффузивного вулканизма. Тектоно-магматические эпохи разделены периодами относительного тектонического покоя в 50—150 млн. лет. Наблюдается сокращение продолжительности периодов между эпохами тектонической активности — темп геотектонических движений растет в ходе развития Земли.

Периодичность прослеживается в разрезах геологических отложений. Четко она заметна в терригенно-карбонатных и озерноледниковых формациях. В терригенно-карбонатных отложениях (главным образом каменноугольного и пермского возраста) наблю-

дается чередование по разрезу известняков, доломитов, глин, мергелей, песчаников, алевролитов и других отложений. Ритмичность этих отложений связывают с периодическими колебательными движениями земной коры и изменениями уровня моря, а также с колебаниями климата.

В приледниковых озерах образуется ленточная слоистость. Летом, когда ледник тает, в озеро приносится более крупнозернистый материал, зимой отлагается тонкий глинистый осадок. Пара таких слоев соответствует, таким образом, одному году.

Многочисленные свидетельства повторяемости явлений обнаружены в биосфере, ледниках, рельефе.

**Вынужденные колебания.** Периодичность явлений связана с воздействием внешних факторов (вынужденные колебания) и внутренними закономерностями развития географической оболочки (автономные колебания, автоколебания).

К внешним факторам, вызывающим периодические явления, относят положение Солнечной системы на орбите в нашей Галактике, колебания эксцентриситета орбиты Земли, изменения наклона ее оси и др. В течение галактического года Солнечная система проходит через пространства с различной плотностью вещества (пылевой материи). На протяжении галактического года меняется величина гравитационного поля в связи с изменением положения масс относительно друг друга. Изменение плотности пылевой материи приводит к изменению величины солнечной постоянной, а величины гравитационных сил — к колебаниям в системе атмосферной и океанической циркуляции, изменению сжатия эллипсоида вращения, положения поверхности геоида, что, в свою очередь, влияет и на конфигурацию суши и моря, и на процессы осадконакопления и т. д.

Классическим примером вынужденных колебаний могут служить годовые и суточные ритмы. Они связаны с режимом изменения интенсивности солнечной радиации, который зависит от планетарно-астрономических факторов — вращения Земли вокруг Солнца и вокруг своей оси и наклона земной оси к плоскости орбиты. Так как солнечная радиация — один из самых сильных факторов, воздействующих на природные процессы, суточная и годовая ритмика свойственны практически всем физико-географическим явлениям. Вследствие четкой повторяемости сутки и год служат естественными единицами измерения времени в физической географии.

Изменения времени наступления равноденствий, наклона оси вращения к эклиптике и эксцентриситета земной орбиты соответствуют периодам около 21 тыс. лет, 40 тыс. лет и около 92 тыс. лет. Эти периоды были исследованы югославским ученым Миланковичем с точки зрения воздействия на распределение на земной поверхности солнечной радиации. Изменения перечисленных характеристик очень слабые, однако их совместное влияние, наблюдающееся в периоды совпадения фаз колебаний, довольно велико и может служить причиной климатических колебаний.

Вынужденные колебания создаются также под воздействием и таких планетарно-астрономических факторов, как приливообразую-

щие силы. Возникают ритмы продолжительностью 1,2; 8,9; 18,9; около 111 и 1800—1900 лет (Калесник С. В., 1970).

Возникновение периодичности во многих случаях является отражением изменения пространственного положения системы. Например, сезонная и суточная периодичность в поступлении солнечной радиации связана с изменением положения Земли относительно Солнца. Колебания величины приливообразующей силы с периодом 1800 лет, вызывающие колебания климата, связаны с изменением расположения Солнца, Земли и Луны относительно друг друга. В данном случае проявляется неразрывное единство пространства и времени: временные характеристики — ритмы, периоды — возникают как отражение перемещений объектов в пространстве.

**Автономные колебания.** Кроме колебаний, вызываемых внешними факторами, географической оболочке свойственны *автономные колебания*. Последние вообще характерны для систем, имеющих не менее двух инерционных звеньев. *Инерционными* называются такие объекты, которые при мгновенном изменении внешних по отношению к каждому из них воздействий изменяют свои параметры не мгновенно, а постепенно, в результате переходного процесса. Чем длительнее переходный процесс, тем более инерционен объект. Строго говоря, инерционны все географические объекты. Однако инерционность многих из них невелика, она измеряется минутами, часами, сутками. В то же время такие системы географической оболочки, как океан и материковые льды, при воздействии на них внешних сил перестраиваются гораздо медленнее. Например, океан медленно охлаждается и так же медленно нагревается. Он до сих пор сохраняет холод, накопившийся в плейстоценовую ледниковую эпоху. Наступание и отступление материковых ледников совершается в течение десятков тысяч лет.

В теории автоматического регулирования (один из разделов кибернетики) доказывается, что в системе, содержащей две или более инерционные подсистемы, взаимодействующие по схеме отрицательной обратной связи (см. раздел III.4), могут возникать автоколебательные явления. Причем колебания возникают даже при постоянных внешних воздействиях. Поэтому их и называют *автономными*, т. е. возникающими независимо от внешних сил.

Автоколебательный характер имели изменения климата и оледенения в плейстоцене (о плейстоценовом оледенении и его роли в развитии природы земной поверхности см. в разделе IV.6). В. Я. Сергин и С. Я. Сергин (Системный анализ проблем больших колебаний климата и оледенения Земли. Л., 1978) построили математические модели системы «ледники — океан — атмосфера». На рис. III.26 представлено графическое отображение системы уравнений, связывающих все элементарные процессы тепло- и влагообмена на земной поверхности. Такие схемы называют *функциональными*. Они позволяют представить систему взаимодействия элементов исследуемого объекта и являются основой для построения математической модели.

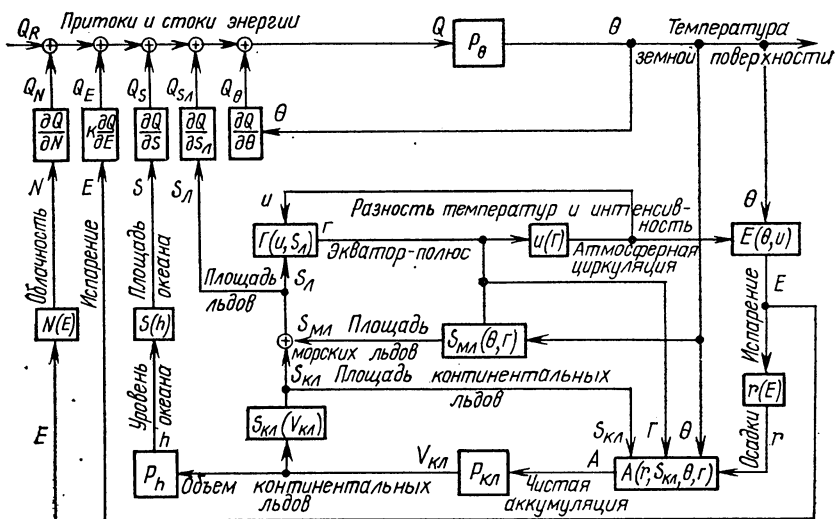


Рис. III.26. Функциональная схема системы ледники — океан — атмосфера (по В. Я. и С. Я. Сергиным, 1978). Плюс на рисунке — знак алгебраического суммирования

Исследование моделей на ЭВМ показало, что системе ледники — океан — атмосфера свойственны автоколебания, которые возникают вследствие перекачки массы и энергии между двумя большими инерционными системами: океаном и материковыми льдами. Инерционные свойства океана связаны с большой теплоемкостью его вод, а ледников — с малой скоростью накопления и таяния ледниковых покровов. Эти инерционные системы объединены нелинейными прямыми и обратными связями. Колебания возникают при постоянном притоке солнечной радиации на Землю. Задавая внешние возмущения, в том числе изменение широтного и годового распределения солнечной радиации и тектонически обусловленное изменение площади суши, авторы получили теоретические кривые ледниковых колебаний (рис. III. 27). Период колебаний варьирует от 20 до 80 тыс. лет. Размах колебаний средней многолетней температуры северного полушария составляет примерно  $15^\circ$ , южного — около  $7^\circ\text{C}$ . Объем материкового оледенения изменяется на 20 млн. км<sup>3</sup> в северном и на 18—28 млн. км<sup>3</sup> в южном полушариях.

Исследование на модели позволило также установить несимметричность в изменениях массы ледников, температуры и влажности земной поверхности. Изменения температуры земной поверхности по отношению к изменению массы льда отстают. В позднелейстоценовую эпоху это отставание могло составлять 1—3 тыс. лет. Таким образом, нельзя говорить, будто оледенение контролируется температурой.

Наблюдается асимметричность ледниковых циклов и по отношению к влажности: межледниковья и начала оледенений характери-

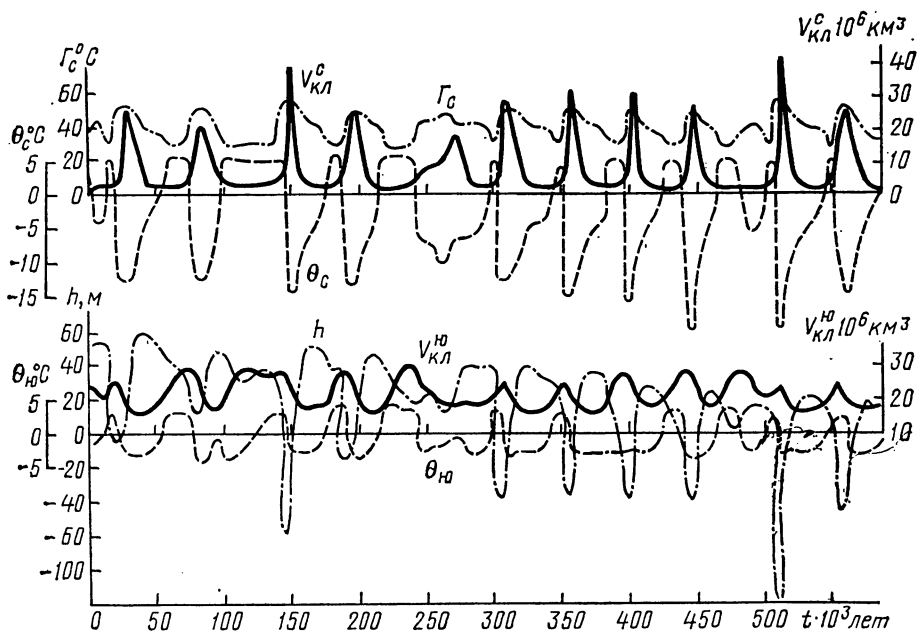


Рис. 11.27. Колебания климата и оледенений в модели планетарной системы (по В. Я. и С. Я. Сергиным, 1978):

$V_{кл}$  — объем континентальных льдов,  $\theta$  — температура,  $\Gamma$  — разность температур экватор—полюс,  $h$  — уровень океана,  $C$ ,  $Ю$  — индексы северного и южного полушарий

зуются относительно влажным климатом, а сами оледенения и начала межледниковий — относительно сухим.

Автоколебательный характер имеют, по всей видимости, и изменения погоды. Они не связаны с колебаниями интенсивности электромагнитного излучения Солнца, а обусловлены взаимодействием атмосферы с океаном, материками и ледниками. Значительную роль играют такие факторы, как облачность и различия в термодинамических характеристиках атмосферы и океана. Облачность — эффективный преобразователь постоянного потока солнечной радиации в поток теплоты, распределение которого неравномерно в пространстве и времени. В то же время облачность зависит от потока теплоты.

Инерционность океана, т. е. его более медленная (по сравнению с атмосферой) реакция на внешние воздействия (например, на изменения притока солнечной радиации), обуславливает сдвиг всех его термодинамических характеристик во времени. Океан оказывается своего рода «запоминающим устройством», хранящим информацию о состояниях и процессах за более ранний промежуток времени. Таким образом, существование и взаимодействие таких объектов, как атмосфера, океан, ледники, обладающих различными характерными временами, независимо от внешних воздействий неизбежно приводит к возникновению колебательных движений.

Сочетание колебаний, связанных с внешними воздействиями, и автоколебаний приводит к усложнению периодичности. Однако строго отделить вынужденные и автономные колебания чаще всего невозможно. Суперпозиция колебаний разной частоты и длительности приводит к возникновению сложных ритмов.

После окончания полной фазы ритма земная поверхность и ее отдельные подсистемы не возвращаются в первоначальное состояние. Каждая фаза ритма приносит что-то новое. В результате система изменяется, эволюционирует. Развитие системы осуществляется на основе тех необратимых изменений, которые накапливаются в течение большого промежутка времени.

**Периодичность природных явлений и их прогнозы.** Выявление ритмики природных явлений имеет важное значение для их прогнозирования. Ритмика — это повторение явлений во времени, и если выяснены достаточно устойчивые повторения явлений в прошлом, то велика вероятность, что они будут повторяться и в будущем. *Основа прогноза развития природной среды — знание ее предшествующих состояний.* Прошлое — ключ к познанию будущего. Анализ прошлого позволяет установить устойчивые тенденции развития природных процессов и во многих случаях произвести экстраполяцию — перенести установленные тенденции на будущее.

Примеров прогнозов, основанных на знании ритмов природных явлений, много: прогнозирование общего характера годового хода погодных условий, а вместе с ними и характера внутригодового изменения речного стока, развития растительного покрова и других явлений. Так же уверенно прогнозируют суточную динамику явлений. Особенно успешно прогнозирование движения планет, Солнца, солнечных и лунных затмений. Четкая ритмичность движений небесных тел позволяет предсказывать их взаимное положение на десятки и даже сотни лет вперед.

Однако движения небесных тел — это механические, а не физико-географические явления, закономерности движения которых более сложны, а ритмика выражена далеко не так отчетливо. Даже в суточной и годовой ритмике физико-географических явлений, имеющей планетарно-астрономическую природу, обнаруживаются значительные искажения. Например, ночью может быть теплее, чем днем. Летом могут наблюдаться заморозки, а зимой оттепели. Эти особенности возникают вследствие наложения на суточную и годовую ритмику, связанную с радиационными факторами, атмосферной циркуляции, имеющей сложную и еще недостаточно исследованную природу.

#### III.4. САМОРЕГУЛИРОВАНИЕ В ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКЕ

Характерная черта динамики географической оболочки и ее составных частей — *саморегулирование*, или *автоматическое регулирование*. Благодаря регулированию многие параметры географической оболочки поддерживаются на определенных уровнях (не выходят за определенные пределы), несмотря на резкие колебания

внешних факторов. Достигнутое состояние равновесия имеет динамический характер. Примером такого динамического равновесия может быть солевой состав океана. Несмотря на выпадение на поверхность океана атмосферных осадков и их неравномерное распределение во времени и пространстве, а также испарение и речной сток, соотношение солей в океанической воде в любом районе остается постоянным. Основная причина постоянства — во всеобщей взаимосвязанности концентраций веществ в такой квазиравновесной системе, как океан. В соответствии с *принципом Ле Шателье — Брауна* нельзя изменить концентрацию одного компонента системы без изменения остальных компонентов: если на систему, находящуюся в устойчивом равновесии, оказывать внешнее воздействие, то в системе усилится то из направлений процесса, течение которого ослабляет влияние этого воздействия, и положение равновесия сместится в том же направлении. Причем чем сложнее система, тем более надежно она защищена от внешних возмущений.

Географическая оболочка — система еще более сложная, чем океан. Она обладает защитными реакциями и свойствами саморегулирования. В ней, например, наблюдается тепловая регуляция: колебания температур значительно меньше, чем на Луне. Основную регулирующую функцию выполняют океан и атмосфера, которых на Луне нет.

Большое количество свободного кислорода используется на окисление веществ. Тем не менее его концентрация в атмосфере очень устойчива, поскольку такое же количество кислорода поступает в атмосферу в результате фотосинтеза.

Во многих случаях динамическое равновесие имеет характер колебания относительно некоторого среднего значения (т. е. автоколебания, которые являются одним из видов динамического равновесия). Таковы суточные и годовые колебания большинства физико-географических параметров. Такой же характер имеют процессы, возникающие в системе взаимодействия солнечная радиация — температура — испарение — облачность. За счет солнечной радиации земная поверхность нагревается, в результате увеличивается испарение. Поступившая в атмосферу влага конденсируется, образуются облака. Облака частично или полностью (в зависимости от их плотности и количества) задерживают солнечную радиацию. Уменьшение ее поступления на земную поверхность приводит к снижению температуры, а вследствие этого — и испарения. Соответственно изменяется интенсивность и других процессов — поступление влаги в атмосферу уменьшается, облака рассеиваются. Вновь увеличивается поступление солнечной радиации, на земную поверхность, и начинается новый цикл. Следовательно, четыре взаимосвязанных параметра контролируют друг друга, не давая возможности каждому в отдельности выйти за определенные границы (рис. III.28). На рис. III.28 у стрелки, идущей от облачности к солнечной радиации, стоит знак минус. Он означает, что влияние облачности на солнечную радиацию отрицательно, т. е. при увеличении облачности поступление солнечной радиации к земной поверхности

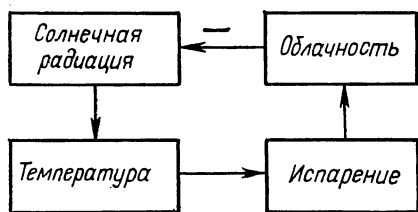


Рис. III.28. Взаимодействие солнечной радиации, температуры, испарения и облачности

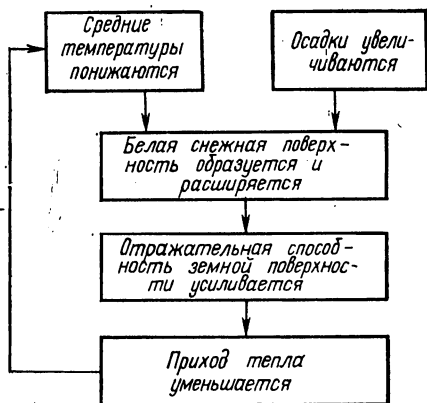


Рис. III.29. Связи в системе развития ледника ( по А. Д. Арманду, 1963)

уменьшается. Три других стрелки соответствуют положительным воздействиям, ибо рост солнечной радиации приводит к повышению температуры, а это, в свою очередь, способствует увеличению испарения, за которым следует рост облачности. Однако облачность может не увеличиться, если температура повышается быстрее, чем растёт относительная влажность. Воздействие роста облачности носит иной характер, чем воздействие трех других факторов. Оно стабилизирует систему, выполняет роль регулятора. Действие такого стабилизатора называется *отрицательной обратной связью*. Отрицательные обратные связи ограничивают изменчивость параметров системы.

Связи типа солнечная радиация — температура, температура — испарение называются *положительными прямыми*. Примером *положительной обратной связи* может служить развитие ледников<sup>1</sup> (рис. III. 29). В системе положительной обратной связи все взаимодействующие факторы усиливают друг друга, поэтому она саморазвивается. По аналогичной схеме развиваются тропические ураганы (выделяющаяся при конденсации влаги энергия способствует подъему масс воздуха на большую высоту, следовательно, и более интенсивной конденсации); нивальные кары, ниши на склонах в области морозного выветривания и т. д.

### III.5. ЕДИНСТВО И ЦЕЛОСТНОСТЬ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ

Разнообразные перемещения вещества и энергии в географической оболочке связывают ее части в *единую целостную систему*. Изменение любой части системы неизбежно приводит к изменению остальных частей. Так, если растопить льды Антарктиды, уровень

<sup>1</sup> См.: Арманд А. Д. Обратная связь и саморазвитие рельефа. — В сб.: Вопросы географии, 1963, № 63.



Мирового океана поднимется на 60 м. Одновременно произойдут изменения в характере тепло- и влагообмена, интенсивности речной эрозии и в других процессах на поверхности земного шара.

Единство и целостность географической оболочки доказывается и тем, что нельзя выделить ее часть (допустим геосферу), чтобы не разрушить целое, а тем самым не разрушить и самой части, поскольку она не может существовать вне целого. Невозможно представить изолированное существование вне геосферы или другой части географической оболочки.

Интеграционная роль потоков вещества и энергии проявляется также в пространственном упорядочении физико-географических явлений. Типы почв и растительности, географические пояса и зоны (см. рис. II.16) размещены в определенной системе, главные особенности которой обнаруживают четкую связь с атмосферной и океанической циркуляцией (роль потоков вещества и энергии в пространственной упорядоченности физико-географических явлений рассматривается в работах М. А. Глазовской, А. Ю. Ретеюма, В. Н. Солнцева и др.).

Таким образом, потоки воздуха, воды в океанах, руслах рек и подземных горизонтах, льда, минеральных частиц и других веществ, а также потоки энергии служат своего рода каналами, связывающими части географической оболочки в единое целое.

Переносы в географической оболочке осуществляются преимущественно в некоторых направлениях. Например, в умеренных широтах преобладает западный перенос воздушных масс воздуха; в восточном направлении воздушные массы перемещаются значительно реже. Известна устойчивость океанических течений. Наибольшей упорядоченностью и устойчивостью обладают движения ледников, поверхностных и подземных вод. Направления движений в географической оболочке определяются градиентами силовых полей, расположением блоков земной коры и другими причинами.

*Горизонтальные перемещения воздуха, воды, минеральных частиц и других типов вещества в сотни и тысячи раз превышают вертикальные*, так как последние происходят в поле силы тяжести. Источником переносов воздушных масс, а вместе с ними и других типов вещества служат в большинстве случаев горизонтальные градиенты. Следовательно, среда географической оболочки *анизотропна*. *Изотропность* — отсутствие выделенных направлений; все направления одинаковы по своим свойствам. Анизотропна — не изотропна. Так как *интенсивность связей неодинакова в различных частях географической оболочки*, в ней наблюдаются очаги взаимодействия, в пределах которых связанность явлений больше, чем за их пределами. Наблюдается также *несимметричность взаимодействия*: в некотором направлении воздействие сильнее, чем в обратном.

Универсальность взаимосвязей в географической оболочке ограничивается и неодинаковой скоростью распространения возмущений, переноса различных типов вещества. Наибольшая скорость переноса характерна для фотонов излучения ( $\sim 300\,000$  км/с). Медленнее всего происходят перемещения блоков земной коры, а

также льда, поэтому взаимодействия, например, в атмосфере происходят во много раз быстрее, чем в других сферах. Различия скоростей обмена приводят к тому, что каждая часть географической оболочки, отличающаяся от других характером вещества, приобретает черты относительной обособленности и относительного единства. На этой основе сформировалось представление о геосферах как об относительно самостоятельных системах, частях целого, однако об их обособленности, как уже упоминалось, можно говорить лишь условно.

Целостность и единство географической оболочки определяют стратегию подхода к решению проблем сохранения природной среды и управления ею. Вследствие глобального характера взаимодействий в географической оболочке осуществляется эффективная регуляция ее состояния и характеристик (см. III. 4). Однако взаимосвязь не всюду одинаково интенсивна, имеются участки земной поверхности, относительно слабо связанные с другими, с небольшими скоростями обмена вещества и энергии (болота, замкнутые морские котловины, глубоководные части океанов). В таких геосистемах регуляция параметров и устойчивость слабее. Следовательно, анализ пространственных различий взаимосвязей явлений помогает выявить участки земной поверхности с различной степенью регуляции своих параметров.

Единство и целостность географической оболочки осложняет решение проблемы управления природными процессами, ибо воздействия человека, направленные, как правило, на ограниченные регионы, распространяются на значительные территории и, в конечном счете, по всей географической оболочке. Изучение пространственной дифференциации взаимосвязей в географической оболочке позволяет выявить системы относительно обособленные и вследствие этого более «удобные» для управления.

Таким образом, *в географической оболочке наблюдается диалектическое сочетание единства и целостности, с одной стороны, и структурности, расчлененности ее на отдельные части (подсистемы), с другой.*

Движения в географической оболочке характеризуются большим разнообразием. Большая изменчивость и даже кажущаяся хаотичность движений долго скрывали от исследователей главные особенности динамики природы земной поверхности. В. И. Вернадский писал: «Века и тысячелетия прошли, пока человеческая мысль могла отметить черты связанного механизма в кажущейся хаотичной картине природы» (Биосфера. Л., 1926, с. 73). Установленные к настоящему времени закономерности перемещения энергии и вещества в географической оболочке составляют основу прогнозирования физико-географических процессов и управления ими.

#### Вопросы и задания для самостоятельной работы

1. В каких формах поступает на земную поверхность энергия земных недр?
2. Чему равна солнечная постоянная? Подсчитать, какое количество тепловой энергии поступает на верхнюю границу земной атмосферы за год.

3. Перечислите основные фильтры электромагнитного излучения Солнца в атмосфере Земли.
4. Почему возникает парниковый эффект атмосферы?
5. На какие процессы расходуется радиационный бюджет земной поверхности?
6. Каким образом компенсируется отрицательный радиационный бюджет атмосферы?
7. Записать уравнение теплового баланса подстилающей поверхности для участка суши и участка океана, сравнить их.
8. Пользуясь картой затрат теплоты на испарение (Физико-географический атлас мира, с. 24), объяснить наличие на океанах максимума этого показателя в тропиках и минимума (относительного) на экваторе.
9. Сравнить затраты энергии на испарение и турбулентный теплообмен земной поверхности с атмосферой в различных районах Земли и объяснить их.
10. Какими путями происходит горизонтальное перераспределение тепловой энергии в географической оболочке?
11. Как влияют океанические течения на распределение изотерм?
12. Как распределяются температуры в океанах по вертикали?
13. Каков коэффициент полезного действия атмосферных тепловых машин? Какая доля тепловой энергии переходит в механическую энергию атмосферных движений?
14. Каковы основные пути перемещения воздушных масс в атмосфере?
15. Как влияет меридиональный перенос в атмосфере на распределение температуры на земной поверхности?
16. Сравните скорости обмена воды в различных частях гидросферы. Объясните причины их различий.
17. Чем вызываются океанические течения? Перечислите главные факторы.
18. Каковы главные особенности циркуляции поверхностных вод океана? В чем проявляется сходство атмосферной и океанической циркуляций (самостоятельная работа)?
19. Записать уравнение водного баланса суши, океана, материкового ледника.
20. Чему равен перенос воды с поверхности океана на сушу? Как компенсируется этот перенос?
21. Назовите главные звенья биогеохимических круговоротов.
22. Назовите компоненты баланса органического вещества природных комплексов.
23. В каких формах совершается перенос энергии и вещества в биогеохимических круговоротах?
24. Перечислите основные резервуары углерода в географической оболочке. В ходе каких процессов происходит обмен углеродом между резервуарами? Каковы тенденции изменения емкости резервуаров?
25. В чем состоит планетарное значение углерода и его соединений?
26. Каковы главные закономерности окислительно-восстановительной дифференциации в географической оболочке?
27. Чем объясняется геохимическая дифференциация на земной поверхности?
29. Чему равна средняя химическая денудация суши?
30. Произвести ориентировочный расчет времени, за которое материк могут быть сnivelированы до уровня моря при современных темпах денудации и отсутствии тектонических движений.
31. Какие существуют доказательства горизонтальных движений материков? Каков возможный механизм этих движений?
32. В каких формах происходит накопление энергии в географической оболочке?
33. Каковы масштабы периодических движений в географической оболочке? Привести примеры периодичности различных временных масштабов.
34. Что такое автономные колебания? Привести примеры автоколебаний физико-географических процессов.
35. Привести примеры саморегулирования в географической оболочке. Что такое обратная связь? Чем различаются положительные и отрицательные обратные связи?

36. Какие потоки энергии и вещества связывают географическую оболочку с Космосом, с земными недрами?

#### *Задание для реферата*

37. На основании анализа карт (Физико-географический атлас мира, с. 22—25) подготовить реферат на тему «Пространственная структура радиационного и теплового баланса земной поверхности». Реферат может быть подготовлен для континента, океана, полушария.

38. Почему географическую оболочку называют целостной системой?

## *Глава IV*

### **РАЗВИТИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ**

#### **IV.1. ИСТОЧНИКИ РАЗВИТИЯ**

Восстановление картины прошлого природы земной поверхности — одна из труднейших задач науки. Исследователи шли к решению ее в течение нескольких столетий.

Большая заслуга в восстановлении истории природы земной поверхности принадлежит *исторической геологии и палеогеографии*.

Важнейшие свидетельства о природных условиях прошлых эпох получают при анализе состава и строения пластов земной коры. Земная кора — это своего рода летопись истории Земли. Характер напластования, минералогический и петрографический состав отложений, их остаточная намагниченность, палеонтологические остатки, остатки спор и пыльцы растений и другие данные позволяют представить главные особенности рельефа, климата, почвенно-растительного покрова, глубину водных бассейнов, соленость океана, состав атмосферы и другие особенности природы прошлых геологических эпох. Анализ прошлого Земли невозможен без знания основных физических и химических законов, которые справедливы не только для современной, но и для далеких геологических эпох.

Значительный прогресс в расшифровке геологической истории был достигнут в начале нашего века благодаря использованию изотопных методов определения абсолютного возраста минералов<sup>1</sup>. Но в руках исследователей пока далеко не вся информация о прошлом. Часть свидетельств еще не установлена, часть была уничтожена при горообразовательных процессах, метаморфизации горных пород, извержениях вулканов и других процессах. Поэтому нельзя утверждать, что рисуемая геологами и палеогеографами картина развития природы земной поверхности закончена. Многие представления, еще недавно казавшиеся незыблемыми, пересматриваются, изменяются. Такова особенность научного поиска. Однако несмотря на то, что мы не можем быть уверены в том, что воссозданная к настоящему времени картина прошлого земной поверхности полно-

---

<sup>1</sup> Методы расшифровки геологического прошлого земной коры см.: М. Ф. Иванова. Общая геология с основами исторической геологии. М., 1980.

стью отвечает действительности, ее можно взять за основу для объяснения современного лика земной поверхности и прогноза будущего.

Сравнение разновременных состояний географической оболочки позволяет установить, что ей присущи направленные, необратимые изменения, которые последовательно — плавно или скачкообразно — приводят к усложнению ее структуры, увеличению разнообразия и сложности географических явлений и процессов. Такие изменения являются своеобразной высшей формой движения материальной системы. Движение, обладающее указанными свойствами (направленностью, необратимостью, «восходящим» — от низшего к высшим формам — характером), называют *развитием*. Материалистическая диалектика утверждает, что развитие присуще любой материальной системе.

Развитие географической оболочки — сложный и противоречивый процесс, в ходе которого в результате накопления незаметных, постепенных количественных изменений происходят качественные скачки: образование новых структурных элементов (геосфер, геологических тел, материков и океанов, жизни). Каждое новое образование возникает и развивается на месте старого (материковая земная кора — на месте океанической и т. д.).

Процесс развития непрерывен, поэтому его начало можно определить только условно. Принято считать, что развитие Земли началось с момента образования ее как небесного тела (хотя развитие вещества, слагающего Землю, восходит к ранним стадиям формирования Вселенной).

Развитие природы земной поверхности идет неравномерно. Периоды медленных, эволюционных изменений сменяются резкими, революционными преобразованиями, т. е. развитие географической оболочки не простая функция времени, оно определяется ее внутренней организацией. Энергия — основа движений и изменений — в географическую оболочку поступает извне, но развитие как движение от простого к сложному совершается по внутренним законам географических систем.

Географический уровень организации, материально воплощенный в форме географической оболочки и составляющих ее систем, — ступень, логически следующая за планетной стадией развития. В то же время географический уровень организации стал одной из предпосылок возникновения и развития жизни в ее высших формах, в том числе и социальных.

#### **IV.2. ПРОИСХОЖДЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ГЕОСФЕР. ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ОБОЛОЧКА НА ДОКЕМБРИЙСКОМ ЭТАПЕ**

Земля и другие планеты Солнечной системы образовались, по-видимому, около 4,6 млрд. лет назад. Историю Земли обычно делят на *два зона: криптозой и фанерозой*. Криптозой включает *две эры: архей и протерозой*. Фанерозой охватывает последние 570 млн. лет. В нем выделяют *палеозойскую, мезозойскую и кай-*

*нозойскую эры*, которые, в свою очередь, делятся на *периоды* (таб. IV.1 и IV.2)<sup>1</sup>. Часто весь период до фанерозоя называют *докембрием* (кембрий — первый период палеозойской эры).

О наиболее древних эпохах развития Земли сведений немного. События последующего времени уничтожили большую часть информации, запечатленной в пластах горных пород. В раннем архее, очевидно, наблюдался интенсивный вулканизм, приведший к образованию первичной земной коры, атмосферы и океана. Вулканические процессы были связаны с частичным плавлением вещества мантии за счет выделения теплоты при гравитационном сжатии, распаде радиоактивных элементов и некоторых других процессах. Согласно представлениям А. П. Виноградова (Введение в геохимию океана. М., 1967), при плавлении вещества верхней мантии происходила его дифференциация на тугоплавкую и легкоплавкую фракции. Легкоплавкая фракция состояла в основном из базальтов, летучих газов и водяных паров. Базальты образовали *первичную земную кору*, а соединения углерода (CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>), аммиак, соединения серы, галлоидные кислоты, борная кислота, водород, аргон и некоторые другие газы — *атмосферу*<sup>2</sup>. Водяной пар вулканических извержений конденсировался, возник *первичный океан*. В первичный океан переходили такие компоненты вулканических газов, как диоксид углерода, кислоты, сера, аммиак. Часть воды поглощалась породами земной коры. Общая соленость океанической воды были близка к современной.

Таблица IV.1. Геохронологическая шкала

Эоны	Эры	Возраст границ, млрд. лет
Фанерозой	Кайнозойская, KZ	0,067 ± 0,003
	Мезозойская, MZ	0,23 ± 0,01
	Палеозойская, PZ	0,57 ± 0,03
Криптозой	Протерозойская, PR	2,7 ± 0,1
	Архейская, AR	

Воссоздание картины прошлого стало возможным в результате экспериментов (например, плавление базальтов), анализа состава современных вулканических извержений и древнейших горных пород, а также возможных химических реакций взаимодействия в условиях земной поверхности.

Существенной геохимической особенностью океанических вод и атмосферы на первых этапах геологического развития было *отсутствие свободного кислорода*. Об этом свидетельствует явное преобладание закисного железа над окисным в древних изверженных,

<sup>1</sup> См.: М. Ф. Иванова. Общая геология с основами исторической геологии. М., 1980.

<sup>2</sup> Процесс гравитационной и физико-химической дифференциации вещества Земли продолжается.

Таблица IV.2. Геологические периоды фанерозоя

Эры	Периоды и эпохи		Возраст границ, млн. лет
Кайнозойская, KZ	Четвертичный (антропогено- вый), Q	Голоцен Плейстоцен	0,7—1,8
	Неоген, N	Плиоцен Миоцен	26±1
	Палеоген, P	Олигоцен Эоцен Палеоцен	67±3
Мезозойская, MZ	Мел, K		137±5
	Юра, J		195±5
	Триас, T		230±10
Палеозойская, PZ	Пермь, P		285±10
	Карбон, C		350±10
	Девон, D		405±10
	Силур, S		440±10
	Ордовик, O		500±15
	Кембрий, E		570±30

Примечания: 1. Эпохи приводятся только для кайнозоя.  
2. Относительно продолжительности четвертичного периода существуют различные мнения.

метаморфических и осадочных породах, присутствие в древних породах графита, лазурита и пирита, т. е. веществ, легко окисляющихся в современной кислой геохимической обстановке, отсутствие в водах первичного океана сульфата  $SO_4^{2-}$  (первые сульфатные осадки — гипсы и ангидриты — обнаружены в отложениях, имеющих возраст около 1 млрд. лет).

Образование свободного кислорода связано с жизнедеятельностью автотрофных организмов, которые появились, вероятно, более 3 млрд. лет назад. Свободный кислород начал расходоваться на окисление атмосферных газов и горных пород. Аммиак окислялся до молекулярного азота (вероятно, так образовался атмосферный азот). Метан  $\text{CH}_4$  и оксид углерода  $\text{CO}$  окислялись до диоксида углерода  $\text{CO}_2$ . Значительная часть последнего уходила в морскую воду. Другая часть  $\text{CO}_2$  связывалась в процессе фотосинтеза. Шло окисление серы и сероводорода, двухвалентного железа и марганца. Таким образом в середине протерозоя активно происходил переход от восстановительных условий к окислительным в атмосфере и океане.

Около 1,2 млрд. лет назад содержание свободного кислорода в атмосфере составляло одну тысячную долю современного уровня<sup>1</sup>. С этого времени начали формироваться мощные коры выветривания. Среди горных пород того времени часто встречаются биогенные известняки. Достаточно высокое содержание свободного кислорода позволило органическому миру сделать новый крупный шаг в эволюции — появились организмы, потребляющие кислород, — животные. Дальнейшее увеличение содержания кислорода в атмосфере привело к образованию озонового экрана, который позволил живым организмам сначала заселить самые верхние слои океанической воды, а затем выйти на сушу.

Основная масса другой важной составляющей атмосферы Земли — диоксида углерода была связана в процессе образования карбонатов в результате химических реакций и биологических процессов (использовался организмами для образования карбонатных оболочек и скелетов организмов, а также органической массы при фотосинтезе). Первые карбонатные породы сформировались около 2,5 млрд. лет назад. Характерно, что атмосфера Венеры на 97 % состоит из диоксида углерода. По-видимому, на Венере не было ни гидросферы, ни жизни земного типа, ни карбонатообразования, поэтому весь диоксид углерода, выделившийся при дегазации материала мантии, так и остался на Венере в атмосфере.

Параллельно эволюции атмосферы, гидросферы и органического мира шла эволюция земной коры. С возникновением атмосферы и гидросферы началось выветривание первичных пород земной коры, перенос вещества по земной поверхности и образование осадочных пород. Наиболее древние осадочные породы найдены в юго-западной части Гренландии. Это бурые железняки, имеющие возраст 3,8 млрд. лет.

Осадочные и магматические породы, попадая в условия высокого давления и значительных температур (например, при погружении в нижние части литосферы), испытывали процессы метаморфизации: изменялись их структура, минеральный и химический

---

<sup>1</sup> См.: Монин А. С., Шишков Ю. А. История климата. Л., 1979. В этой же книге приводятся и несколько иные оценки изменения содержания кислорода.



состав. Образовывались метаморфические горные породы: кварциты, сланцы, гнейсы и др. Началось образование *первичного гранитно-гнейсового слоя континентальной земной коры и формирование древних платформ.*

В настоящее время земная кора состоит из изверженных, метаморфических и осадочных пород. Метаморфические и осадочные породы образовались в ходе разрушения магматических и метаморфических пород и переотложения продуктов их разрушения. Если бы происходил однонаправленный процесс осадкообразования без последующего превращения осадочных пород в магматические и метаморфические, то за 4 млрд. лет сформировалась бы кора осадочных пород толщиной 120 км. В действительности средняя мощность всей земной коры (включая магматические и метаморфические отложения) 33 км, а средняя мощность осадочной толщи — 2,2 км. Это объясняется тем, что осадочные толщи в значительной степени перерабатываются, превращаются в метаморфические и магматические породы (см. рис. III. 25). В общем виде последовательность процессов рисуется следующим образом: магматизм — выветривание — снос — осадкообразование — заглупление — метаморфизм — магматизм. Однако естественный ход процессов значительно сложнее описанной схемы. Описанный круговой процесс незамкнутый, так как на протяжении геологической истории происходил рост массы осадочных и метаморфических пород. Особенно значительно увеличилась доля карбонатных пород, кварцитов, песков, т. е. пород с простым химическим составом, мало подвергающихся выветриванию в термодинамических условиях земной поверхности.

После возникновения жизни в образовании осадочных пород большую роль стали играть живые организмы. Некоторые пласты осадочных пород сложены полностью остатками отмерших живых организмов.

На протяжении геологической истории земная кора неоднократно подвергалась воздействию горообразовательных процессов, интрузивного и эффузивного вулканизма и складчатых движений. Периоды активизации этих процессов получили название *тектонно-магматических эпох.* В самые ранние этапы геологической истории тектоно-магматические эпохи отделялись друг от друга отрезками времени в 300—500 млн. лет. Впоследствии эти отрезки времени между ними сокращались и в фанерозое равнялись 50—150 млн. лет. Возможно, что сокращение промежутков времени между тектоно-магматическими эпохами кажущееся, поскольку фанерозой легче детализируется. Однако ряд ученых считает, что возрастание частоты тектоно-магматических процессов в ходе геологической истории — явление закономерное.

Наиболее изучены *рифейская (байкальская) тектоно-магматическая эпоха* (верхний протерозой), *каледонская* (нижний палеозой), *герцинская* (верхний палеозой), *мезозойская* (мезозой), *альпийская* (кайнозой).

Существенной чертой природы земной поверхности во все эпо-

хи было чередование трансгрессий (наступления) и регрессий (отступления) моря. Они устанавливаются по характеру осадочных отложений соответствующего возраста. Трансгрессии и регрессии связаны со сложным сочетанием процессов колебания климата и объема вод гидросферы, а также с колебаниями емкости океанических впадин и высоты материков. На рис. IV. 1 показан характер изменения площади современных континентов, покрытых морями на протяжении фанерозоя. Отчетливо видны ее колебания, но в целом площадь суши росла. Это можно объяснить направленным изменением структуры земной коры в сторону увеличения площади ее материковых частей. Считают, что масса гидросферы на протяжении геологической истории скорее всего возростала.

В докембрийское время, как и в более поздние геологические эпохи, характерной чертой климата Земли была его широтная зональность. А. С. Монин и Ю. А. Шишков (1979) считают, что из-за меньшей массы атмосферы в докембрийское время выравнивание широтных контрастов в процессе циркуляции было менее эффективным, чем в современную эпоху. Постепенный рост массы атмосферы и гидросферы способствовал уменьшению широтных различий, а также суточных и годовых контрастов температуры.

Труднее судить об изменении средней температуры земной поверхности в те далекие геологические периоды, так как температура определяется множеством факторов. В их числе парниковый эффект атмосферы, который зависит прежде всего от содержания  $H_2O$  и  $CO_2$ , характер расположения материков (если обширные материки располагались в полярных районах, они скорее всего подвергались оледенению), характер вертикального обмена в океане и др. Вероятнее всего, на протяжении долгой докембрийской истории Земли температурный режим изменялся неоднократно. Есть свидетельства неоднократного образования континентальных ледниковых щитов. Самое первое достоверно установленное материковое оледенение относится к нижнему протерозою (более 2 млрд. лет назад). Оставленные им ледниковые отложения —

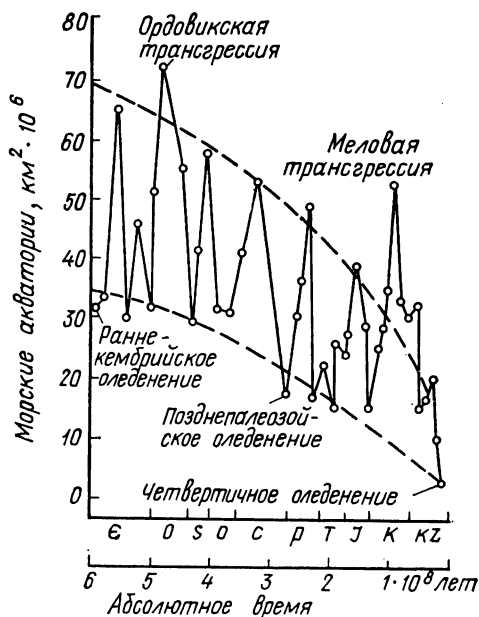


Рис. IV.1. Изменение суммарной площади покрытых морями территорий современных континентов (из кн. А. С. Монина, 1977)

тиллиты, обнаружены в протерозойских отложениях на юго-востоке Канадского щита. *Тиллиты* — древние ледниковые несортированные отложения (морены), подвергшиеся уплотнению, а иногда метаморфизации. Характеризуются отсутствием слоистости и наличием иштрихованных валунов разного размера. Особенно много тиллитов в отложениях верхнего рифея. Они найдены на многих материках, что свидетельствует о широком распространении материковых льдов в ту эпоху.

#### IV.3. ПРОИСХОЖДЕНИЕ МАТЕРИКОВ И ОКЕАНИЧЕСКИХ ВПАДИН

Для восстановления картины прошлого земной поверхности большое значение имеют вопросы происхождения материков и океанических впадин, перемещения материков. Характер расположения материков и океанов в большой мере определяет систему циркуляции воздушных масс и особенно океанических вод, осуществляющих горизонтальный перенос энергии, воды, минерального вещества и др.

По поводу происхождения материков и океанов существует ряд точек зрения. Одни из них давно отвергнуты. Другие в большей или меньшей степени подтверждаются фактами, число которых резко возросло за последние 30 лет в связи с активным изучением океанов, применением более совершенных методов изучения земной коры, в том числе дистанционных.

Сторонники *гипотезы первичности океанической коры* считают, что океаническая кора сформировалась на ранних этапах геологической истории, первоначально покрывала весь земной шар и состояла из магматических пород. В дальнейшем магматические породы превратились в породы, напоминающие по своим свойствам базальты, поэтому этот слой коры стал называться «*базальтовым*». Процессы осадкообразования, начавшиеся после образования атмосферы и гидросферы, вулканические излияния и метаморфизм привели к формированию комплексов горных пород, состоявших из амфиболов и гнейсов основного состава. Они образовали ядра будущих материков. Дальнейшее преобразование океанической коры в материковую шло в геосинклиналих — вытянутых прогибах земной коры. В процессе развития геосинклинали заполнялись толщами осадочных и вулканогенных пород, которые подвергались тектоническим деформациям и поднятиям. В итоге геосинклинали превращались в сложные складчатые сооружения. К началу палеозоя этот процесс привел к формированию крупных платформ материкового типа (так называемых докембрийских платформ, см. рис. II.4). В палеозое и более позднее время они разрастались за счет дальнейшего превращения океанической коры в материковую (О. К. Леонтьев, 1968).

По мнению некоторых исследователей (В. В. Белоусов, 1968), материковый тип земной коры первоначально занимал всю земную поверхность. Образование современных океанических впадин началось с конца палеозоя. Расплавленный материал мантии внед-

рялся по разломам в земную кору. Это приводило к ее метаморфизации и опусканию под действием силы тяжести. В результате этого процесса, названного «океанизацией» земной коры, образовались впадины океанов.

В последние десятилетия все большее число геологических, геофизических и палеогеографических фактов объясняют с помощью теории *тектоники литосферных плит* (новой глобальной тектоники) (см. III.2.6). Она, как и изложенные выше концепции, не объясняет все особенности строения земной поверхности, но, вероятно, может стать одной из основ будущей, более совершенной теории развития земной коры.

Многие особенности строения и развития земной коры объясняются на основе *пульсационной гипотезы*<sup>1</sup>, сформулированной в первоначальном варианте в 20-е и 30-е годы нашего столетия Дж. Джולי, В. Бухером, В. А. Обручевым, М. А. Усовым и другими исследователями. Эта гипотеза вводит представление о периодических изменениях радиуса Земли (чередование расширения и сжатия) при общем направленном увеличении объема планеты. Пульсационная гипотеза позволяет объяснить ряд явлений, не объяснимых с точки зрения других концепций. Например, периодичность тектоно-магматических процессов и трансгрессий и регрессий. В ней делаются попытки сочетать представления о горизонтальных перемещениях литосферных плит (но в меньших масштабах, чем в теории тектоники плит) с классическим учением о геосинклиналях (является одной из основ концепций, отрицающих горизонтальное движение материков).

Таким образом, окончательной концепции о происхождении материков и океанических впадин еще не создано. Однако очевидно, что в фанерозое материка перемещались (спорным остается лишь вопрос о механизмах их движения).

#### IV.4. ИСТОРИЯ ЖИЗНИ НА ЗЕМЛЕ

Наиболее последовательно теория возникновения жизни на Земле разработана в исследованиях советского ученого академика А. И. Опарина и английских ученых Дж. Холдейна и Дж. Бернала.

Живые организмы возникли на Земле на определенном этапе развития природы земной поверхности. Очевидно, это стало возможным в тот период, когда сформировались достаточно мощные атмосфера и гидросфера, обусловившие возникновение парникового эффекта, а вследствие этого и установление относительно высоких и устойчивых температур на земной поверхности. Простейшие формы жизни возникли, по-видимому, на дне мелководных водоемов более 3 млрд. лет назад. Дно мелких водоемов было подходящим местом для этого, поскольку слой воды толщиной от нескольких метров до нескольких десятков метров, с одной сторо-

---

<sup>1</sup> См.: *Милановский Е. Е.* Расширяющаяся и пульсирующая Земля. — Природа, 1982, № 8.

ны, пропускал свет, с другой — задерживал жесткое солнечное и космическое излучение, губительное для живых организмов. К тому же береговая зона водоемов — это контакт трех сред: воды, суши и атмосферного воздуха. В зоне контакта наблюдаются активные процессы взаимодействия веществ и образования органического вещества небиологического происхождения.

Живые организмы образовались путем длительной эволюции из неорганического вещества. Полностью процесс возникновения организмов неизвестен. С помощью экспериментов удалось получить из неорганического вещества разнообразные органические соединения: аминокислоты, сахара и др. В опытах моделировались условия, сходные с предполагаемой обстановкой на ранних этапах развития земной поверхности. Атмосфера Земли содержала в тот момент метан, аммиак, оксид углерода, пары воды, сероводород. Под воздействием ультрафиолетовых лучей и электрических разрядов могли образоваться органические соединения, взаимодействие между которыми могло привести к синтезу еще более сложных соединений. Отдельные сгустки соединений (коацерватные капли) постепенно стали все более отграничиваться от внешней среды, приобрели способность избирательного поглощения веществ из окружающей среды и самовоспроизведения. Такие системы уже можно назвать живыми организмами. С возникновением живых организмов началась биологическая эволюция.

Считают, что *первые организмы были гетеротрофами*, так как питались органическими веществами. Позже появились *автотрофы* — родоначальники фотосинтезирующих растений. На смену примитивным и малоэффективным в энергетическом отношении организмам, получавшим энергию за счет использования органических веществ неорганического происхождения, пришли организмы, способные создавать органические вещества из неорганических за счет энергии Солнца. Это была революция в развитии жизни и в целом всей природы земной поверхности, так как фотосинтез оказал влияние на геохимическую обстановку на Земле, а тем самым на тепловой режим, условия осадконакопления и многие другие процессы и явления. С этого времени живое вещество постепенно превращается в мощный геологический и физико-географический фактор. После появления свободного кислорода стало возможным появление животных.

Остатки *наиболее древних организмов* найдены в Южной Африке. В черных сланцах, имеющих *возраст 3,1 млрд. лет*, обнаружены остатки бактериоподобных образований. В более поздних отложениях (2,7 млрд. лет) найдены водорослевые известняки. Примерно 1,2 млрд. лет назад (рифей) появились многоклеточные водоросли, затем красные и зеленые водоросли, еще позже — первые многоклеточные животные: медузы, губки, черви, археоцеаты.

Главным итогом *геохимической работы организмов в докембрийское время* было накопление в атмосфере кислорода и поглощение из атмосферы больших масс  $\text{CO}_2$ . Значительная часть  $\text{CO}_2$

была захоронена в гигантских толщах известняков. Живые организмы охватили всю поверхность планеты, возникла *биосфера*.

Достаточно полно изучена эволюция органического мира фаэноэры.

Развитие органического мира происходило в непосредственной связи с развитием всего комплекса физико-географических процессов. Дальнейшее развитие жизни привело к появлению новых, более совершенных видов организмов. За всю историю Земли существовало примерно 500 млн. видов, в современную эпоху их насчитывается около 2 млн. Многие исследователи считают, что в заселении организмами земной поверхности можно выделить *три основных этапа, три пространственные фазы эволюции. К первой пространственной фазе эволюции относят прибрежные участки морей и океанов. Сложность и многообразие протекающих в прибрежных участках процессов стали решающими факторами в возникновении здесь жизни. Овладев фотосинтезом, живые организмы заселили океан. Это была вторая фаза пространственной эволюции. Относительное однообразие природных условий океана позволило организмам заселить большие водные пространства. Третья пространственная фаза эволюции — заселение поверхности материков. Именно на материках эволюция достигла наиболее высокого уровня*<sup>1</sup>.

Таким образом, возникновение и эволюция жизни на Земле — это проблема не чисто биологическая, а биолого-географическая, ибо развитие организмов и биосферы в целом невозможно понять без учета всего комплекса физико-географических условий и развития географической оболочки в целом.

В истории развития жизни на Земле можно выделить несколько наиболее важных моментов (М. М. Камшилов, 1974):

1. На протяжении геологической истории шло *усложнение биосферы* — увеличивалось разнообразие живых организмов, усложнялась их организация, увеличивалась их общая масса.

2. В итоге жизнедеятельности организмов произошли *коренные преобразования приповерхностных оболочек Земли*: в атмосфере появился свободный кислород и возник озоновый экран, поглощенный из воздуха и воды диоксид углерода был законсервирован в залежах каменного угля и в карбонатных отложениях и др.

3. Живые существа, выделяя органические и минеральные кислоты, *активно участвовали в процессах выветривания горных пород*, способствовали выравниванию рельефа и миграции химических элементов.

4. Развитие жизни шло неравномерно. Одни виды сохранились с архейских времен до современной эпохи (синезеленые водоросли и др.), развитие других линий жизни привело к возникновению сложных форм живого, вплоть до человека. Наряду с появлением и развитием одних форм организмов шло вымирание других.

---

<sup>1</sup> См.: *Забелин И. М.* Физическая география и наука будущего. М., 1970.

5. Несмотря на изменения условий среды, нередко грандиозные и охватывающие большие пространства земной поверхности, жизнь на Земле продолжала существовать и развиваться.

#### IV.5. РАЗВИТИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ В ФАНЕРОЗОЕ

Фанерозойский этап развития земной поверхности изучен намного лучше криптозоя. Описание этого этапа в значительно меньшей степени основано на предположениях. В основном оно строится на фактах. Однако в изучении фанерозоя многие вопросы эволюции Земли остаются неясными. Особенно это касается реконструкции расположения материков. Представление об их постоянном положении сейчас большинством исследователей, как указывалось выше, не поддерживается. Но и восстановить картину их положения на земной поверхности в прошлом очень трудно. Задача осложняется движением полюсов, связанным с неравномерным распределением масс в Земле относительно экваториальной плоскости.

Расчеты показывают, что Земля как небесное тело стремится к такому положению относительно оси вращения, при котором наибольшая доля континентальных масс находилась бы в плоскости экватора. Взаимное перемещение литосферных плит постоянно приводит к нарушению этого положения, что, в свою очередь, вызывает новые перемещения земного шара относительно оси вращения. Таким образом, реконструкция облика земной поверхности связана с восстановлением ее положения относительно оси вращения и воссозданием взаимного перемещения материков. Сочетание этих двух движений затрудняет палеогеографические реконструкции.

Существует несколько реконструкций расположения материков в различные периоды фанерозоя. Одна из них показана на рис. IV.2, IV.3, IV.4. Согласно этой реконструкции 200 млн. лет назад (т. е. в начале мезозоя) все континенты представляли *единый материк Пангею*. Пангея была окружена *океаном Панталасса*. Частью этого океана было *море Тетис* — залив, располагавшийся между частями Пангеи, образовавшими впоследствии современные Евразию и Африку. Суша в целом занимала примерно одинаковые площади в северном и южном полушариях.

Начавшиеся в мезозое движения литосферных плит и раскол Пангеи привели к возникновению к концу триаса *двух материков: Лавразии* (северный материк) и *Гондваны* (южный материк). Гондвана стала распадаться на *два блока: Африкано-Южноамериканский* и *Австрало-Антарктический*.

В *юрском периоде* возник *рифт*, по которому происходило отделение Северной Америки и образование Северной Атлантики. Одновременно море Тетис уменьшалось из-за движения африканской и индостанской глыб к северу с одновременным поворотом против часовой стрелки. В *конце юрского периода* началось отде-

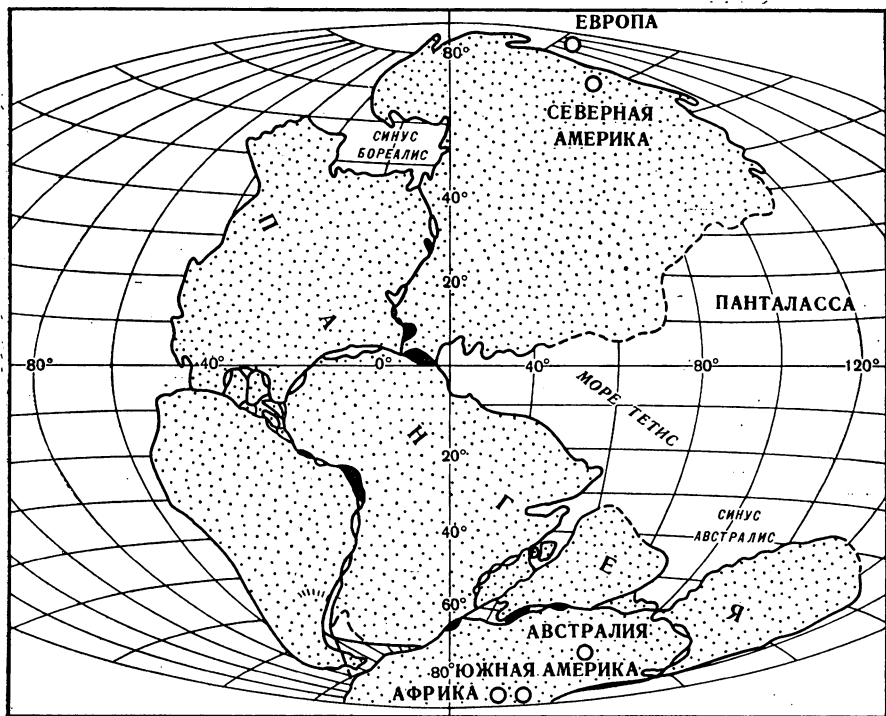


Рис. IV.2. Положение материков 200 млн. лет назад (по Р. Дицу и Дж. Холдену, 1974)

ление Южной Америки от Африки, что привело впоследствии к образованию Южной Атлантики (рис. IV.3).

На рубеже мезозоя и кайнозоя (60—70 млн. лет назад) Атлантический океан принял очертания, близкие к современным (рис. IV.4). В кайнозое Австралия отделилась от Антарктиды, переместившись к северу, Северная Америка соединилась с Южной Америкой, Гренландия отделилась от Европы, а Атлантический океан соединился с полярным бассейном.

Существуют и несколько иные варианты реконструкции движения материков. Решение вопроса о расположении материков (не только относительно друг друга, но и относительно полюсов) позволяет воссоздать такую важную характеристику природы земной поверхности в прошлом, как структура океанической и атмосферной циркуляции, более строго подойти к объяснению возникновения материковых оледенений и распространения по земному шару флоры и фауны. В ряде работ анализ развития природы земной поверхности с учетом возможных перемещений литосферных плит сделан. Он позволил, например, А. С. Мониному и Ю. А. Шишковой (История климата. Л., 1979) прийти к выводу о том, что 27—28 млн.



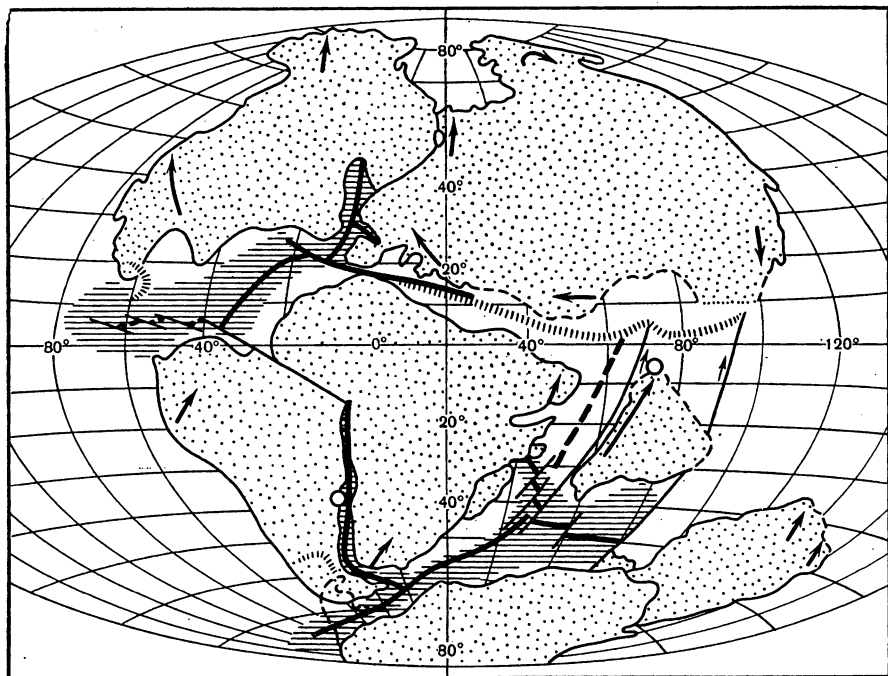


Рис. IV.3. Положение материков 135 млн. лет назад (по Р. Дицу и Дж. Холдену, 1974)

лет назад (конец палеогена) вокруг Антарктиды возникло циркумполярное течение, которое обособило ее от окружающих материков. Обмен водами и воздушными массами с более низкими широтами резко уменьшился, поэтому Антарктида стала сильно охлаждаться. Это привело к образованию на ее поверхности ледникового покрова, который с тех пор не исчезал.

Более строгое восстановление картины движения континентов и воссоздание на этой основе характера изменения природных условий — дело будущего.

В течение фанерозоя наблюдалось несколько *тектоно-магматических эпох*: каледонская, герцинская, мезозойская и альпийская (считают, что альпийская эпоха продолжается). В каждую эпоху происходило наращивание докембрийских платформ за счет причленявшихся к ним участков геосинклиналей, которые приобретали в ходе геосинклиналичного развития жесткость и устойчивость (см. рис. II.4). Таким образом, *площадь неподвижных участков земной коры увеличивалась, а подвижных — уменьшалась*. Эта закономерность характерна, по-видимому, для всего геологического времени (рис. IV.5).

**Палеозойская эра.** Эволюция органического мира в палеозое протекала более интенсивно, чем в докембрии. В *начале кембрийского времени* широко распространились организмы, имевшие

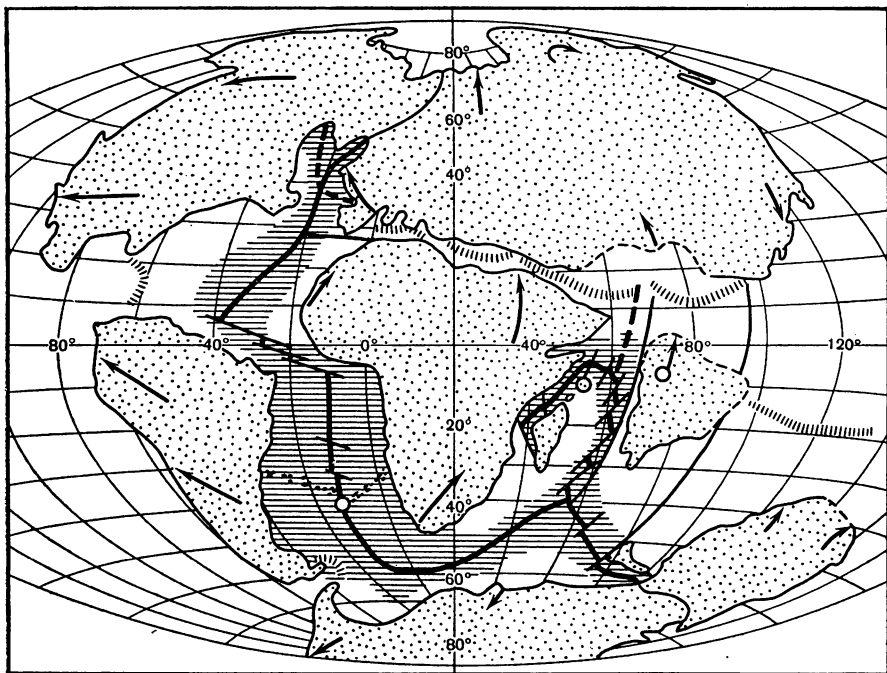


Рис. IV.4. Положение материков 65 млн. лет назад (по Р. Дицу и Дж. Холдену, 1974)

карбонатные скелеты. Их деятельность привела к изъятию из океана большого количества диоксида углерода. В целом, начиная с кембрия, животный мир океана стал развиваться очень быстро. В ордовике появились *первые представители позвоночных животных — панцирные рыбы*. В *силуре* растения и животные вышли на сушу. Выход организмов на сушу был, видимо, связан с достижением довольно высокой концентрации кислорода —  $1/10$  современного уровня. Образовавшийся озоновый экран защитил приповерхностные слои Земли от жесткого солнечного и космического излучений. Появление наземных растений привело к усилению фотосинтеза и возрастанию содержания кислорода.

Следовательно, *выход организмов на сушу был революцией в развитии органического мира и всей природы земной поверхности*. Большое разнообразие экологических условий на суше стимулировало биологическую эволюцию. Масса организмов резко возросла, усилились и биогеохимические круговороты.

В *девоне* господствующее место в растительном покрове заняли папоротники, хвощи, плауны, которые образовали в конце периода настоящие леса. В это же время возникла *довольно отчетливая дифференциация физико-географических условий*: с одной стороны, формировались лесные болота, с другой — аридные районы, где в лагунах шло соленакопление. В болотах накопление

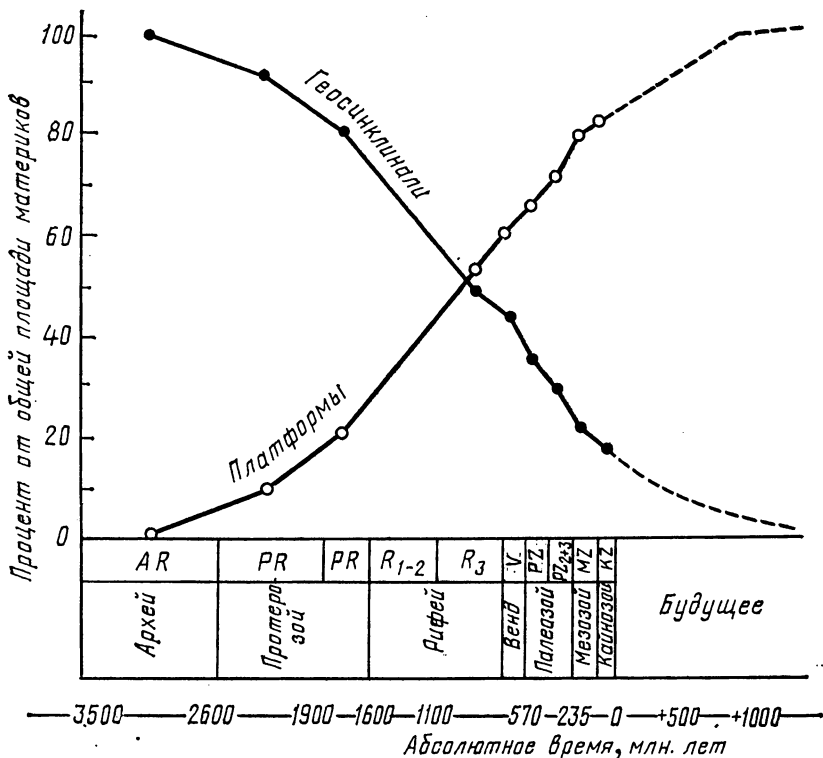


Рис. IV.5. Соотношение между платформами и геосинклиналями на протяжении геологической истории (по А. Б. Ронову, 1978)

мертвого органического вещества привело к формированию восстановительной среды. Таким образом, в девоне возникла окислительно-восстановительная контрастность географической оболочки<sup>1</sup>. Напомним, что на ранних этапах развития земной поверхности наблюдалась восстановительная среда, которая в середине протерозоя сменилась окислительной (см. рис. III.20).

В карбоне во многих районах северного полушария появилась пышная растительность из огромных плаунов, хвощей, папоротников. Пышное развитие растительности сопровождалось захоронением большого количества органических остатков, из которых впоследствии образовались такие месторождения каменного угля, как Донбасс, Рур, Верхняя Силезия, Караганда, Кузбасс и др. Содержание кислорода в атмосфере резко возросло (полагают, что оно превышало современный уровень). Все это способствовало интенсивному химическому выветриванию, формированию мощных кор выветривания, активному биогеохимическому круговороту.

В это же время южные материки были охвачены материковым

<sup>1</sup> См.: Перельман А. И. Геохимия ландшафта. М., 1975.

оледенением. Оно продолжалось и в *пермском периоде*. Пермокарбонное оледенение, очевидно, было связано с расположением материков южного полушария, сгруппировавшихся около южного полюса. Это обусловило сильное охлаждение земной поверхности.

Итак, в карбоне и перми физико-географические условия были очень контрастные: леса, напоминающие современные влажные тропические, материковые льды и примитивно-пустынные ландшафты. К. К. Марков (Палеогеография. М., 1960) считает, что *с карбона начала отчетливо проявляться географическая зональность*.

**Мезозойская эра.** В мезозое продолжались дифференциация и усложнение физико-географических условий земной поверхности. На рубеже палеозойской и мезозойской эр произошла резкая смена животного мира, вымерли многие амфибии и началось бурное развитие пресмыкающихся. Большие площади заняла хвойная растительность. В *юрском периоде* появились *покрытосеменные растения и птицы*. В *верхнем мелу* начинается господство *флоры покрытосеменных (цветковых) растений*. Они доминируют и в современную эпоху. Распространение покрытосеменных растений имело большое значение для развития природы земной поверхности. Благодаря биологическим преимуществам они быстро заселили поверхность материков.

В конце *мелового периода* гигантские пресмыкающиеся (бронтозавры, диплодоки, динозавры и др.) вымерли. Причины их вымирания неясны. Предполагают, что оно было вызвано сменой в мелу относительно мягкого и влажного климата, господствовавшего в юрском периоде, более континентальным. Произошла смена растительного покрова, составлявшего основу существования растительных ящеров. Вымирание последних привело к вымиранию и хищных ящеров. Господство в животном мире перешло к млекопитающим.

Важным событием в мезозое было формирование степей и саванн. Покрытосеменные растения заселили аридные районы, в которых до этого господствовали примитивно-пустынные ландшафты. В новых сообществах скорость биогеохимического круговорота резко возросла. Быстрая смена поколений (появление однолетних видов) создавала возможность ускоренной эволюции организмов.

**Кайнозойская эра.** Одно из важнейших событий кайнозойской эры — *альпийская складчатость, начавшаяся в палеогене* и захватившая большие площади *Альпийско-Гималайского и Тихоокеанского геосинклинальных поясов*. В *неогене* начался *неотектонический этап развития земной коры*. Он ознаменовался интенсивным поднятием материков. В *неогене* и *плейстоцене* высота суши в среднем увеличилась на 500 м. В геосинклинальных поясах произошло образование молодых гор; испытали поднятие и старые разрушенные горы — *Тянь-Шань, Урал, Аппалачи* и др. Площадь материков увеличивалась, площадь океанов уменьшалась. Одновременно глубина океанов возрастала, т. е. *рельеф Земли становился более контрастным*.

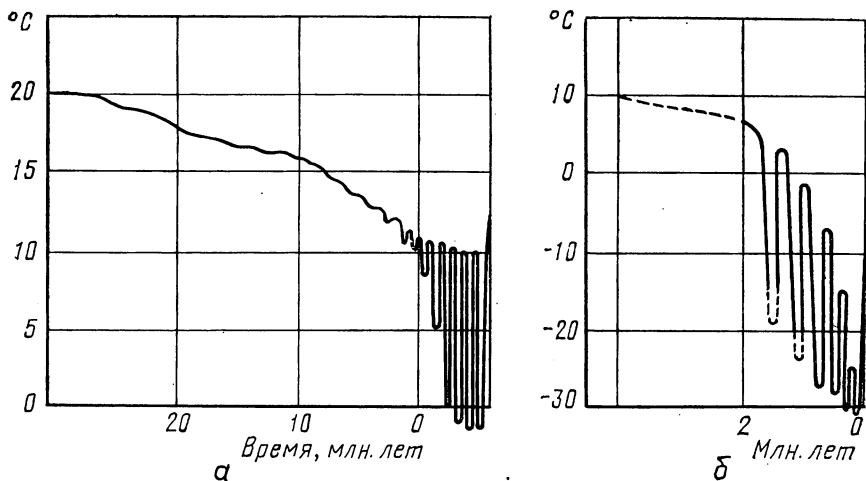


Рис. IV.6. Температурные кривые для конца палеогена, неогена и четвертичного периода:

*a* — среднегодовые температуры для Центральной Европы (по Woldstedt, 1954); *б* — зимние температуры для Восточной Европы (по А. А. Величко, 1973)

Рост площади и высоты материков способствовал охлаждению земной поверхности (рис. IV.6), так как суша, во-первых, больше отражает солнечных лучей и, во-вторых, над приподнятыми массивами суши уменьшаются толщина атмосферы, влажность воздуха и, следовательно, слабее проявляется парниковый эффект. Охлаждению Антарктиды, как уже говорилось, вероятно, способствовала изоляция в связи с формированием циркумполярного течения. Образовались полярные льды.

В Антарктиде ледниковый щит появился в середине миоцена. Об этом свидетельствуют возраст найденных тиллитов и данные об изменении уровня океана. Значительное понижение уровня океана началось именно с середины миоцена. Понижение уровня океана было связано с изъятием воды на образование ледниковых щитов. Понижение уровня океана означало дополнительное повышение суши на соответствующую высоту. Таким образом, возникла положительная обратная связь:

поднятие суши → охлаждение → возникновение ледников  
 → изъятие части воды из океана → поднятие суши

Увеличение площади суши привело и к ослаблению связей Северного Полярного бассейна с Атлантикой, что способствовало (наряду с общим похолоданием земной поверхности) охлаждению этого района и увеличению ледовитости. Затем ледники покрыли прилегающие части Северной Америки и Евразии. С появлением ледников в действие вступила еще одна положительная обратная связь:

охлаждение → появление ледников → увеличение альбедо → охлаждение

Объединив приведенную схему (она подобна изображенной на рис. III. 29) с предыдущей, получим систему вероятного взаимодействия факторов (рис. IV. 7), обладающую способностью саморазвития (в связи с наличием положительных обратных связей). В этой системе спусковым механизмом явилось поднятие суши, связанное, по-видимому, с процессами в недрах Земли. Однако система такого рода может начать функционировать и за счет другого первоначального толчка,

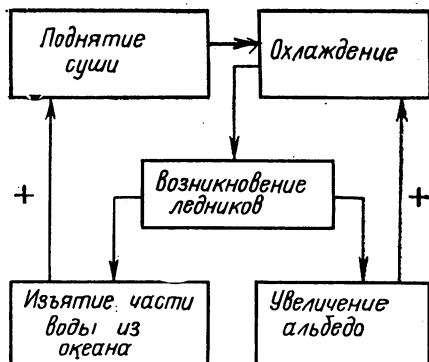


Рис. IV.7. Взаимодействие факторов при возникновении ледников

например, в связи с охлаждением, вызванным климатическими факторами, или уменьшением прозрачности атмосферы в эпоху интенсивного вулканизма. Разнообразные примеры развития и саморазвития ледниковых покровов приводят Ч. Брукс, М. В. Тронов, М. И. Будыко, А. А. Величко. Однако любая система с положительными обратными связями не может развиваться бесконечно. В действие вступают ограничители (или система разрушается вообще). В приведенном примере такими ограничителями являются уменьшение количества выпадающих осадков над ледником по мере увеличения его площади и предел роста мощности ледников, обусловленный текучестью льда. Таким образом, развитие полярного оледенения в неогене в значительной степени было связано с характером взаимодействия объектов географической оболочки, т. е. с ее структурой. Подробный анализ возможных воздействий различных природных и антропогенных факторов на полярные льды дается в гл. V.

В кайнозое продолжалась эволюция органического мира. В растительном мире полное господство перешло к покрытосеменным, в животном — к млекопитающим. Появление полярных ледниковых покровов, рост средней высоты и контрастности рельефа суши, похолодание и увеличение сухости климата внетропических широт привели к усилению дифференциации физико-географических условий<sup>1</sup>. Около ледниковых щитов образовалась перигляциальная (от греч. περί — около и лат. glacies — лед) зона с холодным сухим климатом и господством тундрово-степной растительности. На больших пространствах умеренного и субтропического поясов формировались степные и пустынные зоны. Вероятно, к концу плиоцена горы достигли снеговой линии. Сформировалась система высотных зон. Шло приспособление растительного и животного мира к новым условиям. Появились альпийские и арктические

<sup>1</sup> См.: Марков К. К., Лазуков Г. И., Николаев В. А.: Четвертичный период, М., 1965, т. 1 и 2; Марков К. К., Величко А. А., Лазуков Г. И., Николаев В. А. Плейстоцен. М., 1968.

*растения.* Наиболее значительные изменения наблюдались в полярных и умеренных широтах. Таким образом, в кайнозойскую эру произошли очень большие изменения природы земной поверхности. Географическая оболочка приобретала современный облик.

#### IV.6. РАЗВИТИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ В ЧЕТВЕРТИЧНОМ (АНТРОПОГЕНОВОМ) ПЕРИОДЕ

*Четвертичный период* охватывает последние полтора-два миллиона лет жизни Земли (разные авторы оценивают возраст периода от 0,6 до 3,5 млн. лет) и включает две эпохи — *плейстоцен* и *голоцен*. Изучение палеогеографии четвертичного периода в большой степени связано с именем советского ученого К. К. Маркова. В течение этого периода облик земной поверхности приобрел современный вид. События четвертичного периода отражены в характере составных частей географической оболочки.

В *плейстоцене* усилилось похолодание земной поверхности. Одновременно возникло новое явление — *резкие колебания климата и массы ледников* (см. рис. III.26, IV.6). Отрезки времени, в которые ледники захватывали большие площади, получили название *ледниковых эпох*. Они разделялись *межледниковыми эпохами*. *Современная эпоха — голоцен*, наступившая примерно 10 тыс. лет назад, соответствует *последнему ледниковому этапу* и, вероятно, является очередным межледниковьем.

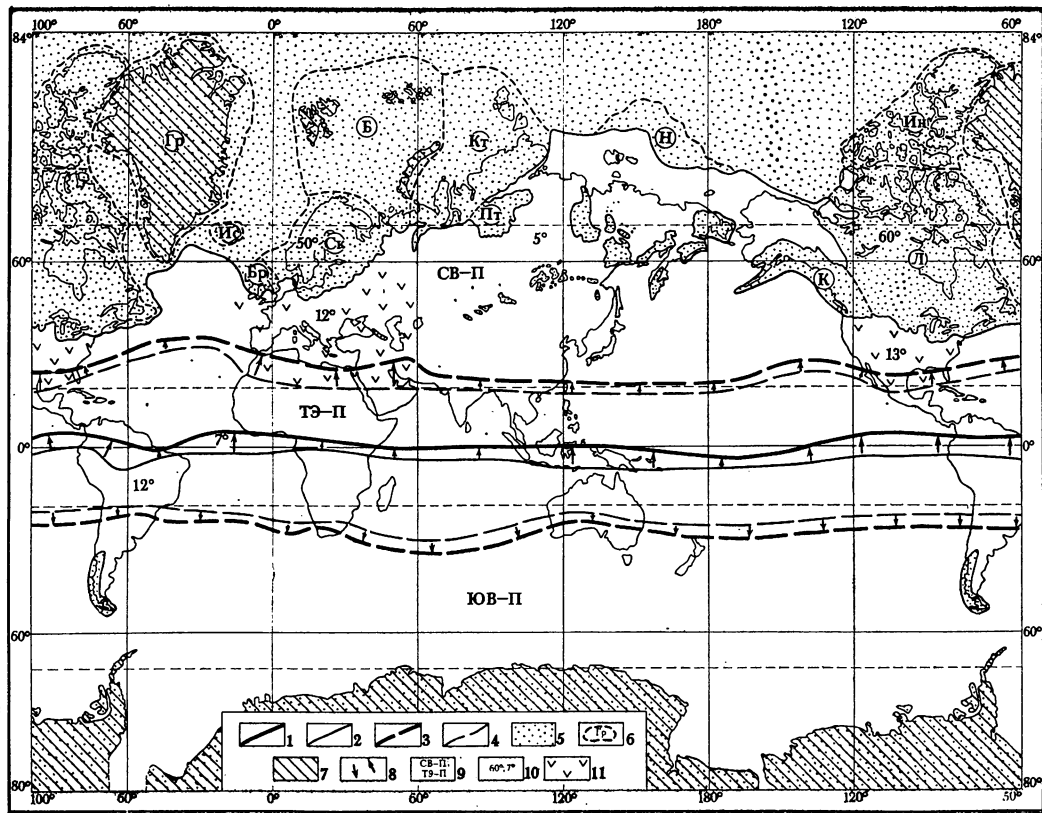
Как правило, выделяют четыре оледенения: по альпийской шкале — гюнцское, миндельское, рисское и вюрмское, по восточноевропейской — окское, днепровское, московское и валдайское. Распространение ледниковых покровов устанавливают по распространению форм ледникового рельефа. На равнинах — это преимущественно моренные формы. На Восточно-Европейской равнине моренные отложения встречаются в ее северной половине. Языки максимального (днепровского) оледенения доходили до 49° с. ш. В Северной Америке оледенение проявилось сильнее. Там ледниковые покровы смещались на юг в некоторых районах до 37° с. ш. Максимальное распространение льдов в Северном полушарии показано на рис. IV.8. Площадь льдов на материках составляла 45 млн. км<sup>2</sup> (30 % площади суши), что почти втрое превышает площадь современного оледенения. Ледовый покров океана занимал 25 млн. км<sup>2</sup>. В целом льдом было покрыто около 14 % поверхности Земли.

Чередование ледниковых эпох и межледниковий приводило к смене систем географических зон. Во время межледниковых эпох структура зон напоминала современную, во время наступлений ледников во внутритропическом пространстве формировалась единая (с внутренними широтными и меридиональными различиями) зона с холодным и сухим климатом и тундрово-степной растительностью<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> См.: *Величко А. А.* Природный процесс в плейстоцене. М., 1973.

Рис. IV.8. Палеогеография в эпоху максимального оледенения Земли в плейстоцене (по К. К. Маркову, 1973):

1 — современный экватор, 2 — экватор в эпоху наибольшего похолодания, 3 — современные границы тропико-экваториального пространства, 4 — границы тропико-экваториального пространства в эпоху наибольшего похолодания, 5, 6 — древние ледниковые щиты, 7 — древние сохранившиеся ледниковые щиты; 8 — смещение границ, 9 — тропико-экваториальное пространство (ТЭП), северное внетропическое пространство (СВП), южное внетропическое пространство (ЮВП), 10 — величина потепления после максимального похолодания, 11 — области разрушения древних географических поясов после максимального похолодания





Резкие колебания природных условий, характерные для четвертичного периода, неизвестны в более ранние геологические времена. Были многочисленные попытки объяснить колебательный характер климата и ледников. Одно из наиболее обоснованных объяснений этого явления дали В. Я. и С. Я. Сергины (см. III. 3).

Многократные изменения климата приводили к частым миграциям растительности и животных, к вымиранию одних видов и появлению новых. Миграции способствовала возникшая сухопутная связь Азии с Северной Америкой и Австралией в связи с понижением уровня океана (обнажился шельф).

Наиболее примечательный факт в развитии природы последних миллионов лет — *появление человека*. Процесс формирования современного человека шел постепенно. Человек относится к семейству гоминид (сейчас человек — единственный вид этого семейства). Еще в олигоцене произошла дифференциация семейств обезьян и гоминид<sup>1</sup>. Самый ранний известный представитель гоминид — *миоценовый рамапитек*. Его останки были найдены в Восточной Африке, Южной и Восточной Азии. Следующее эволюционное звено — *плиоценовый австралопитек*, находки которого датируются временем от 5 до 1,75 млн. лет. Это были предшественники людей.

В плейстоцене появились *архантропы* (*питекантропы*, *синантропы* и др.), принадлежащие уже к роду человека. Они использовали грубые каменные орудия. Древнейший период в развитии человечества, в который орудия и оружие изготовлялись из камня, дерева и кости, называется *каменным веком*. Он продолжался весь плейстоцен и захватил часть голоцена. Каменные орудия совершенствовались, одновременно происходило совершенствование биологической природы человека; 350—25 тыс. лет назад жили *палеоантропы* (*неандертальцы*) с объемом мозга, как у современных людей.

В первый период своего существования человек фактически был одним из компонентов биоценоза (биосферы). Вследствие своей малочисленности люди оказывали слабое воздействие на природные процессы. На ранних этапах развития человек занимался собиранием растительной пищи, охотился на животных, т. е. по формам взаимоотношения с окружающей средой он не отличался от животных.

Очень важное значение имело овладение человека огнем. Резко возросли масштабы его воздействия на природу. На рубеже среднего и позднего палеолита (палеолит — древнейшая эпоха каменного века; соответствует плейстоцену) — 30—40 тыс. лет назад — появились *кроманьонцы* — люди, морфологически близкие современному человеку. Возникает первая общественно-экономическая формация — первобытно-общинный строй. С этого времени ведущее место в способах взаимоотношений человека с природой занимают социальные законы.

<sup>1</sup> См.: *Флинт Р. Ф.* История Земли. М., 1978.

Постепенно способы хозяйствования усложняются: к собиранию растений и охоте на крупных животных добавились строительство жилищ, использование собак, изготовление одежды, рыбная ловля и др.

В голоцене примерно 7000 лет назад каменный век сменился *бронзовым*. В это время широко распространяются разведение домашнего скота и земледелие. Оба эти способа хозяйствования оказали исключительно сильное влияние на природную среду. Обычно применялось подсечно-огневое земледелие, при котором лес выжигался для создания на его месте пашни. В течение нескольких лет после этого поле давало богатые урожаи, а затем его производительность падала. После этого участок забрасывался на 15—20 лет.

В *железном веке* (его начало совпадает с началом исторического этапа развития общества) возникают разнообразные ремесла, связанные с использованием железа, развивается техника, усиливается разделение труда. Первобытно-общинный строй во многих странах заменяется классовым обществом. Быстро растет численность населения: к началу новой эры население мира составляло примерно 200 млн. человек (в неолите было примерно 10 млн. человек). Чисто биологическая эволюция человека перестала быть главной. Ведущее значение приобрела *социальная эволюция*, связанная с развитием общественных отношений, техники, культуры и науки. Непосредственная зависимость человека от стихийных сил природы уменьшалась.

Воздействие человека на природу вследствие прогресса техники и роста численности населения постепенно приводило к значительной перестройке природных ландшафтов. Площадь лесов сокращалась. На их месте возникали пашни, луга, пастбища. Особенно возросло влияние человека на природу земной поверхности в XVIII—XIX вв. в связи с развитием промышленности и переходом к новой общественно-экономической формации — капитализму. В XX в. сила воздействия человека на природную среду стала сопоставимой с воздействием естественных факторов. Это дало основание нашему выдающемуся соотечественнику академику В. И. Вернадскому сказать, что *человек превратился в мощную геологическую силу*.

#### IV.7. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ ПРИРОДЫ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Краткий анализ событий, происшедших на земной поверхности за геологическое время, позволяет выявить прежде всего *главную закономерность* — *на протяжении геологической истории наблюдалось направленное необратимое изменение географической оболочки*. Оно выражается в качественном преобразовании ее составных частей (компонентов, геосфер, природных комплексов и др.), в переходе от более простых систем к более сложным: абиогенный этап — биогенный этап — культурный (антропогенный)

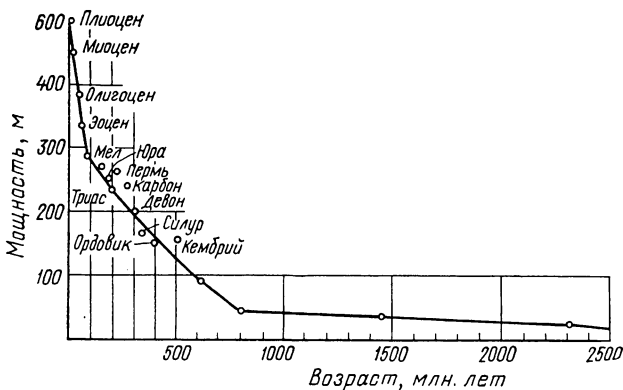


Рис. IV.9. Возрастание скорости осадконакопления в течение геологической истории (по Л. И. Салопу, 1974)

этап; примитивно-пустынные ландшафты — лесные ландшафты и т. д.

Особенно ярко направленные изменения проявились в органическом мире. В течение геологической истории шла эволюция организмов от простейших ко все более сложным, которая завершилась на данном этапе появлением человека. Эволюция характерна и для биоценологических систем: наблюдается усложнение форм взаимодействия их между собой и с окружающей средой.

Направленные изменения характерны также для земной коры и рельефа. В течение геологической истории увеличиваются площади платформ, а площади геосинклиналей сокращаются (см. рис. IV.5). Растет мощность осадочной оболочки и накопление в ней биогенных пород, усиливается контрастность рельефа — увеличивается высота материков и глубина океанических впадин. *Географическая оболочка в целом становится все более контрастной, разнообразной и сложной.*

Изменения в географической оболочке идут не монотонно: периоды быстрых изменений сменяются периодами медленных, и наоборот. Примером первых может служить плейстоцен. Для многих явлений характерна *периодичность*, поэтому направленные развитие в сочетании с периодичностью приобретает *циклически-направленную* форму. Некоторым явлениям свойственно *ускорение развития* в ходе геологической истории. Определено возрастание скорости осадконакопления (см. рис. IV.9), связанное с усилением геоморфологической расчлененности земной поверхности и интенсивности выветривания. Ускорение развития характерно для многих ветвей биологической эволюции и организации биосферы в целом.

К. К. Марков показал, что в плейстоцене природа земной поверхности развивалась *метахронно* (неодинаково в различных час-

тях)<sup>1</sup>. Природные районы географической оболочки достигли в этом периоде большой индивидуальности, вследствие чего стали на некоторые воздействия реагировать по-разному (например, в одних районах в плейстоцене климат становился холоднее и суше, в других — холоднее и влажнее). Можно полагать, что на ранних этапах развития земной поверхности метакхронность проявлялась слабее из-за простой структуры географической оболочки. С ростом сложности природной среды росла относительная самостоятельность частей географической оболочки, выражавшаяся, в частности, в индивидуальных реакциях на внешние воздействия и в индивидуальных особенностях саморазвития.

В заключение рассмотрим вопрос *об источниках развития географической оболочки*. Внешние силы — солнечная радиация, тектонические процессы и др. — не могли вызвать прогрессивные преобразования природы земной поверхности, поскольку в их изменениях нет направленности, которая характерна для развития географической оболочки. Однако внешние силы — необходимое условие существования географической оболочки, так как определяют общий природный фон, достаточно благоприятный для функционирования разнообразных геосистем.

Содержание развития географической оболочки *определяется ее собственной организацией*, главная особенность которой — наличие достаточно сходных и в то же время гетерогенных систем — *геокомпонентов*. Относительное сходство систем определяет их взаимодействие (обмен веществом и энергией, взаимопроникновение и др.), а различия — прочность и устойчивость связей (контрастные среды взаимодействуют сильнее).

Образование систем (горных пород, воздуха, воды, ставших компонентами географической оболочки) произошло вследствие гравитационной и физико-химической дифференциации Земли. Взаимодействие геокомпонентов означало возникновение физико-географического взаимодействия. После этого главное направление развития приповерхностной оболочки Земли определялось законами ее организации. Хотя дифференциация недр планеты продолжалась, она не определяла главное содержание развития. На достаточно высоком уровне развития географической оболочки возникла жизнь. Она развивается по собственным законам, одновременно способствуя развитию геосистем и оболочки в целом.

Следовательно, *географическая оболочка* — система взаимодействующих тел на земной поверхности — *обладает способностью саморазвития*.

### Вопросы и задания для самостоятельной работы

1. Что такое развитие географической оболочки?
2. Перечислите геологические эры и их основные подразделения.
3. Каков возраст Земли? Как определяют возраст Земли и горных пород?

<sup>1</sup> См.: Марков К. К., Величко А. А., Лазуков Г. И., Николаев В. А. Плейстоцен. М., 1968.

4. Каким был предположительно состав геосфер до возникновения жизни? Почему можно предполагать, что первичный океан был соленым?

5. В каком направлении в течение геологической истории изменялся состав пород земной коры? Какие факторы привели к появлению осадочных пород на земной поверхности?

6. Как изменялось соотношение площадей материков и океанов на протяжении геологической истории?

7. Какие существуют гипотезы о происхождении материков и океанов?

8. Когда возникла жизнь на Земле?

9. Перечислите главные события палеозойской эры.

10. Перечислите главные события мезозойской эры.

11. Перечислите основные события палеогена и неогена.

12. Что привело к оледенению Антарктиды в миоцене? Как оно повлияло на природную обстановку?

13. Каковы отличительные особенности четвертичного периода?

14. Почему человечество считают новой геологической силой?

*Задания для реферата*

15. Когда появились первые автотрофные организмы? Какова их планетарная роль?

16. Перечислите и объясните основные закономерности развития природы земной поверхности.

## Глава V

### ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ ГЛОБАЛЬНЫМИ ГЕОГРАФИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

#### В.1. АНТРОПОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ

**Воздействие на потоки вещества, состав и строение геосфер.** Суммарное воздействие человека на природную среду к середине нашего столетия по значению стало сравнимо с планетарными природными процессами. Особенно наглядно это можно продемонстрировать, сравнив природные круговороты веществ и круговороты веществ, вовлеченных в хозяйственные циклы.

Ежегодно для хозяйственно-бытовых нужд забирается 10 % речного стока (около 3,5 тыс. км<sup>3</sup> воды), перемещается при пахоте 3 тыс. км<sup>3</sup> почвы, извлекается из земной коры около 100 млрд. т руд и строительных материалов (к 2000 г. суммарная добыча их достигнет 600 млрд. т), перемещаются сотни миллиардов тонн грунта при строительных и вскрышных работах, рассеивается на полях около 300 млн. т минеральных удобрений, 4 млн. т ядов — пестицидов и гербицидов. В атмосферу выбрасывается около 1 млрд. т сажи и вредных веществ<sup>1</sup>. Масса вещества, ежегодно перемещаемая в ходе производственной деятельности, составляет не менее  $2 \cdot 10^{13}$  т. Деятельность человека превзошла результаты воздействия на поверхность суши экзогенных рельефообразующих сил.

Кроме механического воздействия существенно химическое (геохимическое) преобразование географической оболочки человеком. Добытые химические элементы (например, металлы) рассеиваются по земной поверхности, окисляются, мигрируют, аккумулируются в благоприятных для этого условиях. Происходит нарас-

<sup>1</sup> См.: Рябчиков А. М. Структура и динамика геосферы. М., 1972, с. 156.

тающее «ожелезнение» почвы. В наиболее обжитой части Земли, по данным В. В. Добровольского, в 1980 г. каждый квадратный километр поверхности получил  $\sim 270$  т железа, причем в XX в. ежегодно содержание железа на  $1 \text{ км}^2$  поверхности увеличивается на 6 т. Из данных табл. V.1 видно, что техногенная миграция свинца и меди значительно превосходит естественную, миграция цинка и марганца приближается к естественной.

При сжигании угля в окружающую среду поступает ртути в 700 раз, мышьяка в 125, урана в 60, кадмия в 40 раз больше, чем их содержится в природных биологических круговоротах.

Одна из главных статей вещественного баланса, связанная с деятельностью человека, — *воздействие на поверхностные воды суши* (речной сток). Ежегодно мировое производство химически связывает около 100 млн.  $\text{м}^3$  воды, что сопоставимо с поступлением ювенильной воды (выделяющейся из вещества мантии) из недр.

Таблица V. 1. Водная, биогенная и техногенная миграции металлов на суше (по Добровольскому, 1980)

Металлы	Показатель миграции металлов, г/(га·год)		
	вынос водами рек	захват приростом растительности	промышленная добыча
Железо	1570	5160	20 800
Алюминий	118	7220	410
Марганец	24	3870	403
Цинк	47	464	260
Медь	12	103	360
Свинец	2	5	120

В некоторых странах уже используется до половины и более речного стока. Воды, поступающие в природные бассейны после хозяйственного цикла (сточные воды), обычно сильно загрязнены. Они разбавляются и используются повторно. В промышленно развитых странах такая вода используется неоднократно.

Наряду с *химическим загрязнением* имеет место *тепловое загрязнение вод*, связанное с их использованием для охлаждения агрегатов тепловых установок (в особенности ТЭС, АЭС и т. д.). По действующим в нашей стране нормам, нагрев воды в поверхностных водоемах не должен превышать зимой 5, летом 3 °С, что соответствует мировым стандартам. Более значительное повышение температуры оказывает губительное воздействие на биоту и процессы самоочищения вод (уменьшение содержания кислорода и др.), окислительная обстановка, характерная для проточных природных вод, сменяется восстановительной.

Естественный сток рек по территории суши распределяется неравномерно. Размещение объектов народного хозяйства только косвенно соответствует размещению водных источников (производство всегда тяготеет к воде), поэтому развитие энергетики и материального производства вызывает *необходимость перераспреде-*

ния стока путем переброски вод из одних бассейнов в другие. Мероприятия такого рода предусмотрены и в нашей стране с целью восполнения отрицательного баланса вод, который ожидается в промышленно развитых районах Центра и Юга европейской территории СССР, а также в бассейнах Каспийского и Аральского морей.

Таблица V.2. Уменьшение притока поверхностных вод во внутренние моря СССР под влиянием хозяйственной деятельности (по К. П. Воскресенскому и др., 1974)

Море	Норма естественного притока, км <sup>3</sup> /год	Снижение притока воды					
		1970		1981—1985		1991—2000	
		км <sup>3</sup> /год	%	км <sup>3</sup> /год	%	км <sup>3</sup> /год	%
Каспийское	300	22	7	44	15	74	25
Аральское	54	9	17	30	56	51	94
Азовское	41	8	19	14	34	21	51

Из данных табл. V.2 видно, что в связи с уменьшением притока поверхностных вод, используемых на нужды народного хозяйства, в Аральское море к 2000 г. почти не будет притока, Азовское море превратится в солонатоводный залив Черного моря, а Каспийское море будет прогрессивно мелеть. Очевидна необходимость переброски вод Арктического бассейна в южные моря.

В учебнике невозможно полностью осветить характер изменений вещественных потоков и круговоротов, происходящих в окружающей среде под воздействием антропогенной деятельности. Основной современный способ «экологизации» производства — строительство очистных сооружений — экономически и экологически не решает проблемы сохранения окружающей среды, поэтому большое внимание учеными и инженерами уделяется коренной перестройке принципов материального производства, разработке систем замкнутых циклов, в которых побочные продукты одного производства служат сырьем для другого и т. д. Системы безотходной технологии моделируют пищевые цепи в природе, в которых ничто не пропадает: продукты жизнедеятельности одного организма служат питанием для другого до полного их исчерпания. В природе «замкнутый цикл безотходной технологии» осуществляется за счет многообразия видов организмов и их пластичного сочетания с условиями среды. Видимо, идея энергопроизводственных циклов, которая обсуждается в экономической географии и экономике, в конечном итоге позволит приблизиться к подобной структуре материального производства.

Прогнозы развития энергетики и ее влияние на окружающую среду. В 1973 г. производство энергии в мире составило 2,43X

$\times 10^{17}$  Дж, что на несколько порядков меньше поступающей энергии солнечной радиации. Данные прогнозов на 100 лет вперед позволяют предположить, что эта величина возрастет на порядок и может достичь 0,1 % суммарной энергии солнечной радиации<sup>1</sup>. В мировом масштабе это увеличение небольшое, однако в отдельных районах оно может оказаться значительным. Например, в Японии, по подсчетам, выброс теплоты может составить более 2 % солнечной тепловой энергии, в Западной Европе превысит 0,5 %, а в отдельных районах сравнится или даже превысит ее естественный приток (табл. V.3).

Модельные расчеты показывают, что при равномерном распределении этой теплоты по земной поверхности средняя температура тропосферы возрастет на 0,6 °С, а в широтах выше 50°, возможно, — на 2—3 °С.

Таблица V.3. Потребление энергии в крупных промышленных центрах мира

Район	Площадь, $\times 10^3$ км <sup>2</sup>	Средняя плотность мощности потребляемой энергии, $\cdot 10^{-4}$ Вт/см <sup>2</sup>	Средняя интенсивность поступающей солнечной радиации, $\cdot 10^{-4}$ Вт/см <sup>2</sup>	Отношение потребления энергии к поступлению
Северный Рейн-Вестфалия в том числе Рурская ин- дустриальная область	34	4,2	50	0,09
Западный Берлин	10,3	10,3	»	0,20
Цинцинати (США)	0,2	21,5	58	0,30
Лос-Анджелес	0,2	26,5	100	0,25
Нью-Йорк, Манхэттан	3,5	21,2	109	0,20
Фэрбенкс (Аляска)	0,06	630	94	6,70
	0,04	19	18	1,10

В настоящее время в высокоразвитых странах производство энергии на 2 порядка выше в расчете на единицу площади, чем в развивающихся странах. Прогресс в развивающихся странах способствует повышению плотности мощности потока энергии и с их территорий. Считают, что главной проблемой в рамках энергетической проблемы является использование энергии для производства продовольствия.

Расчеты свидетельствуют о том, что для обеспечения питанием населения Земли до уровня 3000 кал/сут<sup>2</sup>, что рассматривается ООН как первоочередная задача, необходимо выделить для сельскохозяйственных нужд 80 % всей энергии, производимой в настоящее время. В таких странах, как Индия, общее производство энергии явно недостаточно для того, чтобы обеспечить потребности даже одного сельского хозяйства.

<sup>1</sup> См.: Энергия и климат. — Сб. статей. Пер. с англ. под ред. Г. В. Груза, С. С. Хмелевцова. Л., 1981, с. 12.

<sup>2</sup> В специальной литературе общепринято ценность пищевого рациона выражать внесистемными единицами — кал/сут; 1 кал/сут = 4,18 Дж/сут.



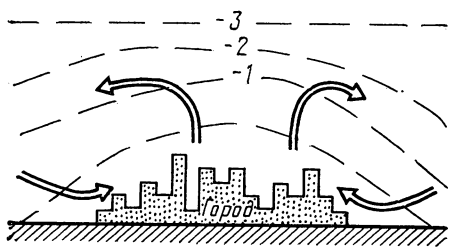


Рис. V.1. «Остров теплоты» над городом.

Показаны изотермы и линии токов воздуха

Таким образом очевидно, что для решения продовольственной проблемы — самой острой и актуальной из мировых проблем современности — необходимо решить проблему резкого увеличения производства энергии. Однако увеличение производства энергии сопряжено с определенными неблагоприятными экологическими последствиями и прежде всего с

тепловым загрязнением окружающей среды. Выделение теплоты — конечная стадия преобразования энергии в географической оболочке, после чего происходит ее рассеяние (обесценивание с точки зрения человечества), способствующее увеличению антропогенного потока тепла. Кроме того, сам процесс производства энергии связан с определенными теплотерями, которые в целом в несколько раз превышают полезную часть энергии. Они еще более усиливают эффект теплового загрязнения. Первый вид загрязнения не зависит от способа получения энергии, следовательно, будет расти в последующем прогрессивно. Второй — определяется коэффициентом полезного действия тепловых двигателей и способами охлаждения реакторов нетепловых установок, поэтому поддается регулированию. Например, в установках по использованию солнечной энергии, энергии ветра и других природных источников побочное выделение теплоты значительно меньше, чем в тепловых двигателях.

Локальное значение для климата концентрации тепловой энергии общеизвестно. На территории и в окрестностях крупных городских агломераций и отдельных городов меняется ряд параметров состояния атмосферы: от облачного покрова и температуры воздуха до повторяемости грозных ливней. Известно возникновение термической циркуляции воздуха вблизи «островов теплоты», где температура на 1—4 °C выше равновесной естественной. На рис. V.1 пунктиром показано положение изотермических поверхностей в произвольном сечении «острова теплоты».

Считается, что в целом тепловое загрязнение вряд ли окажет существенное влияние на глобальный климат в ближайшее столетие. Однако наряду с прямым возникает множество *косвенных непреднамеренных воздействий*, роль которых в целом существеннее, чем прямых, так как некоторые из них имеют характер управления. К такому роду воздействий в первую очередь относится увеличение содержания в атмосфере диоксида углерода. Наблюдения за изменением его концентрации в атмосфере, расчеты советских и зарубежных ученых показывают, что содержание  $\text{CO}_2$  увеличивается в атмосфере даже над территориями, значительно удаленными от промышленных районов (например, на Гавайских островах, в Антарктиде и т. д.). За прошедшие 15 лет это увеличение составило 15 %, в то время как за 100 лет оно предположительно возросло на

20 %. Предполагается, что к 2000 г. содержание  $\text{CO}_2$  может увеличиться по сравнению с 1970 г. на 14 %, к середине XXI в. удвоится и утроится к его концу. В дальнейшем возможна стабилизация этого процесса за счет регулирующего действия растительности и изменения характера осадкоаккумуляции в океане.

По расчетам М. И. Будыко (1977), увеличение содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере Земли в 2 раза может привести к повышению глобальной температуры на  $3^\circ\text{C}$ . По заключению комиссии Национальной Академии наук США, увеличение концентрации  $\text{CO}_2$ , предполагаемое к 2150—2200 гг., может привести к повышению средней температуры на земной поверхности более чем на  $6^\circ\text{C}$ , а это сравнимо с разницей температур между настоящим более холодным климатом и теплым мезозойским климатом.

Не весь диоксид углерода, выделяющийся в атмосферу, сохраняется в ней. Некоторая часть  $\text{CO}_2$  используется в процессе фотосинтеза для производства зелеными растениями органического вещества, другая часть связывается химически и захороняется в известняках на дне морей. Однако эти процессы, в свою очередь, зависят от изменения температуры. В частности, процесс фотосинтеза усиливается, а поглощение  $\text{CO}_2$  в океане замедляется в поверхностном слое океана, так как растворимость газа с повышением температуры воды падает. Зато в придонном слое при повышении температуры процесс образования известкового ила усиливается.

Снижению поглощения океаном  $\text{CO}_2$  способствует загрязнение его поверхности нефтяной пленкой, которая затрудняет газообмен между океаном и атмосферой.

В работах ряда авторов обращается внимание и на то, что в настоящее время около  $1/4$  кислорода, который высвобождается в процессе фотосинтеза, расходуется на окисление органического топлива. По данным А. И. Перельмана, к концу нынешнего тысячелетия расход кислорода на сжигание топлива и другие нужды может сравняться с его приходом за счет фотосинтеза. Так как часть кислорода тратится на природные процессы, может возникнуть отрицательный баланс кислорода в атмосфере.

Трехатомный кислород — озон — образуется при фотохимических реакциях в атмосфере и в то же время разлагается при взаимодействии с некоторыми веществами антропогенной природы. Суммарный эффект этих противоположно направленных процессов отрицательный. К 2000 г. ожидается уменьшение содержания озона на 3—13 % по сравнению с 1975 г. Последнее может привести к увеличению прозрачности атмосферы, в особенности для УКВ-радиации, что повлияет на условия жизни организмов.

Развитие энергетики приводит и к значительным *косвенным воздействиям на гидросферу*. Создание водохранилищ, используемых для выравнивания речного стока и бесперебойного обеспечения ГЭС и ТЭС водой, приводит к отчуждению значительных площадей земель. Суммарная площадь только крупных водохранилищ мира составляет около 180 тыс. км<sup>2</sup>, т. е. более 0,1 % суши, а объем вод

достигает 5 тыс. км<sup>3</sup>. К 2000 г. он может составить 12 тыс. км<sup>3</sup>, т. е. 15% годового стока рек.

Создание водохранилищ сильно изменяет режим стока, эрозионную способность рек, препятствует миграции проходных рыб, воздействует на уровень грунтовых вод. Как показали исследования советских географов (С. Л. Вендров, К. Н. Дьяконов и др., 1977), это приводит к коренным преобразованиям ландшафта окружающей территории.

Воды водохранилищ используются на орошение сельскохозяйственных земель. В некоторых случаях забор воды для орошения производится непосредственно из рек. Это также приводит к нежелательным последствиям. Например, уменьшение стока Амударьи ставит под угрозу существование Аральского моря. Орошение земель приводит к увеличению испарения.

Таблица V.4. Снижение годового стока некоторых рек под влиянием хозяйственной деятельности (по К. П. Воскресенскому и др. с уточнениями, 1974)

Реки	Сток в устье, км <sup>3</sup> /год	Снижение годового стока			
		1981—1986 гг.		1991—2000 гг.	
		км <sup>3</sup> /год	%	км <sup>3</sup> /год	%
Волга	239	25	10,5	36	15,1
Дон	27,9	8,5	30,4	12,6	45,2
Кубань	11,1	5,2	46,8	8,0	72,1
Днепр	53,5	13,8	25,8	18,0	33,6
Амударья	41,0	24,0	59	39	95,0
Сырдарья	13,0	6,0	46	12	92,0

**Воздействие на структуру земельного фонда географической оболочки.** Структура географической оболочки, сложившаяся за длительную историю развития, испытывает значительные и быстрые кратковременные изменения, вызываемые хозяйственной деятельностью. Это прежде всего касается земельного фонда планеты (табл. V. 5).

Таблица V.5. Земельный фонд планеты (по А. М. Рябчикову, 1969)

Категория земель	Площадь, млн. км <sup>2</sup>	Процент от площади суши
Леса и лесопосадки	40,3	27,0
Естественные луга и травянисто-кустарниковые пастбища	28,5	19,0
Земледельческая площадь	19,0	13,0
Неорошаемые аридные пустыни, скалы, прибрежные пески	18,2	12,2
Ледники	16,3	11,0
Тундры и лесотундры	7,0	4,7
Полярные и высокогорные субнивальные пустыни	5,0	3,3
Антропогенный бедленд	4,5	3,0
Болота (вне тундр)	4,0	2,7
Озера, реки, водохранилища	3,2	2,2
Земли промышленного и городского назначения	3,0	2,0

Все виды воздействий хозяйственной деятельности на природную среду можно объединить в четыре типа:

*Преднамеренное воздействие*, которое происходит в процессе материального производства с целью удовлетворения определенных потребностей общества. Оно связано с расходом природных ресурсов: топлива для производства энергии, железной руды для выплавки железа, стали, производства проката и т. д. К преднамеренным воздействиям относится строительство гидроэлектростанций для нужд энергетики и орошения, вырубка леса для деревообрабатывающей промышленности или с целью расширения сельскохозяйственных площадей и т. д. Преднамеренные воздействия — объект экономики: они планируются, финансируются, контролируются, нормируются и т. д.

*Непреднамеренное воздействие* — побочный эффект преднамеренного. При производстве энергии выделяются сажа, газы (диоксид углерода, сернистый ангидрид, водяной пар). Строительство ГЭС сопряжено с образованием искусственного водоема, который влияет на окружающую среду через гидротермические факторы: вызывает повышение уровня грунтовых вод, обуславливающее подтопление, меняет гидрологический режим рек и т. д. Ранее непреднамеренные воздействия не учитывали вообще, так как они обычно касались побочных по отношению к «главной» (оказывающей преднамеренное воздействие) области экономики. В связи с обострением экологической проблемы и законодательными ограничениями наблюдается стремление минимизировать непреднамеренные воздействия или хотя бы учитывать возможность их возникновения. Из-за сложных связей в природе такие попытки часто оказываются мало успешными. Главная причина этого — недостаточное знание механизма автоматического регулирования и управления в природе. Изучение побочных (непреднамеренных) воздействий — одна из важных задач географии и, в частности, географического прогнозирования.

Как преднамеренные, так и непреднамеренные воздействия могут быть прямыми и косвенными, или опосредованными. *Прямые воздействия* имеют место в случае непосредственного воздействия хозяйственной деятельности, хозяйственного механизма на среду. В качестве примера рассмотрим один из видов мелиорации земель — орошение. Оно непосредственно воздействует на почву, увлажняя ее. Наряду с увлажнением почвы изменяются условия жизни растений: увлажняется и охлаждается воздух, становится более влажной почва, следовательно, меняются процессы жизнедеятельности растений. Изменения происходят *опосредованно* — через цепочки взаимосвязанных воздействий и называются *косвенными*.

Преднамеренные и непреднамеренные, прямые и косвенные воздействия взаимно сочетаются, образуя четыре типа комбинированных воздействий:

1. *Преднамеренные прямые воздействия*. Большая часть их — влияние хозяйственной деятельности, планируемой, проектируемой и осуществляемой отраслями народного хозяйства.

2. *Непреднамеренные прямые воздействия.* Они возникают побочно с первым типом воздействий. Так, чтобы добывать руду открытым способом, необходимо понизить уровень подземных вод вокруг карьера, иначе вода зальет его. Откачка вод и сброс их в водоемы меняют режим водоемов. Если воды токсичны, это приводит к угнетению и гибели гидробионтов. Это воздействие прямое, но не преднамеренное.

3. *Преднамеренные косвенные воздействия.* Они служат средством достижения определенных народнохозяйственных результатов путем опосредованного воздействия. Выбор предшественников сельскохозяйственных культур в севообороте — косвенное преднамеренное воздействие на урожайность этих культур, равноценное (в определенной мере) непосредственному воздействию на растения с помощью, например, удобрений. Ниже мы будем рассматривать примеры таких воздействий глобального масштаба (регулирование теплового баланса, растопление льдов Арктики и др.). В масштабах географической оболочки преднамеренные косвенные воздействия — наиболее реальная возможность оптимизации среды.

4. *Непреднамеренные косвенные воздействия.* Они возникают в связи с нарушением природных равновесий в ходе любых других воздействий. Общеизвестный пример — влияние запыленности атмосферы (аэрозолей) на количественный и качественный состав солнечной радиации (в особенности в городах). Такие воздействия требуют особенно пристального внимания и изучения в связи с экологической проблемой.

Описанные воздействия не встречаются в «чистом виде»: они сопровождаются друг друга, однако понимание их различий крайне необходимо. В частности, при прогнозировании и управлении процессами эти воздействия учитываются по-разному.

## **V.2. МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

*Мониторингом* называют систему наблюдения, контроля за состоянием территории или акватории с целью рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды. Наблюдение осуществляется с помощью современных технических средств: искусственных спутников Земли, автоматических станций и др. Понятие мониторинга включает новый для географии вид деятельности — *контроль за окружающей средой*. Он состоит в наблюдении за состоянием и изменением особо важных для человека и биоты характеристик компонентов природы: чистоты воздуха, качества воды, интенсивности радиации и др.; соотнесение полученных данных с нормативами, стандартами, значениями предельно допустимых концентраций (ПДК); выявление источников и факторов происходящих изменений и информирование органов управления о состоянии окружающей среды и наблюдающихся отклонениях от нормы. В СССР контроль осуществляется службами Государственного комитета по гидрометеорологии и контролю окружающей среды и другими государственными органами (инспекциями охраны природы

и др.). Используются дистанционные методы получения информации, обработка данных на ЭВМ, экспресс-методы анализа и т. п.

На рис. V. 2 в качестве примера приведена схема автоматизированного анализа метеорологической информации на ЭВМ.

При организации мониторинга возникает необходимость решать задачи различного уровня. И. П. Герасимов предложил различать три уровня, или ступени, мониторинга.

1. *Санитарно-гигиеническая, или биоэкологическая, ступень.* Главное внимание уделяется наблюдению за состоянием окружающей среды с точки зрения ее влияния на здоровье населения. На этой ступени учитываются показатели, отражающие реакцию человека как живого существа (биологический аспект) на изменения среды: заболеваемость, смертность, рождаемость, продолжительность жизни, сохранение работоспособности и т. д.

В нашей стране санитарно-гигиеническая ступень опирается на систему государственного санитарного надзора СССР. В соответствии с «Положением о санитарном надзоре в СССР», принятом в 1973 г., санитарно-противоэпидемиологическая служба наделена большими правами по контролю состояния внешней среды и ее охране от загрязнения. Контроль осуществляется за промышленностью, строительством, общественным питанием, водоснабжением, благоустройством, планировкой населенных мест и другими объектами, работой очистных сооружений. По всем загрязнителям внешней среды установлены ПДК, вошедшие в ГОСТы, нормы и правила.

В постановлении Верховного Совета СССР «О мерах по дальнейшему улучшению охраны природы и рациональному использованию природных ресурсов», принятом в 1972 г., еще более расширены функции санитарно-противоэпидемиологической службы по охране внешней среды. Предусмотрено усиление ответственности министерств, ведомств, предприятий и организаций за осуществление мероприятий по предотвращению загрязнения почвы, водисточников, атмосферного воздуха, ускорению ввода и реконструкции очистных сооружений. В ряде городов созданы автоматизированные

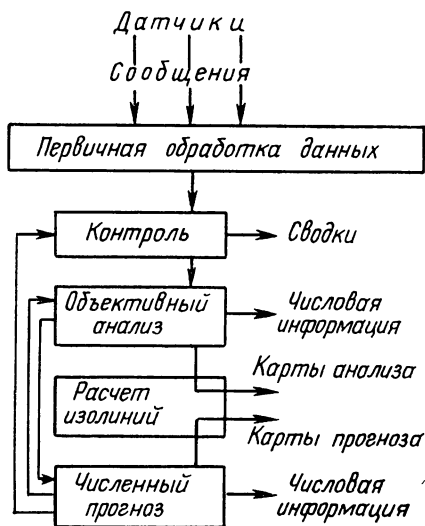


Рис. V.2. Блок-схема системы автоматизированной обработки географической информации в системе мониторинга (по Л. С. Гандину, 1977)

системы наблюдения и контроля за состоянием атмосферного воздуха и поверхностных вод.

Определенное значение для функционирования этой ступени мониторинга имеют исследования по медицинской географии.

**2. Геосистемная ступень.** Ее объект наблюдения — состояние природных и природно-технических систем. Для этой ступени мониторинга существенно показатели массо- и энергообмена, биологической продуктивности, величины ПДК загрязнения и способности геосистем к самоочищению. Наблюдения проводятся на основе географических стационаров и специальных зональных или региональных полигонов (тестовых участков).

*Географические стационары* создаются для изучения состояний и изменения свойств ландшафтов и их компонентов путем наблюдений в одном месте на протяжении длительного времени. Стационарные исследования связаны с анализом функционирования и динамики ландшафтов, выявлением необратимых изменений и ритмических процессов. Территорию стационара выбирают таким образом, чтобы ее можно было рассматривать в качестве модели типичного ландшафта.

На территории стационара могут размещаться ключевые участки. *Ключевым* называют участок территории ландшафта определенного ранга, выбранной в качестве его эталона и используемой для проведения детального исследования основных свойств компонентов ландшафтов, их взаимосвязи и взаимодействия. Ключевые участки изучаются как при ландшафтных экспедиционных (путем одно- или многоразового наблюдения), так и стационарных исследованиях. Программа работ на ключевом участке включает сопряженное наблюдение и измерение характеристик заданного набора свойств всех компонентов и их состояний: литосферы и рельефа, атмосферы и погоды, поверхностных и грунтовых вод, почв, биоты.

*Полигонами (тестовыми участками)* называют такие участки территории, где ведутся измерения и наблюдения по строго заданной программе, нередко сопряженные с наблюдением за теми же свойствами с помощью дистанционных средств — приборов, установленных на вертолетах, самолетах и космических аппаратах.

Детальные описания и измерения, полученные на ключевых и тестовых участках, рассматриваются как репрезентативные (представительные, характерные) для ландшафта в целом.

В нашей стране для изучения показателей энерго- и массообмена используется сеть метеорологических и гидрологических станций и постов Гидрометслужбы СССР. Система гидрометслужбы располагает наиболее длительным рядом наблюдений, что важно для изучения крупнопериодических процессов и выявления направленных изменений.

**3. Биосферная ступень.** Основная задача — наблюдения за глобальными параметрами окружающей среды: прозрачностью атмосферы и ее антропогенным изменением, мировым балансом влаги, загрязнением Мирового океана, энергообменом географической оболочки с Космосом. Объектом наблюдения и контроля являются

географическая оболочка и ее самые крупные структурные элементы. Основная цель наблюдений — предотвращение отрицательных последствий хозяйственной деятельности, представляющих опасность для существования человечества (экологического кризиса).

Система биосферного мониторинга опирается на дистанционные наблюдения с помощью искусственных спутников Земли и автоматизированную обработку информации, которая хранится, упорядочивается, обрабатывается и автоматически анализируется в банках данных.

На земной поверхности существует сеть биосферных стационаров, где ведутся тестовые наблюдения для получения репрезентативных данных. Эта сеть охватывает основные природные зоны Земли.

Значительное место в биосферном мониторинге занимают наблюдения за Мировым океаном, озоновым экраном атмосферы, глобальной биопродуктивностью, за изменениями газового состава и газообмена между геосферами и другими процессами, имеющими значение для географической оболочки как среды обитания человечества.

Разработка и создание систем мониторинга имеет большое значение для общего землеведения, так как обеспечивает непрерывность наблюдения за основными параметрами географической оболочки и их пространственно-временной изменчивостью.

### **В.3. ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ОБОЛОЧКА КАК САМООРГАНИЗУЮЩАЯСЯ СИСТЕМА**

Важнейшим свойством географической оболочки является способность сохранять свои параметры в определенных ограниченных пределах изменений. При отсутствии такой способности эта система оказалась бы неустойчивой, разрушилась или превратилась в иную систему.

Географическая оболочка существует уже миллиарды лет. За это время изменился ее облик, усложнилась структура, многократно изменялось расположение материков, соотношение суши и моря, состав атмосферы, степень развития и роль жизни и т. д. Однако изменялись составляющие оболочки, но ее сущность — сущность географической оболочки как зоны контакта между геосферами, особенно пограничного слоя, в котором взаимодействуют внешняя (солнечная и космическая) и внутренняя энергии Земли, — оставалась прежней. При самых крайних изменениях своего состояния (развитие вулканизма и связанное с ним резкое изменение прозрачности атмосферы; образование оледенения, горообразование и т. д.) географическая оболочка всегда сохраняла свои основные свойства: присутствие воды в трех агрегатных состояниях; наличие устойчивых границ (поверхностей раздела) между геосферами и внутри них; радиационный и тепловой балансы, постоянство солевого состава океана при изменении объема вод и других географических констант.



Следовательно, при существенных изменениях входов и выходов системы географическая оболочка представляет собой *геостат* (по аналогии с хеомостатом, термостатом, биостатом, гомеостатом — системами, которые автоматически поддерживают определенное состояние параметров).

В историческом плане географическая оболочка выступает как *самоорганизующаяся система*. Самоорганизация географической оболочки в определенной мере отличает ее от систем физических, химических, приближает к классу биологических систем. Известно, что именно живые организмы, благодаря определенной физиологической организации, способны к гомеостазису. Некоторые ученые считают, что океан — существеннейшая часть географической оболочки — подобен живой клетке и обладает свойствами самоорганизации<sup>1</sup>. Мы будем рассматривать с этой точки зрения всю географическую оболочку.

Отличие самоорганизующейся системы от систем физических (в частности, термодинамических) состоит в том, что она не подчиняется принципам термодинамики — не стремится к максимуму термодинамической (Больцмана) энтропии, т. е. к хаосу, беспорядку. В этом смысле она подобна живому веществу, которое, по мнению Э. Шредингера, определяется как «организация, поддерживаемая извлечением упорядоченности из окружающей среды»<sup>2</sup>.

Процесс «извлечения упорядоченности» приводит к тому, что система, обладающая самоорганизацией, в ходе развития повышает свою организацию, все более отличается от среды, «возвышается» над нею в организационном отношении, увеличивает устойчивость своей организации по отношению к внешним воздействиям, «стрессам».

Попытаемся на простых примерах понять, каким образом поддерживается организация географической оболочки. Рассмотрим геостазис в масштабах Северного полушария на протяжении одного года. Начнем с дня весеннего равноденствия.

В день весеннего равноденствия на всем земном шаре день равен ночи, угол падения солнечных лучей равен ( $90^\circ - \varphi$ ), распределение поступающей солнечной энергии симметрично относительно экватора. Если бы земная поверхность была подобна лунной (т. е. не имела бы гидросферы и атмосферы), то ее температура определялась бы приходом — расходом теплоты. В этих условиях распределение температур было бы подобно распределению значений  $\cos \varphi$  (т. е. зеркально симметрично убывало бы относительно экватора). Однако на Земле так не происходит. По мере удаления от точки весеннего равноденствия возрастает диссимметричность распределения потока солнечного тепла. В северном полушарии углы падения солнечных лучей возрастают, а в южном полушарии уменьшаются. В таком случае в северном полушарии должно происходить соответ-

<sup>1</sup> См.: Лебедев В. Л. и др. Океан как динамическая система. Л., 1974, с. 3.

<sup>2</sup> Шредингер Э. Что такое жизнь? С точки зрения физика. Пер. с англ. М., 1972, с. 75.

ствующее повышение температуры, однако оно задерживается рядом регулирующих механизмов. В умеренных и высоких широтах тает снег. Идет возмещение потерь теплоты на таяние и частично на испарение за счет снижения температуры.

К концу зимы теплосодержание водоемов и океана северного полушария достигает минимума, поэтому их обогревающая роль становится меньше, чем была зимой. По мере повышения температур средних и высоких широт уменьшается разность температур между экватором и полюсом. Это ослабляет тепловой поток от экватора, т. е. наблюдается ситуация, подобная разумному регулированию отопления в зависимости от потребности: пока тепла (в северном полушарии) недостаточно, холод аккумулируется в снегах и льдах, тепловой поток от океана и от экватора интенсивный; возникают даже «аварийные» переброски тепла из летнего (южного) полушария в северное в форме экваториальных муссонов, усиливающих отток тепла в высокие широты северного полушария в системах тепловых машин атмосферы и океана. Как будто вся географическая оболочка борется за сохранение от переохлаждения высоких широт зимнего полушария. К лету все эти механизмы регулирования тепла прекращают свою деятельность и утрачивают значение. Зато постепенно набирают силу аккумуляторы тепла: геофизические, геохимические, биологические.

После возмещения потерь тепла на таяние поверхность суши быстро нагревается. Часть тепла уносится в глубь приповерхностного слоя и накапливается там до следующего холодного периода. В пресных водоемах прогревается верхний слой воды. По мере повышения температуры от 0 до 4 °С растет плотность воды, нагреваемая вода погружается вниз, поэтому происходит активный водообмен с глубинными слоями. С повышением температуры устанавливается устойчивая стратификация вод (холодная внизу, теплая сверху) и вертикальный обмен прекращается до наступления холодов.

В океане наблюдается иная картина. После таяния льда (если он был) по мере прогрева океанская вода стратифицировалась бы устойчиво, если бы не термохалинные процессы, обусловленные повышением поверхностной солености и снижением температуры за счет увеличения испарения. Более соленая и охлажденная вода «тонет» в связи с повышенной плотностью. За счет динамического фактора — конвекции в воде — запасы теплоты, создающиеся в приповерхностном слое океана, вместе с водой увлекаются вглубь и распределяются в километровой толще океанской тропосферы.

Температура океанской поверхности остается невысокой даже при том же потоке тепла, что и на суше. Возрастает разность температур между сушей и океаном, а это вводит в действие тепловую машину второго рода (океан — континент), которая переносит часть теплоты от континента, где она не может аккумулироваться, к океану.

Повышение температуры на суше усиливает геохимические процессы с поглощением теплоты. Возрастает испарение, и значитель-

ная часть тепла переносится в атмосферу в скрытой форме, аккумулируется в водяном паре. При конденсации теплота выделяется и расходуется на локальное нагревание воздуха. Усиливается циркуляция и становится более сложной структура атмосферных вихрей: чем больше энергии, тем сложнее структура, так как на поддерживание сложности в природе необходимы затраты энергии.

По мере роста температуры усиливается фотосинтез. Это приводит к тому, что некоторая часть энергии аккумулируется геохимически (кислород и органическое вещество). Часть ее выделится затем в процессе гниения растительных остатков в холодное время года. К моменту максимума поступления солнечной энергии (день летнего солнцестояния) температура не достигает максимума, так как тепловые аккумуляторы еще не заряжены теплом. Дальше начинается снижение потока солнечной энергии в северное полушарие. Одновременно уменьшается и отток тепла с суши, так как океан — главный аккумулятор тепла — постепенно прогревается (уменьшается градиент температуры континент — океан). Поэтому снижение поступления теплоты пока не сказывается на ходе температуры. Максимум температуры северного полушария смещается на 1—1,5 месяца относительно максимума притока солнечной энергии. От температуры зависит испарение, от ее контраста — турбулентный теплообмен земной поверхности, а следовательно, и осадки, вегетация растений, геохимические и другие процессы. Границы лета климатические смещены относительно астрономических. Это смещение различно в зависимости от положения суши и моря. Во внутриконтинентальных областях смещение минимальное, так как океан не оказывает регулирующего воздействия. В приокеанических областях оно больше, причем различно на западной и восточной периферии континента (так как преобладает направленный перенос воздуха, следовательно, и теплоты). В океане эти различия наиболее велики. В связи с тем, что максимумы солнечной радиации, температуры, осадков, вегетации и других процессов не совпадают, происходит своеобразное «смазывание» картины годового хода процессов. Это «смазывание» направлено на уменьшение эффекта воздействия внешнего фактора — солнечной радиации, т. е. обеспечивает максимальную для данных условий стабилизацию обстановки на земной поверхности. Только в августе (в некоторых местах — в начале сентября) происходит тот перелом в ходе лета, который соответствует астрономическому фактору, имевшему место еще в конце июня, — снижению потока солнечной радиации.

По мере снижения температуры замирает вегетация, устанавливается устойчивая осенняя стратификация воздуха, так как воздух приземного слоя становится холоднее. Это уменьшает вертикальную циркуляцию в атмосфере. То же происходит и в океане. Тепло от земной поверхности уже не оттекает вглубь и вверх. Наступает момент теплового равновесия между земной и океанской поверхностью и окружающими средами.

Поток солнечной радиации еще снижается. Температура должна бы стремительно падать, но по мере ее снижения вступают в дей-

ствии буферные системы — аккумуляторы теплоты, замедляющие этот процесс. По мере снижения температуры снижается испарение. Уменьшается интенсивность осолонения поверхностных вод океана. На смену термохалинной циркуляции приходит термическая: поверхностная вода, отдав тепло (в виде турбулентного потока и скрытой теплоты парообразования), тонет и замещается глубинной, более теплой. Океан начинает обогревать атмосферу. Воздух над океаном становится теплее, чем над сушей. Устанавливаются градиент температуры и градиент давления, направленные от океана к суше, вступает в действие тепловая машина второго рода, но в обратном направлении: теперь тепло переносится от океана к континенту через атмосферу.

По мере охлаждения высоких широт возрастает температурный контраст относительно экватора (где сезонные изменения температуры незначительны). Это усиливает функционирование тепловой машины первого рода, которая «перекачивает» тепловую энергию в охлаждающееся северное полушарие.

Растения умеренного пояса, утратив листву, уменьшили испарение (и, следовательно, соответствующие затраты теплоты). Все эти процессы приводят к тому, что температура снижается медленнее, чем поток солнечного тепла. Поэтому зима в умеренных широтах наступает только тогда, когда миновал минимум поступления солнечной радиации, т. е. с большим сдвигом во времени.

Зимой срабатывают специфические механизмы защиты от переохлаждения. Постоянный слой низкой облачности задерживает излучение. Водоёмы покрываются льдом, а суша — снегом, которые уменьшают расходы тепла на излучение. Прекращается испарение на суше. Зато свободная поверхность океана максимально отдает теплоту атмосфере. Если почти все запасы теплоты отданы, вода покрывается льдом, и процесс очень резко (на несколько порядков) ослабляется. В ходе образования снега и льда выделяется теплота замерзания, которая также способствует обогреву географической оболочки (с другой стороны, аккумуляции холода).

Солнечная энергия — источник «жизни», функционирования географической оболочки. Другие экзогенные процессы зависят от нее и приспособляются к ней. Географическая оболочка, подобно ranchному хозяину, несмотря на резкий годовой ход солнечного излучения, свойственного каждому полушарию, перераспределяет резервы энергии, запасает ее, перебрасывает из одних мест в другие, воздействует на баланс тепла, значительно снижает его контрастность, сохраняет колебания интенсивности своих параметров в минимальных пределах.

#### **IV. ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ПОТОКАМИ**

Образно говорят, что вся история человечества, его хозяйственной деятельности — это история борьбы за энергию. Она ведется, как правило, на локальном уровне, осваивается прямой источник энергии (ветер, вода, термальные источники недр, топливо и т. д.).

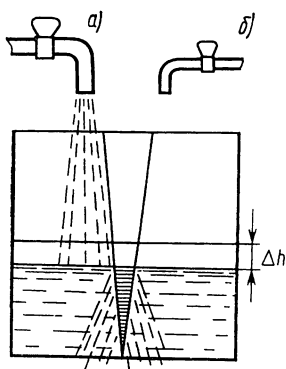


Рис. V.3. Механический аналог радиационного баланса (пояснения в тексте)

Опираясь на работы М. И. Будыко, Н. М. Сваткова, рассмотрим вопросы теоретического анализа косвенного воздействия на энергетические потоки на всех трех основных уровнях организации среды: планетарном, региональном и локальном.

### Воздействие на радиационный баланс.

Для анализа происходящих и возможных воздействий на радиационный и тепловой баланс географической оболочки необходимо его рассматривать в качестве системы управления и с учетом взаимодействия радиационных и тепловых балансов земной поверхности, атмосферы и океана.

Выразим уравнение радиационного баланса земной поверхности (см. III.1.4) в несколько иной форме (обозначения физических величин те же):

$$R = (S + D)(1 - \alpha) - E_s + E_A.$$

Это уравнение можно представить в виде наглядной модели — механического аналога (рис. V. 3). Модель представляет собой сосуд, в боковой части которого имеется расширяющийся кверху разрез. В сосуд падает вода из крана *a*. В сосуде при любом потоке воды из крана устанавливается динамическое равновесие, т. е. постоянный уровень воды. Кран в модели имитирует приходную часть, а разрез в стенке — расходную часть баланса.

Если в сосуд долить определенную массу воды, уровень в нем сначала резко поднимется на соответствующую высоту, равную  $\Delta h$ , а затем снизится до равновесного положения. То же самое произойдет, если отобрать из сосуда некоторое количество воды. Уровень постепенно установится в том же равновесном положении.

Если ту же воду лить незначительной струей длительное время из крана *b*, скачкообразного изменения уровня не наблюдается и равновесное положение изменяется: уровень динамического равновесия повысится. На механическом аналоге мы получили важные результаты. Они сводятся к следующему:

1. Радиационный баланс — это устойчивое динамическое равновесие между приходом и расходом солнечной энергии.

2. Благодаря устойчивости, кратковременные флуктуации, «стрессы» не приводят к направленным изменениям равновесного состояния, которое восстанавливается самопроизвольно.

3. Малые, но постоянные воздействия способны изменить равновесное состояние, сместив его в соответствующую сторону.

Рассмотрим, как это происходит в действительности. Роль «щели» на алгебраической модели радиационного баланса выполняет излучение земной поверхности. По закону Стефана — Больцмана  $B = \delta T^4$  поток излучения пропорционален четвертой степени абсолютной температуры. Представим себе, что мы повысили каким-то

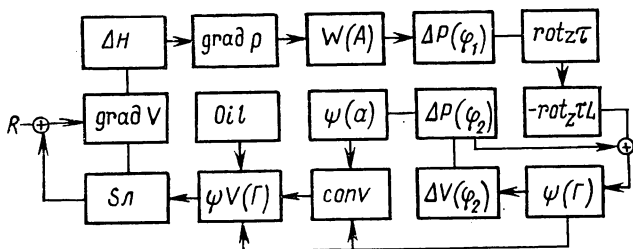


Рис. V.4. Функциональная схема управления океанической циркуляцией. На входе солнечная радиация создает градиент температуры на поверхности океана, что и дает начало функционированию системы (по В. П. Лебедеву и др., 1974):

$R$  — поступление энергии на поверхность океана,  $\text{grad } v$  — меридиональный градиент температуры на поверхности океана,  $\Delta H$  — изменение высоты столбов атмосферы,  $\text{grad } \rho$  — градиенты давления в верхней атмосфере,  $W(A)$  — меридиональный перенос воздуха антипассатами,  $\Delta P(\varphi_1)$  — пояс высокого давления в субтропиках,  $\text{rot}_z \tau$  — ротор напряжения ветра в субтропиках,  $\text{rot}_z \tau L$  — смещение циркуляции к экватору,  $\psi(\Gamma)$  — компенсационное течение западных берегов,  $\Delta v(\varphi_2)$  — температурная аномалия на границе полярной области,  $\Delta P(\varphi_2)$  — сезонная область пониженного давления над океаном,  $\psi(a)$  — вынос арктических вод,  $\text{conv}$  — встреча полярных вод с Гольфстримом,  $\psi v(\Gamma)$  — перенос тепла Гольфстримом в полярные широты,  $\text{oil}$  — загрязнение вод океана нефтью,  $S_{\text{л}}$  — площадь полярных льдов

образом температуру подстилающей поверхности (рис. V.4). Это приведет к очень резкому возрастанию теплового излучения. Если повышение температуры имеет характер флуктуации, т. е. кратковременного и ненаправленного отклонения, то равновесие быстро восстанавливается на том же уровне. Если же фактор, обуславливающий изменение прихода теплоты, действует длительно, то устанавливается новое равновесие, характерное для нового соотношения прихода солнечной радиации (падающей радиации) и теплового излучения Земли.

Механический аналог не полностью соответствует действительному объекту. В частности, он не позволяет объяснить, куда девается разность приходящей и уходящей радиации (т. е. радиационный бюджет).

Солнечная энергия, усвоенная географической оболочкой, идет на поддержание различий, т. е. сохранение определенной структуры, «самосохранение» оболочки. Если бы эта энергия не оставалась в географической оболочке, то постепенно сгладились бы различия, упростилась (до хаоса) структура, а географическая оболочка как система разрушилась. Радиационный бюджет обеспечивает поддержание различий и тем самым обуславливает вертикальные и горизонтальные движения потоков и круговороты вещества и энергии.

**Регуляторы приходной части радиационного баланса.** Регулирующие механизмы имеются и в отдельных (приходной и расходной) частях радиационного баланса. Рассмотрим приходную часть. Величина альбедо земной поверхности  $\alpha$  является коэффициентом усвоения приходящей радиации. Этот коэффициент изменяется в пространстве и во времени и обеспечивает тем самым пространственно-временную неоднородность радиационного баланса географической оболочки, значение которой было показано выше. Кроме того, он служит определенным регулятором, «вентилем» (см. механи-

ческий аналог) на пути приходящего теплового потока. Например, при выпадении снега альbedo земной поверхности сильно возрастает, поэтому резко убывает приходящая радиация. Это, в свою очередь, увеличивает вероятность очередного снегопада. Возникает система положительной обратной связи. Если бы не другие регуляторы, то при малом первоначальном воздействии (выпадение снега на небольшой территории) из-за действия положительной обратной связи нас ожидала бы «белая земля» (выражение М. И. Будыко). На альbedo оказывает влияние целый ряд факторов, связанных с характером (суша, море; тип ландшафта) и состоянием (влажность, заснеженность, фенологический аспект) ландшафта. Альbedo подвержено значительным изменениям под влиянием хозяйственной деятельности (табл. V. 6).

Таблица V.6. Значения альbedo для некоторых типов природных образований

Тип поверхности	Поверхность	Альbedo, %
Почвы	Мелкий песок	37
	Сухой чернозем	14
Снежно-ледовые поверхности	Сырое вспаханное поле	14
	Влажный чернозем	8
	Плотный чистый сухой снег	86—95
	Морской лед	36
	Ледяное поле, покрытое водой	26
Растительность	Кустарниковая пустыня	20—29
	Озимая пшеница	16—23
	Дубовая роща	18
	Лиственный лес	17
	Сосновый лес	14
	Степь	12—13
	Болото	10—14

Из данных таблицы видно, что выпадение снега (альbedo около 90 %) на поверхность в степном районе (альbedo 12 %) снижает приходную часть радиационного баланса более чем в 8 раз (в незаснеженной степи поверхность усваивает около 90 % падающей радиации, а в заснеженной — только 10 %). Это означает, что такое обычное для умеренных и высоких широт явление, как выпадение снега (или, наоборот, его таяние), приводит к изменению радиационного баланса, равнозначному перемещению данного участка местности на несколько десятков градусов по широте.

Альbedo изменяется и под воздействием других факторов: распашки степи, уничтожения леса, смены аспектов растительности по фенофазам и т. д.

Во всех случаях альbedo выступает в качестве *очень мощного регулятора приходной части радиационного баланса*, так как приходящая радиация умножается на величину  $(1 - \alpha)$ . Кроме того, альbedo — тонкий индикатор состояния ландшафта, сравнительно легко поддающийся регуляции. В качестве средств регулирования альbedo можно назвать все возможные изменения ландшафта (вырубка

или посадка леса, распашка земель, орошение, увлажнение вообще, запыление снега сажей в зоне деятельности промышленных предприятий и во время пыльных бурь и др.).

Регулирующая роль альbedo известна издавна. Неоднократно разрабатывались проекты растопления льдов путем зачернения (с помощью сажи, угольной пыли и т. п.) снежно-ледовой поверхности. В отдельных районах это средство применяется для увеличения интенсивности таяния горных ледников и искусственного повышения водности рек (в связи с отбором воды на орошение). При зачернении снежно-ледовой поверхности альbedo может уменьшаться в 5 раз. Это приводит к соответствующему увеличению поглощенной радиации. В системе радиационного и теплового баланса другого такого мощного регулятора нет.

Менее мощным регулятором (из-за сравнительно малых амплитуд колебания) является *прозрачность атмосферы для коротковолновой радиации*. В целом атмосфера прозрачна для всей видимой части спектра (видимая часть спектра составляет малую долю электромагнитного спектра излучения Солнца). Поглощение атмосферой электромагнитного излучения Солнца происходит во всей ее толще. Наиболее мощное и избирательное поглощение наблюдается молекулами озона, водяного пара.

Прозрачность атмосферы зависит от содержания аэрозолей (дымы, продукты горения топлива самолетов и ракет), которое возрастает. Этому способствует антропогенная деятельность, особенно в промышленно развитых районах. В таких районах следует ожидать дефицита коротковолновой радиации, что существенно ухудшит условия среды, а также резко снизит энергетический потенциал приходящей радиации.

Регуляторы прозрачности атмосферы еще не использовались ни в региональных, ни в глобальных масштабах, но могут быть применены в борьбе с перегревом географической оболочки.

Следовательно, имеется *две группы регуляторов приходящей солнечной радиации*:

1. Альbedo земной поверхности — самый мощный и чувствительный регулятор, поддающийся направленным воздействиям.

2. Прозрачность атмосферы — потенциальный регулятор, пока не использовавшийся для управления приходящей радиацией. Эти регуляторы способны существенно менять приход солнечной радиации на локальном (непосредственно), региональном (интегрально) и глобальном (вследствие длительных процессов) уровнях.

**Регуляторы расходной части радиационного баланса.** *Расходная часть* радиационного баланса регулируется, как уже отмечалось, абсолютной температурой излучающей поверхности по закону Стефана — Больцмана. Величина излучения зависит, как известно, от длины волны, которая определяется температурой (рис. V. 5), так как с повышением температуры длина волны уменьшается, интенсивность излучения растет (она обратно пропорциональна длине волны). На рис. V. 5 количеству энергии соответствует площадь под соответствующей кривой.



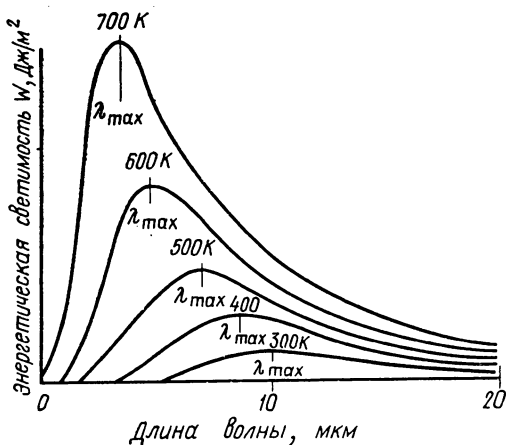


Рис. V.5. Связь потока излучения с температурой по закону Вина. Идеальная модель излучения абсолютно черного тела

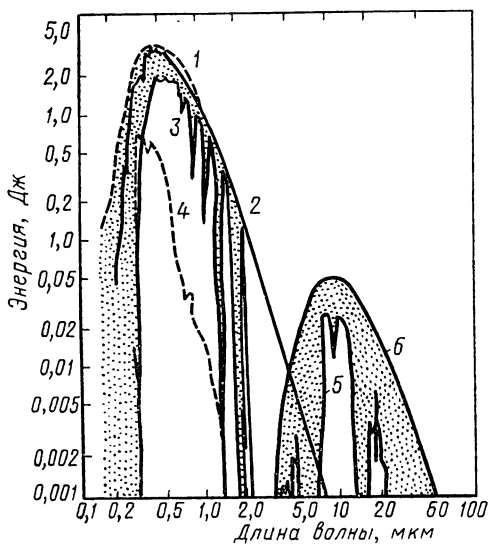


Рис. V.6. Электромагнитные спектры излучения Солнца и Земли (по Э. Баррету и Л. Куртису, 1979)

Максимум излучения земной поверхности приходится на инфракрасную зону спектра. Излучение происходит круглосуточно, причем длина волны зависит от температуры (от 4,0 до 40 мкм), которая постоянно меняется. Максимальное излучение приходится на длину волны 10 мкм (рис. V. 6).

Атмосфера не полностью прозрачна для длинноволнового излучения. Прозрачность атмосферы ограничивается «окнами прозрачности», которые приходится, по данным космических зондирований, на интервалы 3,0—4,5 и 8,5—14 мкм. Водяной пар и особенно озон, диоксид азота, аммиак, диоксид углерода снижают прозрачность атмосферы для теплового излучения и способствуют возникновению парникового эффекта. Даже очень малые изменения в содержании перечисленных компонентов влияют на прозрачность атмосферы. По данным М. И. Будыко, незначительные изменения содержания диоксида углерода (наряду с другими факторами) сильно влияют на температуру Земли (рис. V. 7). Мощный фактор повышения температуры — облачность, снижающая про-

зрачность атмосферы для длинноволнового излучения. На содержание указанных компонентов в атмосфере сильно влияет хозяйственная деятельность человека. Уменьшение прозрачности атмосферы для длинноволновой радиации и как следствие этого — повышение температуры Земли может привести к эффекту перегрева земной

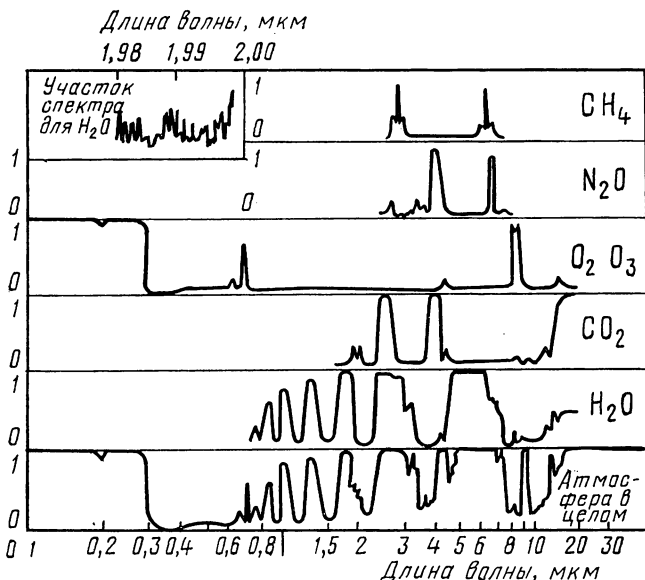


Рис. V.7. Поглощение радиации компонентами и примесями атмосферы (по Э. Баррету и Л. Куртису, 1979)

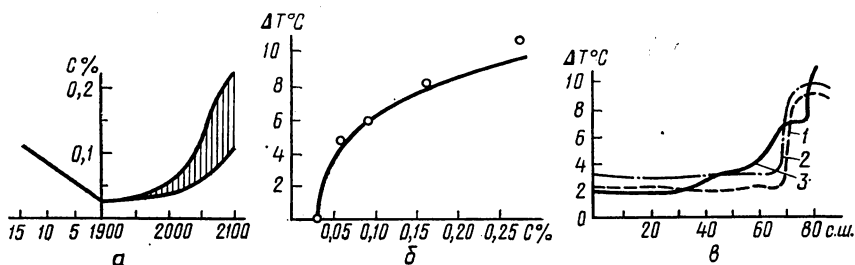


Рис. V.8. Воздействие увеличения содержания  $\text{CO}_2$  на температуру земной поверхности (по М. И. Будыко, 1980):

*a* — изменение содержания диоксида углерода в неогене и прогноз его увеличения за историческое время (прогнозная область заштрихована); *б* — изменение температуры за счет повышения содержания диоксида углерода в атмосфере; *в* — модели изменения температуры по широтам при удвоении содержания  $\text{CO}_2$ ; 1, 2, 3 — варианты прогноза

поверхности. Описанные воздействия являются непреднамеренными, но потенциально управляемыми.

Следовательно, расходная часть радиационного баланса содержит следующие *элементы управления*:

1. Температура излучающей поверхности.

2. Прозрачность для теплового излучения атмосферы (содержание водяного пара, озона, диоксида углерода), наличие облаков, тумана и др. Непреднамеренные воздействия через указанные регуляторы на расходную часть радиационного баланса многочисленны.

Общеизвестно значение повышения содержания в атмосфере *диоксида углерода*. На рис. V. 8 показано воздействие увеличения

содержания диоксида углерода на температуру Земли. Содержание  $\text{CO}_2$  в атмосфере зависит от естественных процессов и промышленной деятельности. Оно является мощным регулирующим фактором глобальной температуры Земли.

На планетарном уровне определенное значение может иметь *загрязнение поверхности океана нефтяной пленкой*. Уже отмечалось, что не менее половины теплоты океан передает в атмосферу вместе с водяным паром в виде скрытой теплоты парообразования. Возникновение нефтяной пленки примерно в два раза снижает испарение с поверхности, следовательно, приводит к повышению температуры океанских поверхностных вод. Это, в свою очередь, должно увеличить тепловое излучение с поверхности океана (взамен переноса теплоты на значительные расстояния вместе с водяным паром). Следствия такого процесса пока не известны, но можно предположить, что из-за увеличения переноса теплоты излучением (т. е. в явном виде) и уменьшения скрытого теплового потока произойдет повышение температуры воздуха над океаном. Летом это приведет к уменьшению контраста между океаном и сушей, а зимой — к его увеличению. Соответственно уменьшится действие тепловой машины второго рода летом и усилится зимой. Следовательно, изменится климат умеренных широт.

На *региональном уровне* воздействия касаются, прежде всего, *изменения водного баланса территорий* за счет орошения, испарения, значительных количеств водяного пара, выделяемого тепловыми установками, появления ядер конденсации (аэрозоль) — продуктов горения или химических реакций. Эти воздействия увеличивают экранирующую роль атмосферы, снижают расходную часть баланса и в конечном итоге повышают значение радиационного бюджета, косвенно способствуют «перегреву» Земли.

В процессе орошения происходит по крайней мере два воздействия на природу, которые носят характер управления: понижение температуры излучающей поверхности и повышение содержания водяного пара. Оба воздействия способствуют уменьшению расходной части баланса и увеличению радиационного бюджета.

Все загрязнения воздуха также вызывают уменьшение теплового излучения географической оболочкой.

Следовательно, имеется значительное число природных механизмов, которые воздействуют на радиационный баланс географической оболочки, придают ему состояние динамического равновесия. *Значительная часть управляющих механизмов поддается преднамеренному воздействию*, о чем свидетельствуют результаты непреднамеренных воздействий.

*Косвенные воздействия* на энергетику географической оболочки эффективнее и экономичнее прямых, так как не требуют затрат энергии, сопоставимых с энергией процессов прихода — расхода солнечной энергии; в то же время косвенные воздействия сложнее, так как они требуют знания тонких механизмов управления.

**Воздействие на тепловой баланс географической оболочки.** Воздействие на тепловой баланс земной поверхности связано со следу-

ющими составляющими: 1) изменение затрат теплоты на испарение; 2) изменение турбулентного теплообмена с атмосферой; 3) изменение теплового потока в глубь верхнего слоя земной коры; 4) изменение циркуляции для воздействия на перенос теплоты.

Изменение затрат теплоты на испарение связано, как уже отмечалось, со следующими воздействиями:

1. Загрязнение поверхности океана нефтяной пленкой, которое уменьшает затраты теплоты на испарение с этой поверхности почти в 2 раза и приводит к перегреву поверхности океана (так как в уравнении теплового баланса происходит увеличение последних двух членов его правой части). В свою очередь, увеличение тепловых потоков в атмосферу и глубинные слои океана возможно только в случае соответствующего увеличения контраста температуры между поверхностным слоем океана (нагревателем), атмосферой (холодильником — 1) и нижним, в частности переходным, слоем океанской тропосферы (холодильником — 2). Контраст обеспечивается определенным перегревом поверхности, т. е. повышением температуры океанской поверхности.

Следовательно, под влиянием описанного механизма произойдет изменение структуры теплового баланса океанской поверхности, которое приведет к ее нагреву. Очевидно воздействие последнего на структуру расходной части радиационного баланса. Изменение расходной части радиационного баланса приведет к уменьшению радиационного бюджета, а это скажется на структуре теплового баланса, нарушит его равновесие и т. д. Начнется переходный процесс в системе, который не поддается умозрительной оценке.

На суше изменение затрат теплоты на испарение связано с прямым воздействием — нарушением водного баланса территорий и косвенным — всяким изменением ландшафта. Первое воздействие носит пока локальный, местами региональный характер; второе достигает масштабов континента, т. е. субпланетарных. Оба вида воздействия имеют побочный характер, так как ни в одном случае задача изменения структуры теплового баланса специально не ставилась. В отдельных работах гидрометеорологов, связанных с научным обеспечением орошаемого земледелия, задача изменения структуры радиационного и теплового баланса на локальном уровне уже разрабатывалась.

В аридных районах Земли затраты теплоты на испарение воды невелики, и большая часть тепловой энергии переносится в атмосферу и почву. Это обуславливает повышенную температуру в этих районах. Орошение аридных районов, а также любые изменения природы, связанные с увеличением испарения, приводят к соответствующему *изменению структуры теплового баланса*.

Изменения структуры теплового баланса неизбежно приводят к нарушению сложившихся отношений между территориями, а также между геосферами в пределах одной территории, увеличению или уменьшению контрастности температурных различий. Увеличение температурных различий усиливает действие тепловых машин, а уменьшение — ослабляет.

## В.5. АКТИВНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА АТМОСФЕРНЫЕ ПРОЦЕССЫ

Энергетика атмосферных процессов на несколько порядков превышает энерговооруженность человечества. В связи с этим нет реальной возможности непосредственно воздействовать на эти процессы. Академик Е. К. Федоров и другие ученые неоднократно отмечали, что в связи с колоссальностью энергетики атмосферных процессов подход «с позиции силы» при решении вопросов, касающихся управления погодой, не может привести к успеху. Однако атмосферные процессы тесно связаны между собой в единую цепь, в которой имеются прямые и обратные связи, элементы регулирования с положительной и отрицательной обратной связью. Иногда в атмосфере создается состояние неустойчивого равновесия. В таких условиях достаточно небольшого толчка для того, чтобы атмосферный процесс приобрел нужное нам направление. Именно благодаря таким свойствам атмосферы удастся с небольшими затратами средств пока на локальном уровне воздействовать на атмосферные процессы.

Воздействия на атмосферу с целью управления погодой носят выраженный *сигнально-информационный характер*. Об этом свидетельствует та неспособимость энергетики процесса и воздействия на него, о которой мы уже говорили, а также использование для получения необходимого эффекта искусственных сигналов, которые способны вызвать различные лавинообразные процессы: акустические колебания (выстрел, взрыв), введение в облака небольших доз реагента, которые способствуют возникновению процесса конденсации водяного пара, а затем выпадению дождя или града; искусственное создание относительно небольших вертикальных токов воздуха, чтобы вызвать конденсацию водяного пара, локальный разогрев атмосферы на высоте конденсации за счет теплоты парообразования. Возникает мощный импульс движения воздуха вверх, начинается восходящая циркуляция воздуха (как в ячейке циркуляции Гадлея над экватором, но локально), поддерживаемая самопроизвольно (система с положительной обратной связью). В результате выпадают атмосферные осадки.

Чтобы сигнал, направляемый в атмосферу, был эффективным, *необходимо ее определенное состояние*. На рис. V. 9 показана зависимость возможности образования естественных или искусственных осадков от температуры и вертикальной мощности облака, на которое производится воздействие. Пример относится к определенному типу облаков — слоистым. На графике выделены три зоны; в пределах каждой зоны комбинация температуры и вертикальной мощности облака определяет возможность 2, невозможность 1 или нецелесообразность 3 воздействия на облако для образования искусственных осадков.

Теория активных воздействий на атмосферные процессы в достаточной мере еще не разработана. Поэтому сами воздействия пока носят экспериментальный характер и локальны. Пока применяют:

1. Введение в облака активных ядер конденсации водяного пара

(обычно иодистого серебра) для образования зародышей водяных капель и вызывания осадков.

2. Создание вертикальной конвекции путем локального нагрева столба воздуха или с помощью реактивного двигателя.

3. Управление термодинамическими процессами для образования или рассеяния облаков, тумана, предотвращения осадков и др.

Эффекты активного воздействия на атмосферу возникают часто непреднамеренно. За счет локального нагрева над городами мощными тепловыми установками возникают конвективные циркуляции; орошение земель приводит к изменению физических свойств приземного слоя воздуха; техногенные выбросы в атмосферу могут создавать активные ядра конденсации, стимулирующие образование туманов, дождя и др. Очевидно, что многие воздействия на подстилающую поверхность могут сыграть роль регионального и даже глобального фактора, проявляющегося через атмосферу.

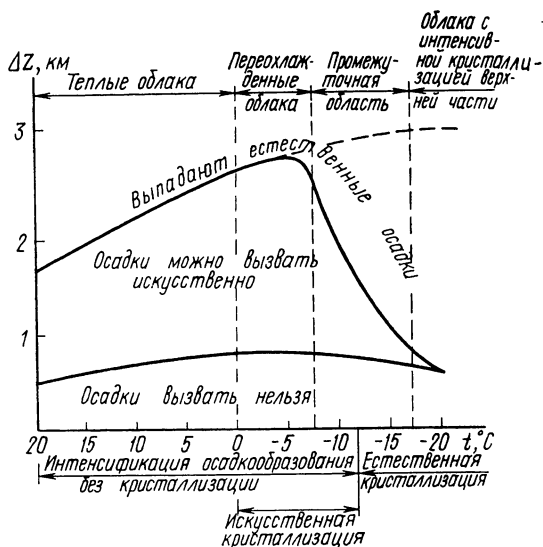


Рис. V.9. Оценка возможности выпадения или искусственного вызывания осадков из неконвективных облаков в зависимости от температуры и мощности облака (по Л. Г. Качурину, 1978)

## В.6. АКТИВНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГИДРОСФЕРУ И ВОДНЫЙ БАЛАНС

К основным факторам изменения естественного режима водоемов суши и водного баланса планеты, по мнению гидрологов М. И. Львовича и А. А. Соколова, можно отнести следующие<sup>1</sup>:

1. Распашка целинных и залежных земель и их сельскохозяйственное освоение, агротехнические, лесомелиоративные и другие мероприятия, направленные на регулирование водного режима почв с целью повышения урожайности.

2. Использование вод для водоснабжения, орошения, обводнения засушливых территорий, сопровождающееся истощением ресурсов пресных вод во многих аридных районах мира.

<sup>1</sup> См.: Львович М. И., Соколов А. А. Антропогенные изменения в гидросфере. — В сб.: Современные проблемы географии. М., 1976.

3. Регулирование речного стока, создание многочисленных водохранилищ, в том числе каскадов гигантских водохранилищ-морей, перераспределяющих водные массы во времени и пространстве.

4. Урбанизация (развитие городов); перемещение огромных масс земли и воды при разработке рудных месторождений и связанное с этим нарушение существующего равновесия между поверхностными и подземными водами.

5. Загрязнение вод рек, озер, водохранилищ и отчасти подземных вод в результате сброса в них промышленных и бытовых сточных вод и смыва с сельскохозяйственных угодий и территории городов различных загрязняющих веществ. Загрязнение может привести к качественному истощению водных ресурсов.

Совокупность перечисленных воздействий создает угрозу водного голода для человечества, поэтому перед наукой стоит задача раскрыть сложные взаимосвязи в природе, оценить влияние антропогенных факторов на водный режим и водный баланс, выработать эффективные меры оптимизации водопользования.

Большая группа изменений гидросферы связана с целенаправленным воздействием людей на другие компоненты природы (например, изменение гидрологического режима в результате расширения пахотных земель, мелиораций, вырубки леса и др.). Воздействие человека на одно из звеньев круговорота воды, который служит источником возобновления запасов пресных вод, приводит к изменениям в других его звеньях.

Эффект воздействия на водный баланс неорошаемого и орошаемого земледелия различен. Неорошаемое земледелие вызывает уменьшение речного стока за счет мероприятий, направленных на задержание влаги на полях и повышение влагосодержания почвы. По расчетам М. И. Львовича, за счет интенсификации земледелия полный речной сток во всем мире уменьшается в год примерно на  $700 \text{ км}^3$ . Соответственно этой величине возрастает испарение. По данным исследователей, за 130 лет в некоторых районах Западной Европы слой испарения увеличился на 50 мм. Следовательно, земледелие снижает обеспеченность водой другие отрасли народного хозяйства и ухудшает состояние рек.

Орошаемое земледелие — один из главных потребителей водных ресурсов. Причем в отличие от промышленности большая часть воды при орошении используется безвозвратно. К 2000 г. объем потерь может достигнуть 3,4 тыс.  $\text{км}^3/\text{год}$ , т. е. 88 % от общего количества безвозвратных потерь.

Средством управления водными ресурсами служит *транспортирование воды*. В мире создан ряд крупных систем переброски стока вод. В СССР в низовьях Амударьи построен Каракумский самотечный канал: по нему перебрасывается до  $10 \text{ км}^3/\text{год}$  воды на расстояние до 600 км (в будущем по проекту — до 1000 км). Другой канал перебрасывает воду Иртыша в Караганду на расстояние около 500 км.

По прогнозам в ближайшие десятилетия водные ресурсы ряда

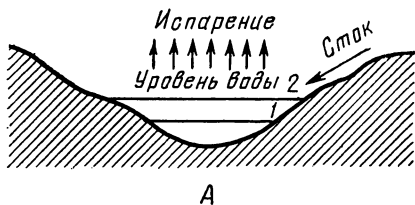
районов земного шара будут исчерпаны, поэтому разрабатывается проблема межбассейновой и межзональной переброски вод.

По данным А. П. Голикова (1982), в СССР необходимо увеличение водных ресурсов в республиках Средней Азии, где большой объем водопотребления связан с интенсивным развитием орошаемого хлопководства. В связи с этим ведутся интенсивные исследования возможностей переброски речного стока Оби и Енисея в бассейны Аральского и Каспийского морей. С его осуществлением предполагается существенно улучшить и состояние внутренних морей СССР, и перспективы дальнейшего развития орошаемого земледелия в Средней Азии и Казахстане.

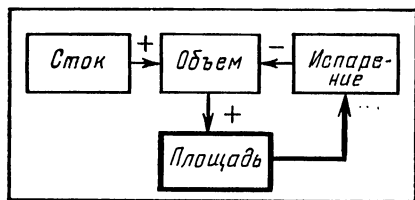
Проект межзональной переброски вод в Европейской части СССР предусматривает поступление вод Печоры и Северной Двины в бассейны Волги и Днепра. Канал Дунай — Днепр предназначен для изменения структуры водного баланса засушливых районов Юга УССР и улучшения состояния приустьевых частей рек бассейна Черного моря.

Средством управления водным балансом территорий является *регулирование речного стока*. Для регулирования речного стока на земном шаре создано 1350 водохранилищ объемом более 4100 км<sup>3</sup>. По данным М. И. Львовича, в результате регулирующего действия водохранилищ годовой объем устойчивого стока рек возрос на 15 %.

Создание водохранилищ имеет и отрицательную сторону. Под них отводятся удобные для сельского хозяйства земли. С зеркала водохранилищ происходит значительное испарение воды, вызываю-



А



Б

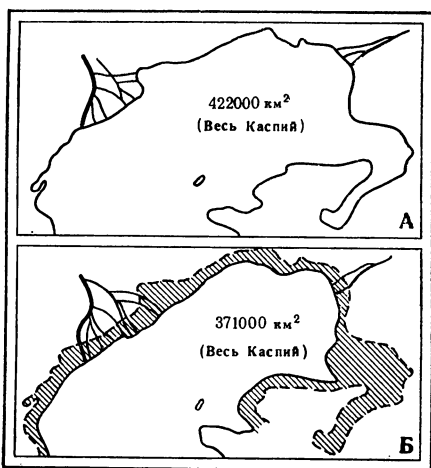


Рис. V.11. Уменьшение площади зеркала воды при понижении уровня Каспийского моря с 1930 г. (по К. К. Маркову и др., 1978):

А — Северный Каспий в 1930 г.; Б — в 1969 г.

Рис. V.10. Автоматическое регулирование по принципу отрицательной обратной связи:

А — бессточное озеро, уровень воды в котором определяется равенством стока и испарения; 1, 2 — уровни воды (см. текст); Б — модель системы «бессточное озеро»; выделены управляющий элемент и контур управления



шее перераспределение водного баланса. Во многих водохранилищах имеет место значительная инфильтрация воды.

На рис. V. 10 приведена упрощенная схема модели бессточного озера. В таком водоеме положение уровня воды определяется равенством прихода (стока) и расхода (испарения), т. е. приход и расход должны в водоеме находиться в состоянии динамического равновесия. Нарушение равновесия включает в действие систему автоматического регулирования. Например, превышение испарения над стоком приведет к уменьшению объема воды и, следовательно, к сокращению площади испарения; уменьшение площади испарения вызывает уменьшение испарения. Так происходит до тех пор, пока нарушенное равновесие восстановится. По аналогии можно оценить и другие воздействия системы регулирования в случае нарушения равновесия. Каждый раз уровень водоема будет стабилизироваться на определенной отметке.

Реальным примером описанного процесса могут служить колебания уровня Каспийского моря (рис. V. 11). Снижение уровня моря вызывает значительное сокращение площади зеркала воды, следовательно, уменьшает расход воды на испарение. Такая система должна стабилизироваться, так как является *системой отрицательной обратной связи*.

#### **В.7. ТЕХНОГЕННЫЕ ПОТОКИ ВЕЩЕСТВА И СПОСОБНОСТЬ ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ К САМООЧИЩЕНИЮ**

Продукты техногенеза, образующиеся в процессе промышленной и сельскохозяйственной деятельности, а также бытовые загрязнения, попадая в окружающую среду, ведут себя по-разному в зависимости от миграционной способности в конкретных природных обстановках, наличия геохимических барьеров, отношения к ним живых организмов (они могут поглощать эти продукты, накапливать, включать в биотические круговороты и т. д.), т. е. в зависимости от ландшафтно-географического фона, под контроль которого они попадают. Ниже изложены некоторые результаты исследований техногенных потоков вещества А. И. Перельмана, М. А. Глазовской, В. В. Добровольского и других ученых в аспекте возможного косвенного воздействия на них. В глобальном масштабе *геохимическими барьерами* являются все активные поверхности — границы раздела геосфер, почва, уровень грунтовых вод и т. д. Активные поверхности могут иметь различный ранг. В геохимии ландшафта обычно рассматриваются активные поверхности низших рангов. Они в совокупности (благодаря иерархической организации географической оболочки) оказывают региональное и глобальное воздействия.

Состав и напряженность геохимических потоков вещества испытывают резкие изменения на границах участков территории, характеризующихся различными физико-химическими или (и) термодинамическими условиями: окислительно-восстановительными (Eh), кислотнo-щелочными (pH), фильтрационно-сорбционными, седиментационными, биогеохимическими, а также определенными тем-

пературой и давлением. Ряд веществ теряет подвижность, переходит в инертные нерастворимые формы и аккумулируется. При этом может происходить загрязнение среды в зоне геохимического барьера, зато транзитный поток вещества очищается. Такой процесс играет большую роль в глобальном аспекте.

А. И. Перельман выделяет следующие типы ландшафтно-геохимических барьеров: 1) *биогеохимические*; 2) *физико-химические* (окислительные, восстановительные глеевые, восстановительные сульфидные, сульфатно-карбонатные, щелочные, кислые, испарительные, адсорбционные, термодинамические); 3) *механические*. На каждом барьере задерживается определенная ассоциация химических элементов, утрачивающих подвижность в данной обстановке.

По форме ландшафтно-геохимические барьеры бывают двух типов: *линейные* и *площадные*. К линейным барьерам относятся границы раздела природных территориальных комплексов различных рангов на земной поверхности. Площадные барьеры формируются на границах природных тел, обладающих различными свойствами. Они могут охватывать более или менее значительную площадь земной поверхности или акватории, отличающейся по физико-химическим свойствам от фона (определенный тип ландшафта, почвы, растительного покрова и т. д.).

Техногенные вещества, поступающие на поверхность почвы, встречаются с новой (по сравнению с воздушной или водной средой) геохимической обстановкой. Часть из них сразу же улавливается верхним слоем почвы, другая часть проникает в глубь почвенного профиля. Различные горизонты почв обладают неодинаковыми свойствами. Например, в переувлажненных почвах в верхнем горизонте — окислительная, а в нижнем — восстановительная среда. Каждая среда по-разному воздействует на миграционную способность химических веществ. Типы почвенно-геохимических барьеров и их воздействие на подвижность химических элементов приведены в табл. V. 7.

В таблице над чертой показаны очень токсичные, под чертой — менее токсичные элементы. Если переувлажненная почва находится в нейтральных условиях (например, участок поймы реки в пределах лесостепи), в ее верхнем горизонте с окислительной средой накапливается свинец, а в нижнем (восстановительный глеевый) горизонте — свинец, кадмий, медь, цинк, кобальт.

Химические соединения, попадающие в почву, изменяются. Например, кислоты, образующиеся в атмосфере в результате соединения с водой диоксида серы, оксида углерода и других газов — выбросов топок, попадая в почву, активно нейтрализуются в щелочных условиях в южных полупустынных районах и сохраняются в северных районах, где почва обладает кислой реакцией. Щелочные загрязнения воздействуют в обратном направлении. По-разному нейтрализуются или перемещаются в почве и другие загрязнители: пестициды, тяжелые углеводороды и др.

Следовательно, по отношению ко многим минеральным и органическим веществам почвы являются фильтрами. Это их свойство

Таблица V.7. Типы почвенно-геохимических барьеров (по М. А. Глазовской, 1981, с изменениями)

Окислительно-восстановительные условия	Подвижность и накопление элементов		
	слабая, активное накопление	умеренная, накопление и частичный вынос	высокая, вынос

*Кислотно-щелочные условия: кислые*

Окислительные	— Mn, Mo	Pb, As, Se Ni, Cr, V	Cd, Hg Cu, Zn
Восстановительные глеевые	As, Se Mo, V	Pb, Cd, Hg Ni, Cr, Cu, Zn, Co	— —

*Кислотно-щелочные условия: нейтральные и щелочные*

Окислительные	Pb —	Cd, Hg Zn, Mo, Cu, Co, Ni, Cr	As, Se —
Восстановительные глеевые	Pb, Cd Cu, Zn, Co	As, Se Mo, V, U, Ag	Hg Ni
Восстановительные серодородные	Pb, Cd, Hg, As, Se Cu, Zn, Co, Ni, Cr, Ag	V, U, Mo	— —

используется для нейтрализации и фильтрации промышленных и бытовых стоков на полях орошения городских канализационных систем. Фильтрационные свойства почвы — положительные с точки зрения очистки стоков (а также загрязненных атмосферных осадков). Эти же свойства могут быть и отрицательными. Химические элементы и соединения, в том числе токсичные, могут накапливаться в почве, мигрировать в растения, обладающие способностью избирательного поглощения и накопления, и далее по пищевой цепи. Такие примеры сложной миграции химических загрязнений неоднократно фиксировались в различных районах мира.

М. А. Глазовская (1981) считает, что для научного обоснования предельно допустимых концентраций токсичных веществ и потока загрязнений, при которых не нарушалось бы нормальное функционирование почв, необходимо всю совокупность почв разделить на группы, сходные по характеру ответных реакций на различные техногенные воздействия. Показателем нормального функционирования почв может служить, по М. А. Глазовской, ее биологическая продуктивность, а также отсутствие накопления в биомассе растений, произрастающих на этих почвах, чуждых и нарушающих жизненные функции растений элементов. В почвенной биоте должны сохраняться все полезные группы организмов.

М. А. Глазовская также считает, что при всем многообразии поступающих в почву веществ они могут быть разделены на педохимически активные и биохимически активные. *Педохимически активные* вещества изменяют кислотно-щелочные и окислительно-вос-

становительные свойства почв и тем самым влияют, как уже было сказано, на подвижность веществ в почве. Это кислоты, щелочи, воздействующие на кислотно-щелочные свойства; органическое вещество, увеличивающее восстановительный потенциал (отнимает кислород для окисления), и т. д. Педохимически активны некоторые газы (сероводород, метан и др.), создающие восстановительную среду. Углекислый кальций, концентрируемый степными растениями в черноземных и каштановых почвах, повышает ее устойчивость по отношению к кислым загрязнениям. То же значение имеют сода, гипс для солончаков и солонцов аридных районов.

*Биохимически активные* техногенные вещества действуют прежде всего на живые организмы. Общее изменение почвенно-геохимической обстановки происходит не сразу, а развивается как следствие нарушения почвенной биоты. К таким веществам относятся пестициды, гербициды, некоторые углеводороды, все токсичные микроэлементы (см. табл. V. 2) и др. Их избыточное содержание в почве и поступление в организмы растений, а также животных и людей вызывает заболевания последних.

Буферность почв и всей экосистемы по отношению к воздействию техногенных потоков веществ зависит от совокупности процессов, выводящих избыточные активные продукты из биологического круговорота. К ним относятся:

1. Процессы вымывания токсичных веществ за пределы почвенного профиля.

2. Консервация токсичных веществ на геохимических барьерах в недоступных для живых организмов формах.

3. Разложение токсичных химических соединений до форм, не опасных для живых организмов.

Важным свойством почвы, влияющим на ее отношение к токсичным веществам, является ее *водный режим*. В почвах с *промывным режимом* (инфильтрация образует транзитный направленный вниз поток) наименее опасны подвижные соединения и элементы, так как они уносятся из почвенного профиля. В почвах с *водозастойным режимом* даже малые количества растворимых загрязнений представляют опасность. Они накапливаются в водоносном горизонте почвы, усугубляя загрязнение. Водный режим почвы в определенной мере зависит от *механического состава почвообразующих горных пород*. На почвах легкого (песчаного, супесчаного) механического состава вероятность загрязнения растворимыми веществами ниже, чем в почвах тяжелого (суглинистого, глинистого) механического состава.

Следовательно, почвы, обладающие определенными свойствами, дифференцируют поток техногенных веществ, видоизменяют его и расщепляют на отдельные частные потоки (некоторые из них заканчиваются в различных горизонтах почвы). Почва выступает в качестве фильтра, емкости и химического реагента, обезвреживающего часть загрязнений.

Управление свойствами почвы с определенной целью — один из изученных вопросов почвоведения и агрохимии. Такое внимание к

разработке управления свойствами почв объясняется необходимостью направленного воздействия на свойства почвы, определяющие ее плодородие. Например, известный прием — известкование кислых почв — является средством управления подвижностью химических элементов и соединений путем изменения ее кислотно-щелочных свойств. Внесение гипса (гипсование почв) позволяет уменьшить щелочность некоторых почв (солонцов, солончаков) и тем самым улучшить физико-химические и биологические свойства почвы. Очевидно, что методы, которые применяются исключительно для повышения плодородия, можно использовать для регулирования свойства почвы как «приемника» загрязнений техногенного происхождения. Так, в слабокислых и нейтральных почвах с хорошим воздушным режимом (дерново-подзолистые, серые лесные и др.) свинец, токсичный для живых организмов, переходит в нерастворимые соединения и исключается из биологического круговорота. Этому будет способствовать нейтральная (даже слабощелочная) реакция, поддерживаемая известкованием почв. В нейтральной среде подвижны и поэтому легко вымываются соединения цинка, ванадия, мышьяка и других токсичных элементов. По мере уменьшения кислотности почв опасность загрязнения этими элементами увеличивается<sup>1</sup>.

**Регулирующая роль растительности в миграции химических элементов.** В миграции химических элементов в системе атмосфера — растительность — почва существенная роль принадлежит растительности. Она выполняет роль регулятора, воздействующего на загрязнения избирательно. Большое значение имеют видовой состав, разнообразие и соотношение видов, слагающих данный биоценоз.

Сложная геохимическая структура естественных биоценозов, в которых различные группы и виды организмов являются аккумуляторами разных элементов, обуславливает большую устойчивость их по отношению к техногенным геохимическим факторам, чем естественных агроценозов сельскохозяйственных полей. Это связано с тем, что в естественных биоценозах коэффициенты биологического поглощения микроэлементов, например, различны у разных видов, поэтому растения не конкурируют между собой и в то же время избавляют почву от избытка определенных элементов и соединений. В условиях монокультуры один и тот же вид (или группа геохимически сходных видов) поглощает только определенный набор элементов, неиспользуемые элементы оказываются биологически «бесполезными» и накапливаются в почве.

Растения по-разному регулируют поток химических веществ через свой организм. Безбарьерные растения не обладают регулирующей способностью, поэтому содержание элемента в них определяется его концентрацией в почве. Если концентрация в почве токсич-

---

<sup>1</sup> См.: Глазовская М. А. Теория геохимии ландшафтов в приложении к изучению техногенных потоков рассеяния и анализу способности природных систем к самоочищению. — В сб.: Техногенные потоки вещества в ландшафтах и состоянии экосистем. М., 1981.

на, растения такого типа гибнут. Иногда их используют в качестве индикаторов определенных веществ. Исследуя золу растений, устанавливают, где содержание нужных элементов аномально. Так ищут, например, месторождения рудных ископаемых, нефти и газа.

Низкобарьерные растения характеризуются определенной зависимостью состава от биохимически активных веществ в почве. Средне- и высокобарьерные растения являются основными биогеохимическими барьерами, так как они не пропускают биохимически активные элементы через свой организм и тем самым способствуют формированию в почве техногенных и биогеохимических аномалий.

Накопление элементов в биомассе безбарьерных и низкобарьерных растений может вызвать образование вторичных аномалий на поверхности почвы — в опаде, степном войлоке, а также в верхних горизонтах почвы. Кроме того, растения способны выделять химические элементы в воздух, транспирируя их вместе с влагой (например, тяжелые металлы, по данным Ж. Детри, 1973). М. А. Глазовская предполагает, что типы барьерности растений на самом деле различаются не входом (поглощением с различной интенсивностью элементов), а выходом — выделением определенных элементов в окружающую среду. Безбарьерные растения обладают наименьшей такой способностью, поэтому в их организмах содержание элементов наибольшее.

Следовательно, растения выполняют как бы две противоположные функции в управлении потоками вещества (в том числе антропогенного происхождения): с одной стороны, они являются концентраторами элементов (за счет избирательного поглощения из внешней среды), с другой — рассеивателями элементов через воздушную среду. Обе функции важны в аспекте управления техногенным потоком вещества. Правда, вторая изучена пока недостаточно. Следовательно, через воздействие на среду возможно управлять функциями растений в техногенных потоках вещества. Растительный покров более мобилен и легче поддается мелиорациям, чем почва, поэтому функции растений и сами растения можно подбирать в зависимости от того, какие загрязнения необходимо локализовать (с помощью концентраторов) или рассеять.

В качестве примера, иллюстрирующего возможности автоматического регулирования в системе почва — растения, приведем предположение известного геохимика-ландшафтоведа А. И. Перельмана относительно причин кризиса растительного покрова в палеозое, приведшего к его изменению. Последнее установлено по палеонтологическим данным.

А. И. Перельман утверждает, что в палеозое накопление большой органической массы во влажнотропических лесах привело к противоречию в развитии жизни: чем сильнее была в ландшафте биогенная аккумуляция, тем больше разлагалось остатков живых организмов и энергичнее происходила минерализация органического вещества. В почвах формировалась кислая среда, происходило кислое выщелачивание — приобретали подвижность соединения кальция, калия, магния, фосфора, серы, меди, цинка и других эле-

ментов. В результате в палеозойских лесах на основе механизма положительной обратной связи возникало минеральное голодание растений: чем лучше растение было обеспечено водой, светом и теплом, тем хуже становилось минеральное питание. Так биологический круговорот привел, по мнению А. И. Перельмана, к противоречию между световым и минеральным питанием растений. Растения сами стали ухудшать условия своего существования. Подобное противоречие может возникать и в настоящее время под воздействием хозяйственной деятельности человека («кислые дожди» на кислых почвах северной лесной зоны).

### **в.8. ПОЛЯРНЫЕ ЛЬДЫ И ИХ ПЛАНЕТАРНАЯ РОЛЬ**

Ученые и практики неоднократно обращались к вопросу, а что если растопить полярные льды, освободить Землю от оледенения и тем самым значительно улучшить климат Арктики. Появится возможность полнее использовать природные ресурсы арктических и субарктических районов, развивать земледелие за полярным кругом и т. д. П. М. Борисов, например, считал, что полярные льды можно растопить, построив плотину в Беринговом проливе для перекачки воды из Берингова моря в Северный Ледовитый океан. Некоторые зарубежные ученые, в частности Г. Флетчер (1966), пришли к выводу о целесообразности растопления льдов Арктики при помощи атомной энергии. Приведенные варианты решения одной проблемы основаны на различных подходах. Вариант П. М. Борисова — пример преднамеренного косвенного воздействия на оледенение через изменение циркуляции путем строительства плотины и перекачки вод, т. е. носит характер управления. Второй вариант предполагает подход к природе с позиции силы: выработке гигантского количества энергии для растопления льда, т. е. путем прямого воздействия на термодинамический процесс.

Целесообразность изменения состояния географической оболочки в северном полушарии в определенной мере зависит от того, насколько устойчиво состояние оледенения и создаваемой искусственно «безледовой» обстановки. Если равновесие в одном из случаев устойчиво, тогда система самопроизвольно будет возвращаться к нему, будучи выведенной из такого состояния.

М. И. Будыко (1969) доказал, что теоретически оба состояния Арктики — ледовое и безледное — неустойчивы. Следовательно, с помощью управляющих воздействий можно перевести систему из одного состояния в другое. Одним из возможных способов такого перехода может быть уже разобранный выше. Льды Арктики могут растаять самопроизвольно при уменьшении облачности в Северной части Атлантического океана и снижении скорости испарения влаги с его поверхности в этом районе. В результате температура океанских вод, поступающих из Северной Атлантики в Северный Ледовитый океан, повысится, следовательно, усилится приток теплоты в Северный Ледовитый океан. Благодаря неустойчивому термическому равновесию, свойственному Арктике, состояние равновесия сдвинется (на основании принципа Ле Шателье) в направлении внеш-

него воздействия, т. е. в сторону повышения температуры, что и приведет к желаемому результату — повышению температуры.

На основании данных о загрязнении Северной Атлантики нетрудно сделать вывод о том, что развитие системы непреднамеренно идет по пути, теоретически разработанному М. И. Будыко. Хорошо ли это? Стоит ли (если подходить к этому комплексно) растапливать льды или же необходимо их сохранять?

Известно, что состояние оледенения Арктики присуще Земле относительно недолго. Палеогеографический (палеоизотопный) анализ позволяет установить, какими были температуры в Арктике и в других районах Мирового океана при безледном режиме, а палеопедологические, палеоландшафтные исследования дают сведения о состоянии наземных ландшафтов и положении географических зон в прошлом.

На рис. V. 12 показано изменение температур по широтам (в средних и высоких широтах) в ледниковом климате. Из данных графика видно, что на широтах 60—90°, т. е. в Субарктике и Арктике, благодаря полярным льдам температура ниже по отношению к температуре неледникового климата на 12—15°С, в умеренных и низких широтах — не более чем на 5°С. Из данных графика также следует, что наличие полярных льдов увеличивает температурный контраст между низкими и высокими широтами. Теоретически вычисленные температуры для безледного режима в Арктике приведены в табл. V. 8 (по М. И. Будыко, 1969).

Из данных таблицы видно, что распределение температур в Арктике типичное для морского климата северо-западной Европы. Теоретические результаты хорошо согласуются с палеоклиматическими реконструкциями. В целом в Арктике температура воды зимой не снижается до точки замерзания морской воды. В отдельных районах такое замерзание вероятно. При естественных флуктуациях климата могут чередоваться годы с образованием льда и без образования льда.

С возникновением ледяного покрова увеличивается альbedo, следовательно, снижается приходная часть радиационного баланса. Поэтому при замерзании и образовании ледяных полей соответственно изменяется радиационный баланс Арктики в сторону уменьшения. Это может привести к возобновлению оледенения по схеме

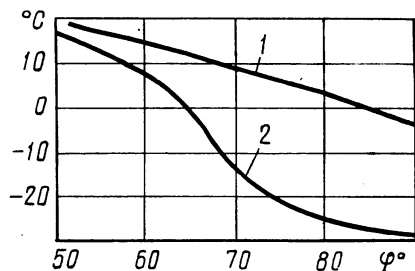


Рис. V.12. Изменение температуры по широтам в ледниковом климате (по Ч. Бруксу, 1952):

1 — распределение температур по широтам в неледниковом климате; 2 — то же, в ледниковом

Таблица V.8. Температура в Арктике

Компонент	Лето	Зима
Вода	+4,3	-0,8
Воздух	+5,8	-5,4



управления с положительной обратной связью. Последнее свидетельствует о неустойчивости безледного состояния Арктики. Следовательно, воздействие на оледенение Арктики в виде разового растопления льдов может оказаться неэффективным. (Вспомним пример с механическим аналогом радиационного баланса: один раз резко изменить уровень воды в сосуде — не значит изменить состояние динамического равновесия. Оно самовосстановится на прежнем уровне.) *Воздействие должно быть пусть слабым, но постоянным* (типа изменения циркуляции вод, изменения испарения с поверхности океана и т. д.).

Остается открытым вопрос: как повлияет уничтожение оледенения Арктики на природу земного шара в целом? Выше уже отмечалось, что оледенение обеспечивает повышенную разность температур между низкими и высокими широтами, так как средняя температура в высоких широтах в ледниковом климате на  $15^{\circ}\text{C}$  ниже, чем в неледниковом, а зимняя температура еще ниже (до  $40^{\circ}\text{C}$ ). Эффективность работы тепловой машины определяется разностью температур нагревателя и холодильника. В машине первого рода нагревателем служит экваториальная, холодильником — полярные области. Температура нагревателя под влиянием оледенения понижается незначительно, а температура холодильника — существенно. Таким образом, под воздействием оледенения Арктики усиливается меридиональный перенос тепла в системе планетарной циркуляции атмосферы. Видимо, это относится и к океанским тепловым машинам третьего рода. Как известно, меридиональный градиент температур — движущая сила всей системы планетарной циркуляции атмосферы. Уменьшение градиента в случае таяния льда приведет к снижению интенсивности циркуляции, а это скажется на глобальном климате.

Известно, что флуктуации погоды и климата в Европе в значительной мере определяются преобладанием меридиональной или широтной циркуляции, т. е. действием тепловых машин первого или второго рода соответственно. Снижение меридионального градиента температур ведет к ослаблению действия машины первого рода, т. е. меридионального переноса тепла, и соответствующему усилению широтного переноса. Усиление широтного переноса особенно существенно отражается на климате умеренных широт (увеличение облачности, повышение зимних температур, снижение радиационного баланса и т. д.). В связи с уменьшением оттока тепла от экваториальных районов их температура повысится.

Наконец, таяние льдов Арктики не пройдет бесследно для Гренландии и для южного полушария. Средняя температура льда Гренландии незначительно ниже нуля, т. е. ледяной щит находится в состоянии неустойчивого равновесия со средой. Таяние материкового ледяного щита под влиянием потепления неизбежно. В таком случае включается механизм положительной обратной связи: уменьшение площади ледника — снижение его охлаждающего влияния — повышение уровня океана — уменьшение альбедо в освободившейся ото льда зоне — потепление — дальнейшее уменьшение площа-

ди льда и т. д. В результате таяния ледника Гренландии уровень Мирового океана поднимется на 10 м. Это приведет к уменьшению площади суши, судя по гипсографической кривой Земли, на несколько миллионов квадратных километров, к смягчению климата Земли, в особенности в зимний период.

Смягчение температурных контрастов между арктическими широтами и экваториальными областями вызовет повышение температуры в последних. Возрастет температурный градиент между экваториальными областями и Антарктикой, а также между северным и южным полушариями. Последнее, в свою очередь, усилит меридиональный перенос тепла в южное (более холодное) полушарие. Возникнет (усилится) термическая диссимметрия Земли: южное полушарие станет холодильником по отношению к северному. В связи с этим произойдут изменения глобальных систем циркуляции, возможно, деградация оледенения Антарктики. Таяние ледников Антарктики, несомненно, явится бедствием для населения земного шара, так как приведет к заметному повышению уровня Мирового океана (суммарно до 60 м), т. е. затоплению суши до указанной изогипсы. Большая часть наиболее обжитых и освоенных районов, в том числе многие житницы мира, окажутся затопленными. Такие крупные изменения неизбежно приведут к неравномерному перемещению системы географических зон. На консервативные компоненты и элементы ландшафта (кора выветривания, почва) будут накладываться не свойственные им подвижные элементы и компоненты (тип климата, увлажнение, растительность). В результате на всем земном шаре установится переходный процесс в ландшафтах, вплоть до выработки нового состояния равновесия. Пока нет возможности хотя бы приблизительно судить о характере изменений ландшафтов, поэтому можно только воспользоваться палеогеографическими реконструкциями для межледниковий. По К. К. Маркову (1960), в межледниковые эпохи смещения ландшафтных зон составляли 5—15° широты, причем зоны высоких широт смещались существенно, чем низких. Элементы прежних зон на той же территории включались в состав новой системы зональности, возникали реликтовые элементы, усложнялась общая структура ландшафтов.

Таким образом, *частное изменение* — возникновение и развитие или деградация оледенения — *оказывает всеобщее воздействие на географическую оболочку*. Механизм превращения частного воздействия во всеобщее в условиях географической оболочки рассмотрен в ряде работ<sup>1</sup>.

Под действием морских и материковых льдов возрастает меридиональный градиент температуры, так как вследствие уменьшения радиационного баланса (возрастания альбедо) снижается нагрев высокоширотных районов. Нарастание градиента усиливает циркуляцию, причем перенос воздуха из низких широт и увеличение

<sup>1</sup> См.: Лебедев В. Л. и др. Океан как динамическая система. Л., 1974, -с. 80—86.

скорости ветра способствуют увеличению облачности, а также выпадению осадков. Возникает положительная обратная связь, потому что следствия усиления циркуляции способствуют дальнейшему возрастанию меридиональных контрастов: увеличению облачности, выпадению осадков (частично) в виде снега. Оледенение способствует дальнейшему повышению суровости климата в высоких широтах. Если этот процесс приведет к охлаждению океана, повысится растворимость  $\text{CO}_2$  в океанической воде, следовательно, уменьшится парниковый эффект и еще более возрастет суровость и контрастность климата.

При разрушении оледенения все описанные процессы происходят в обратном направлении также по схеме положительной обратной связи, т. е. с самоусилением. Спрашивается, почему же тогда и безледный режим, и состояние оледенения являются неустойчивыми?

Неустойчивость объясняется возникновением автоколебаний в системе земная поверхность — атмосфера — океан — оледенение (последний элемент существует периодически). Автоколебания обусловлены различной инерционностью (разным характерным временем, временем релаксации) элементов системы.

Например, океан оказывается самым инертным элементом. Это связано с особым свойством морской воды — максимальной плотностью при температуре замерзания. В силу этого океан не может замерзнуть с поверхности, не охладившись на значительную глубину (охлаждающаяся вода из-за высокой плотности постоянно будет погружаться, не достигнув точки замерзания). Огромное значение при замерзании (образовании льда) имеет приток пресных вод, которые из-за малой плотности растекаются по поверхности океана. Пресная вода, охлаждаясь ниже  $+4^\circ\text{C}$ , всплывает на поверхность, так как ее плотность при этом уменьшается.

Итак, соленая океанская вода, охлаждаясь, приобретает повышенную плотность и погружается; в силу огромной теплоемкости океана потребуется длительное охлаждение для того, чтобы замерзание стало устойчивым. По данным моделирования, выполненного С. Я. Сергиным (1968), переходный период для океана длится около 25 тыс. лет (см. рис. III. 27 и рис. V. 4). С точки зрения человеческой истории 25 тыс. лет — огромный отрезок времени. Но важно не только то, что льды, растаяв, возникнут вновь через 25 тыс. лет. Более важно то, что система, будучи выведенной из неустойчивого равновесия, перейдет в автоколебательный режим. Практически это означает постоянную изменчивость в пространстве и времени основных характеристик погоды. Нестабильность погодноклиматических условий в ряде случаев приводит к существенным потерям урожая, нарушению планов народнохозяйственного развития страны, так как не позволяет учесть флуктуации погоды и приспособиться к географическим условиям ни в каждой конкретной территории, ни в стране в целом.

Общий вывод следующий: *оба состояния географической оболочки — ледниковое и неледниковое — неустойчивы.* Это свидетельст-

вует о том, что всякое изменение, если оно воздействует на оледенение, приводит к возникновению неустойчивого колебательного режима взамен неустойчивого равновесного (метастабильного). При существующей тенденции потепления климата Земли задача состоит в сохранении оледенения Арктики, чтобы через системы положительной обратной связи этот процесс потепления и деградации оледенения не усилился до катастрофических масштабов.

Поскольку невозможно исключить воздействия антропогенной деятельности, приводящие к потеплению, необходимо включение механизмов управления, которые бы нейтрализовали тенденцию непреднамеренного направленного изменения природы и направленно вели бы к восстановлению равновесного состояния. Стремление же к растоплению льдов представляется по крайней мере преждевременным.

Учитывая, что использование тонких механизмов управления обеспечивает значительный эффект при малом воздействии на управляющий механизм, *необходима основательная разработка моделей планетарного прогноза и управления на количественном уровне*, поскольку процессы изменения, будучи необратимыми, могут привести к отрицательным последствиям.

По расчетам М. И. Будыко, при положительной аномалии летних температур воздуха, равной  $4^{\circ}\text{C}$ , лед толщиной 4 м растает в Арктике за четыре года, после чего оледенение будет иметь сезонный характер. Этот расчет свидетельствует о крайне большой опасности непреднамеренного направленного изменения климата и ландшафта Земли под влиянием антропогенной деятельности.

### Вопросы и задания для самостоятельной работы

1. Какие основные вещественные воздействия испытывает окружающая среда со стороны материального производства?
2. С чем связано ускоренное развитие энергетики в мировом хозяйстве?
3. Перечислите и охарактеризуйте воздействия на среду, связанные с развитием энергетики. Какие из них (прямые или косвенные) более существенны?
4. Как уменьшить отрицательное воздействие энергетики на окружающую среду?
5. Какие положительные и отрицательные структурные изменения в окружающей среде производит человечество?
6. Какие блоки мониторинга окружающей среды вам известны, каково их значение для общего землеведения?
7. Чем отличается система мониторинга от существующих средств и способов получения информации об окружающей среде?
8. Глобальные процессы по массе и энергии превосходят антропогенные. Как можно на них воздействовать, учитывая ограниченные возможности человечества?
9. Объясните, как воздействуют на радиационный баланс:  
а) выпадение снега, б) изменение аспекта (внешнего вида) ландшафта по сезонам года в умеренном поясе; в) распашка степи; г) застройка территории.
10. Объясните, как воздействует орошение поля на его радиационный и тепловой баланс.
11. Перечислите, какими способами можно нейтрализовать тепловое загрязнение географической оболочки?
12. Что такое система? В чем главная идея системного подхода и чем она полезна для географии?

**13.** Какие типы воздействий на окружающую среду можно выделить? Какие из них предусматриваются и планируются? Оцените с этой точки зрения воздействия, которые описаны в V.1.

*Задания для реферата*

**14.** Составьте схематическую карту изменения площади суши в случае полной деградации оледенения Земли (самостоятельная работа). Дайте анализ карты.

**15.** Обсудите вопрос целесообразности растопления льдов Арктики (самостоятельная работа).

**16.** Объясните причины изменения уровня Каспийского моря. Обратимый ли это процесс? Как на него можно воздействовать? Составьте схему по аналогии с рис. V.10 и укажите на ней возможные воздействия на систему бессточного озера на примере Каспийского моря.

**17.** По аналогии рассмотрите воздействия хозяйственной деятельности на Аральское море. Какие средства улучшения экологической ситуации в бассейне Аральского моря вам известны? А что вы можете предложить сами (по аналогии с примерами, описанными в главе V)?

**18.** Рассмотрите проточное озеро. Чем отличается система автоматического регулирования проточного озера от предшествующей? На примере оз. Севан охарактеризуйте возможности преднамеренного косвенного изменения стока.

**19.** Как влияет переброска стока на природные системы автоматического регулирования? Охарактеризуйте, с этой точки зрения, действующие и проектируемые системы переброски стока поверхностных вод.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

---

В марте 1980 г. на всех континентах была торжественно провозглашена *Всемирная стратегия охраны природы* — важный международный документ, выражающий коллективную озабоченность народов состоянием географической среды и содержащий конструктивную программу совместной природоохранной деятельности, воспитания всех членов общества в духе уважения, бережного и рачительного отношения к природе — источнику материальных и духовных благ человечества.

Основные положения стратегии были разработаны Международным союзом охраны природы и природных ресурсов (МСОП), членами которого являются более 400 правительственных учреждений и природоохранительных организаций более чем в 100 странах, при участии и поддержке комиссии Программы ООН по окружающей среде (ЮНЕП), Всемирного фонда охраны живой природы (ВВФ), организации ООН по вопросам продовольствия и сельского хозяйства (ФАО), организации ООН по вопросам образования, науки и культуры (ЮНЕСКО). Свой вклад в усовершенствование, доработку и согласование проекта Всемирной стратегии охраны природы внесли многие международные организации.

Важность Всемирной стратегии охраны природы для живущих и будущих поколений состоит в том, что она представляет собой как бы собранный воедино концентрированный опыт всех стран и народов в благородном и гуманном деле охраны природной среды.

Советский народ гордится тем, что СССР — первая в мире страна, в Конституции которой закреплены принципы научного, рационального природопользования. Эти принципы активно реализуются в практической деятельности и других стран — членов СЭВ; они оказали и продолжают оказывать влияние на формирование в рамках ООН Всемирной стратегии охраны природы.

Решить экологические проблемы в глобальном масштабе человечество может только совместными усилиями и в связи с решением других общих проблем человечества: проблемы обеспечения условий для поступательного развития всех стран и народов, проблемы борьбы с голодом, повышения эффективности исследований в связи с использованием и выявлением новых ресурсов, разработки комплексной энергетической программы и т. д.

Предпосылками успешного решения этих и других проблем современности являются сотрудничество, отказ от гонки вооружений и мир.

В 1979 г. в Женеве состоялось первое общеевропейское совещание на высоком уровне по сотрудничеству в области охраны окружающей среды. В приветствии участникам совещания тов. Л. И. Брежнев отметил: «Всем нам близка и понятна стоящая перед общеевропейским совещанием задача углублять и развивать сотрудничество по охране окружающей среды и тем самым содействовать улучшению жизни людей и сохранению их здоровья, более рациональному использованию природных ресурсов»<sup>1</sup>. Совещанием была принята программа, которая включает три документа: 1) конвенцию о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния, содержащую перечень мер, которые будут принимать участники совещания с целью сокращения объемов загрязнений атмосферы, переносимых через национальные границы; 2) резолюцию о сотрудничестве государств в областях, охватываемых конвенцией; 3) декларацию, содержащую рекомендации по разработке и внедрению безотходных технологий, которые предотвращают ущерб природной среде, и рациональному использованию ресурсов. В начале 1980 г. в Москве состоялась Международная конференция деловых кругов Востока и Запада по сотрудничеству в области охраны окружающей среды, на которой были обсуждены перспективы взаимовыгодного торгово-экономического, научно-технического и промышленного сотрудничества, а также другие области природоохранной деятельности.

Советский Союз выступил с гуманной инициативой о включении в повестку дня 35-й сессии Генеральной Ассамблеи ООН вопроса «Об исторической ответственности государств за сохранение природы Земли для нынешнего и будущих поколений».

Советский народ и прогрессивные силы мира неразрывно увязывают проблему охраны окружающей среды с процессом разрядки международной напряженности и созданием условий, исключающих военные конфликты.

Угроза экологического кризиса выявила, что материальное производство, труд — это не только сотрудничество человека с природой, это сотрудничество людей. Классовый антогонизм, войны всегда приводили к усилению стихийных, разрушительных тенденций в изменении окружающей среды.

Научно-техническая революция настоятельно требует ускоренного решения основных научных проблем современности и в то же время обеспечивает возможность объединения вокруг них различных отраслей знаний, совместных усилий науки и техники. Жизнь свидетельствует о том, что проблема географической среды — одна из важнейших общенаучных и общечеловеческих проблем — в настоящее время стала междисциплинарной.

Для решения всякой крупной проблемы необходима фунда-

---

<sup>1</sup> Брежнев Л. И. Ленинским курсом. М., 1981, т. 8, с. 182.

ментальная научная основа. На XXV съезде КПСС было обращено особое внимание на развитие фундаментальных исследований: «Именно прогресс фундаментальных знаний изменяет казалось бы установившиеся и незыблемые в науке точки зрения,— подчеркнул в своем выступлении на съезде президент АН СССР, акад. А. Н. Александров,— открывает новые области в науке и технике, коренным образом меняет технологию, приводит к появлению новых материалов и открывает возможности использования совершенно новых, часто неожиданных явлений в областях, совершенно не имевших никакого отношения к первоначальной области исследования»<sup>1</sup>. В проблеме окружающей среды фундаментальной научной основой является учение о географической оболочке. Это учение шире, чем концепция биосферы, так как его цель — изучение не только жизни, но, прежде всего, той среды, которая обеспечивает ее существование. И географы, и биологи, и экономисты, и политики теперь понимают, что сохранить окружающую среду — значит обеспечить и живые организмы, и человечество необходимыми условиями для их сохранения и дальнейшего развития; но уберечь живые организмы — это значит, прежде всего, сохранить среду их обитания — географическую оболочку и ее части. Это обстоятельство позволяет рассматривать учение о географической оболочке как наиболее общую фундаментальную основу рационального природопользования, а решение задач выявления и освоения механизмов регулирования и управления, характерных для географической оболочки,— основными естественнонаучными предпосылками решения экологических проблем.

С первого знакомства со строением земной поверхности в целом и по частям бросается в глаза ее кажущаяся хаотичность, отсутствие видимого порядка, подобного, например, гармонии небесной механики. Однако более глубокое изучение географической оболочки показывает, что ей свойственны регулярность, упорядоченность, высокая чувствительность регуляционных механизмов, сложность и богатство связей между составными частями, гибкость механизмов управления, обеспечивающие в значительной степени ее независимость от внешних условий, меняющихся в большей мере, чем внутреннее состояние географических систем.

Географическая оболочка с точки зрения географа — это и сложный механизм, и химическая лаборатория, и термо-, и хеостат, и среда жизни, и колыбель ее. Все это создано в процессе развития географической оболочки и неповторимо.

Несколько десятилетий назад некоторые ученые считали, что география исчерпала свой предмет вместе со стиранием последнего белого пятна на карте мира. Однако задача географии — науки о географической оболочке — не описание внешнего облика территории, а изучение существа объекта, исследование его структуры, процессов функционирования, истории образования различ-

---

<sup>1</sup> XXV съезд Коммунистической партии Советского Союза. Стенографический отчет. М., 1978, т. I, с. 218.



ных явлений и их свойств, наконец, умение воздействовать, судить о будущих состояниях и своевременно принимать меры против неблагоприятных изменений, готовиться к ним заблаговременно. При таком подходе научная проблематика, возможности практического использования достижений географической науки неисчерпаемы. Процесс познания географической оболочки в указанном смысле не может быть завершен за обозримое время усилиями одной лишь географической науки. Решить эту большую задачу можно только общими усилиями многих наук.

Впереди главное: синтез знания об окружающей среде человечества, синтез, в котором географии — наиболее синтетической, наиболее комплексной науке о природе — должна принадлежать по праву выдающаяся роль. Именно география является такой наукой, какой должна быть наука об окружающей среде человечества и законах управления ею для сохранения «экологического самообеспечения».

Несколько десятилетий тому назад известный советский почвовед и геохимик академик Б. Б. Полынов с горечью писал: «...Для того чтобы успешно переделывать природу, надо ее рассматривать как единое целое, в котором предметы и явления взаимообусловлены. Однако до настоящего времени мы не располагаем такой наукой, которая и сама рассматривала и учила бы нас познавать природу как единое связанное целое...<sup>1</sup>». Современная география и ее «сердцевина» — учение о географической оболочке как целостной, организованной системе отвечает таким целям.

---

<sup>1</sup> *Полынов Б. Б.* Учение о ландшафтах. — Избр. труды. М., 1956, с. 492.

## Литература

---

### *Введение*

- Материалы XXVI съезда КПСС. М., 1981.*  
*Энгельс Ф.* Диалектика природы.— Маркс К., Энгельс Ф. Соч. 2-е изд., т. 20.  
*Баррет Э., Куртис Л.* Введение в космическое земледевие. М., 1979.  
*Берг Л. С.* Географические зоны Советского Союза. М., 1947.  
Введение в физическую географию / *Марков К. К., Добродеев О. П., Симонов Ю. Г. и др.* М., 1978.  
*Виноградов Б. В., Кондратьев К. Я.* Космические методы земледевия. Л., 1971.  
*Герасимов И. П.* Советская конструктивная география. М., 1976.  
*Григорьев А. А.* Типы географической среды. М., 1970.  
*Исаченко А. Г.* Развитие географических идей. М., 1971.  
*Калесник С. В.* Общие географические закономерности Земли. М., 1970.  
*Марков К. К.* Палеогеография. М., 1960.  
*Плахотник А. Ф.* Структура наук об океане. М., 1981.  
*Сочава В. Б.* Введение в учение о геосистемах. Новосибирск, 1978.

### *Глава I. Земля во Вселенной*

- Войткевич Г. В.* Основы теории происхождения Земли. М., 1979.  
*Жарков В. Н.* Внутреннее строение Земли, Луны и планет. М., 1973.  
*Новиков И. Д.* Эволюция Вселенной. М., 1979.  
*Куликов К. А., Сидоренков Н. С.* Планета Земля. М., 1977.  
*Стейси Ф.* Физика Земли. М., 1972.

### *Глава II. Географическая оболочка, ее состав и структура*

- Базилевич Н. И., Родин Л. Е., Розов Н. Н.* Географические аспекты изучения биологической продуктивности / *Мат. V съезда Географического общества СССР.* Л., 1970.  
*Виноградов А. П.* Химическая эволюция Земли. М., 1959.  
*Воронов П. С.* Очерки о закономерностях морфометрии глобального рельефа Земли. Л., 1968.  
*Ермолаев М. М.* Введение в физическую географию. Л., 1975.  
*Котляков В. М.* Снежный покров Земли и ледники. Л., 1968.  
*Мировой водный баланс* и водные ресурсы Земли. Л., 1974.  
*Океан: активные поверхности и жизнь* / *Айзатуллин Т. А., Лебедев В. Л., Хайлов К. М.* Л., 1977.  
*Рябчиков А. М.* Структура и динамика геосферы. М., 1972.  
*Солнцев В. Н.* Системная организация ландшафтов. М., 1981.  
*Шубаев Л. П.* Общее земледевие, 2-е изд. М., 1977.

### *Глава III. Динамика географической оболочки*

- Арманд А. Д.* Обратная связь и саморазвитие рельефа.— В сб.: Вопросы географии, 1963, № 63.  
*Блютген И.* География климатов. М., 1972, т. 1; 1973; т. 2.

- Бондарев Л. Г. Вечное движение. М., 1974.  
 Будыко М. И. Воздействие человека на климат. Л., 1972.  
 Будыко М. И. Изменение климата. Л., 1974.  
 Вернадский В. И. Биосфера. Л., 1926.  
 Виноградов А. П. Круговорот веществ. БСЭ, 3-е изд., т. 3, с. 488.  
 Витвицкий Г. Н. Зональность климата Земли. М., 1980.  
 Дитрих Г., Калле К. Общее мореведение (Введение в океанографию). Л., 1961.  
 Дювиньо П., Танг М. Биосфера и место в ней человека. М., 1968.  
 Калесник С. В. Общие географические закономерности Земли. М., 1970.  
 Кондратьев К. Я. Радиационные факторы современных изменений глобально-го климата. Л., 1980.  
 Океан как динамическая система / Лебедев В. Л., Айзатуллин Т. А., Хайлов К. М. Л., 1974.  
 Лоренц Э. Н. Природа и теория общей циркуляции атмосферы. Л., 1970.  
 Мархинин Е. К. Вулканы и жизнь. М., 1980.  
 Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли. Л., 1974.  
 Монин А. С. История Земли. Л., 1977.  
 Монин А. С., Шишков Ю. А. История климата. Л., 1979.  
 Пальмен Э., Ньютон Ч. Циркуляционные системы атмосферы. Л., 1973.  
 Перельман А. И. Геохимия ландшафта. М., 1966.  
 Периодические процессы в геологии. Л., 1976.  
 Погосян Г. Х. Общая циркуляция атмосферы. Л., 1972.  
 Ретегюм А. Ю. О факторах и формах упорядоченности пространства Земли. — В сб.: Вопросы географии, 1977, № 104.  
 Родин Л. Е., Базилевич Н. И. Динамика органического вещества и биологический круговорот в основных типах растительности. М.—Л., 1965.  
 Ронов А. Б. Принципы сохранения жизни в ходе геологической эволюции Земли. — Природа, 1978, № 4.  
 Сватков Н. М. Основы планетарного географического прогноза. М., 1974.  
 Сербин В. Я., Сергин С. Я. Системный анализ проблемы больших колебаний климата и оледенения Земли. Л., 1978.  
 Степанов В. Н. Мировой океан. М., 1974.  
 Шипунов Ф. Я. Организованность биосферы. М., 1980.

#### Глава IV. Развитие географической оболочки

- Белоусов В. В. Земная кора и верхняя мантия океанов. М., 1968.  
 Будыко М. И. Изменения климата. Л., 1974.  
 Веллико А. А. Природный процесс в плейстоцене. М., 1973.  
 Виноградов А. П. Введение в геохимию океана. М., 1967.  
 Камелин И. М. Физическая география и наука будущего. М., 1970.  
 Камшилов М. М. Эволюция биосферы. М., 1974.  
 Каплин П. А., Леонтьев О. К. Происхождение и геологическая история Мирового океана. — В кн.: Физическая география Мирового океана / Под ред. акад. К. К. Маркова. Л., 1980.  
 Леонтьев О. К. Дно океана. М., 1968.  
 Марков К. К. Палеогеография. М., 1960.  
 Плейстоцен / Марков К. К., Веллико А. А., Лазуков Г. И., Николаев В. А. М., 1968.  
 Четвертичный период / Марков К. К., Лазуков Г. И., Николаев В. А. М., 1965, т. 1, 2.  
 Монин А. С. История Земли. Л., 1977.  
 Монин А. С., Шишков Ю. А. История климата. Л., 1979.  
 Сорохтин О. Г. Глобальная эволюция Земли. М., 1974.  
 Страхов Н. М. Типы литогенеза и их эволюция в истории Земли. М., 1963.  
 Флинт Р. История Земли. М., 1978.

*Глава V. Основы управления глобальными географическими процессами*

*Будыко М. И.* Глобальная экология. М., 1977.

*Будыко М. И.* Климат в прошлом и будущем. Л., 1980.

*Добровольский В. В.* Химия Земли. М., 1980.

*Исаченко А. Г.* Оптимизация природной среды. М., 1980.

*Качурин Л. Г.* Физические основы воздействия на атмосферные процессы. Л., 1978.

*Герасимов И. П.* Советская конструктивная география. М., 1976.

*Круговорот вещества* в природе и его изменения хозяйственной деятельностью человека / Под ред. А. М. Рябчикова. М., 1980.

Океан как динамическая система / *Лебедев В. Л., Айзатуллин Т. А., Хайлов К. М.* Л., 1974.

*Методологические аспекты* исследования биосферы. М., 1976.

*Перельман А. И.* Геохимия биосферы. М., 1973.

*Рябчиков А. М.* Структура и динамика геосферы, ее естественное развитие и изменение человеком. М., 1972.

*Физическая география* Мирового океана / Под ред. акад. К. К. Маркова. Л., 1980.

## ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Абиссаль 70  
Абразия 99  
Автоколебания см. периодические движения в географической оболочке 160  
Автономность географической оболочки 103  
Автотрофные организмы 67, 180  
Айсберг 129  
Альbedo 40  
— планетарное 112  
Альпийская орогеническая эпоха 187  
Антиподальность 78, 102  
Антициклоны см. атмосферная циркуляция 65, 124  
Апвеллинг 14, 73, 134  
Астеносфера 22, 45, 154  
Астероиды 20  
Астролема см. кольцевые структуры 14  
Атмосфера 37, 61, 121  
—, масса 37  
—, первичная 22, 173  
—, слои 63  
—, — гетеросфера 65  
—, — гомосфера 64  
—, — ионосфера (термосфера) 63, 110  
—, — мезосфера 63  
—, — стратосфера (озоносфера) 63, 110  
—, — тропопауза 63  
—, — тропосфера 63, 110  
—, — экзосфера (внешняя сфера) 61, 63  
—, состав 64  
—, структура 63, 64  
—, — вертикальная 63  
—, — горизонтальная 64  
Атмосферная циркуляция 63, 121, 122  
— —, антипассаты 122  
— —, антициклоны 65, 124  
— —, вертикальные кольца 125  
— —, местная 127  
— —, пассаты 122  
— —, типы 126  
— —, — меридиональный 125, 126  
— —, — широтный (зональный) 123, 126  
Атмосферное давление 23, 123  
Атмосферный круговорот 126  
— фронт 65  
Аэрозоли 64  
Баланс минерального вещества суши 152  
— органического вещества 143  
Барический градиент 122  
Батналь 71  
Безвозвратное потребление воды 138  
Бентос 70  
Береговая зона 99  
Биогеохимические циклы 146  
Биогеоценоз 69  
Биомасса 71, 142, 143  
Биосфера 66  
—, границы жизни 67  
—, живое вещество 71  
—, живые организмы 67  
—, — — автотрофные 67  
—, — — гетеротрофные 67  
—, царства органического мира 67  
Болота 58  
Ветер 127  
—, система 123  
Вещество географической оболочки 35, 37  
— — —, типы 35  
— — —, — живое 35  
— — —, — биокосное 35  
— — —, — косное 35  
— — —, физические свойства 38  
— — —, химические свойства 37  
— — —, уровни организации 42  
Влагооборот на Земле 52  
Вода 39, 40, 128  
—, виды 128  
—, морская 53  
— —, плотность 53  
— —, соленость 53, 54  
—, свойства 40  
Водная масса 55  
— —, глубинная 55  
— —, переходная 56  
— —, поверхностная 55  
— — —, полярная 55  
— — —, субполярная 55  
— — —, субтропическая 55  
— — —, тропическая 55  
— — —, экваториальная 55  
— —, придонная 56  
Водный баланс мировой 137  
— —, уравнение 137  
Водохранилища 201  
Воздействия на структуру земельного фонда 202  
— —, непреднамеренные 203  
— —, косвенные 200, 204  
— —, прямые 204  
— —, преднамеренные косвенные 204  
— —, прямые 203  
Воздушные массы 65  
— —, тип 65  
— —, — арктический 66  
— —, — тропический 66  
— —, — умеренный 66  
— —, — экваториальный 65  
Вращение Земли 29  
Вселенная 19, 20

- , изотропность 19
- Вторичная продуктивность 142
- Высотная зональность (поясность) 70
- Вулканизм 153
- Выветривание (гипергенез) 74
  - , тип 74
- Галактика 19
- Галактический год 19
- Географическая зона 6, 82, 89, 189
  - зональность 82, 104, 187
  - — широтная 82
  - — вертикальная 92
  - поясность 82, 104
  - оболочка 6, 8, 10, 14, 35, 93, 167, 195
    - —, автономность 103
    - —, границы 97
    - —, диссимметрия 101
    - —, источники энергии 107
    - —, компоненты 96
    - —, контактные активные поверхности 99
    - —, масса 37
    - —, параметры 36
    - —, развитие 36, 96, 171, 172, 182
    - —, самоорганизация 195, 207, 208
    - —, симметрия 101
    - —, составные части 42
    - —, структура 17, 43, 97
    - —, структурные уровни 42
      - —, — — геокомпонентный 43
      - —, — — геосферный 43
      - —, — — геосистемный 43
    - —, структурные элементы 36
    - —, физические свойства 38
    - —, химический состав 37
  - страна 6
- Географические координаты 29
- Географический полюс 29
  - экватор 29
- География 5
  - конструктивная 6
  - физическая 6
  - экономическая 6
- Геонд 12
- Геокомпоненты (компоненты) 43, 195
- Геологические периоды 174
- Геомагнитные полюса 27
- Георифтогенали см. срединно-океанические хребты 49, 51
- Геосинклиналь 49
- Геосистема 12, 43, 45, 77
  - локальная 45
  - планетарная 45
  - региональная 45
- Геостат 208
- Геосферы 37, 43, 172
  - , масса 37
  - , происхождение 172
  - , развитие 172
- Геотехнические системы 44
- Геохимическая (биогеохимическая) обстановка 115, 146, 147
- Геохимические аккумуляторы 108
  - барьеры 224
  - —, типы 225
- Геохронологическая шкала 173
- Герцинская орогеническая (горообразовательная) эпоха 184
- Гетеросфера 65
- Гетеротрофные организмы 67, 180
- Гидросфера 23, 52
  - , масса 37
  - первичная 23, 173
- Гипергенез 74
- Гипотеза первичности океанической коры 178
  - пульсационная 179
  - тектоники литосферных плит 179
- Гипсографическая кривая 80
- Глубоководные океанские желоба 51
  - — — Курило-Камчатский 51
  - — — Марианский 51
  - — котловины 51
- Гадлея ячейка 122
- Гомеостазис 208
- Гомосфера 64
- Гондвана 182
- Горизонтальная структура географической оболочки 77
  - — — локальная 77
  - — — планетарная (глобальная) 77
    - — — региональная 77
- Горы 51, 96
  - древние 51
  - — Алтай 51
  - — Европы 51
  - — Саяны 51
  - — Урал 51
  - молодые 51
  - — Альпы 51
  - — Анды 51
  - — Гималаи 51
  - — Кавказ 51
  - — Кордильеры 51
- Гравитационное поле Земли 29, 30, 107
  - взаимодействие 30
- Группировки организмов 73
  - —, консументы 73
  - —, — фитобентос 71, 73
  - —, — фитопланктон 71, 73
  - —, продуценты 73
  - —, — зообентос 71
  - —, — зоопланктон 71
  - —, — нектон 71
- Деформация фигуры Земли 29, 30
- Движение Земли 28
  - — осевое (суточное) 28

- — орбитальное (годовое) 28
- — —, средняя скорость 28
- системы Земля — Луна 28
- Движения земной коры 153
  - — — вертикальные 153
  - — —, вулканизм 153
  - — — горизонтальные 153, 154
  - — —, землетрясения 153
  - — — складчатые 160, 176, 184
  - — — эпейрогенические (медленные колебательные) 153
- Денудация земной поверхности 150, 151, 152
- Динамика географической оболочки 106, 107
  - ледников 129
- Динамическое равновесие см. саморегулирование в географической оболочке 207, 211, 213, 215
- Дифференциация вещества Земли 22, 107, 173
  - — географической оболочки 159
  - — биогеохимическая 147
  - — гравитационная 22, 107, 173
  - — физико-химическая 108, 147
- Докембрий 173
- Единство и целостность географической оболочки 36, 167
- Живое вещество 35, 37, 71, 72, 73
  - —, биомасса 71, 142, 143
  - —, зоомасса суши 71, 73
  - —, фитомасса суши 71, 73
- Загрязнение вод 139, 197, 219
- Залив 53
- Землетрясения см. движения земной коры 153
- Земля 22
  - , внутреннее строение 22
  - , — — астеносфера 22
  - , — — мантия 22
  - , — — литосфера 22, 37, 45
  - , — — земная кора 22, 45
  - , — — поверхность Мохоровичича 45, 98
  - , — — ядро 22
  - , космические взаимодействия 23
  - , масса 23, 37
  - , плотность 23
  - , происхождение 22
- Земная кора 22, 45
  - — первичная 173
  - —, слой базальтовый 47
  - —, — гранитный 47
  - —, — осадочный (стратисфера) 46
  - —, состав 46
  - —, строение 45
  - —, структура 47, 48
  - —, тип 47
  - —, — материковая 47, 51, 81
  - —, — океаническая 47, 51, 81, 157
- —, — переходная 47, 50
- поверхность 78, 193
- —, закономерности развития 193
- —, строение 78
- Земное излучение 112
- Земной шар 12
- Зона активного водообмена 59
  - географическая 83
  - замедленного водообмена 59
  - растительности 70, 84
  - — лиственных летнезеленых лесов 84
  - — полупустынь 84
  - — саванн 84
  - — степей 84
  - — таежная 84
  - — тундровая 84
  - — экваториальных дождевых лесов 84
- Зональность 82
  - , закон 83
  - горизонтальная 73
  - циркумполярная 73
- Зооценоз 70
- Идеальный континент 12
  - — геоморфологический 78
  - — зонально-ландшафтный 87
- Излучение земной поверхности 113
- Изобары 21
- Изогоны 27
- Ионосфера (термосфера) 63
- Инерционные объекты 162
- История жизни 179
- Кайнозойская эра 187
- Каледонская орогеническая (горообразовательная) эпоха 176, 184
- Картографические методы исследования 12
- Климат 65, 83
  - , климатические пояса 83
  - , колебания 160—164
- Кольцевые структуры 14
  - течения 14
- Компоненты географической оболочки 96
- Контактные поверхности в географической оболочке 99
- Концентрация водородных ионов 74
- Кора выветривания 37, 74, 76
  - —, масса 37
- Космические воздействия на Землю 23
- Криолитозона 59
- Криосфера 59
- Круговорот азота 147
  - вещества и энергии 158
  - — — атмосферный 136, 137
  - — — биологический и биогеохимический 139, 148, 186, 187
  - — — гидросферный 131—135
  - — — литосферный 153

- воды 127
- —, звено атмосферное 128, 136
- —, — материковое 128
- —, — океаническое 128
- —, — хозяйственное 137
- углерода 146
  
- Лавразия 182
- Ландшафт 93
  - горных стран 94
  - равнинных стран 94
- Ландшафтная структура 92, 93
- Лед фирновый 40, 129
- Ледники 59
  - горные 59, 60
  - материковые 60
- Ледниковые покровы 59, 60
- Лиман 53
- Линеаменты 14
- Литораль 71
- Литосфера 22, 37, 45
  - , масса 37
  - , строение 45
- Луже океана 50
- Луна 24
  
- Магнитное поле Земли 26
  - — —, аномалии 27
  - — —, напряженность 27
- Магнитные полюса 27
- Магнитный меридиан 27
  - экватор 27
- Магнитопауза 26
- Магнитосфера Земли 26
- Мантия 22
- Материки (континенты) 36, 96, 178
  - Австралия 36, 78
  - Антарктида 36, 78
  - Африка 36, 78
  - Евразия 36, 78
  - , происхождение 178
  - Северная Америка 36, 78
  - , средняя высота 36
  - , Южная Америка 36, 78
- Материковая кора 47, 51, 81
  - —, слои 47
  - —, — базальтовый 47
  - —, — гранитный 47
- Материковое оледенение 129
- Материковый склон 51, 80
- Мезозойская орогеническая (горообразовательная) эпоха 184
  - эра 187
- Метагалактика 19, 20
- Методология физической географии 13
- Методы физико-географических исследований 10—13
  - — — картографические 12
  - — — космические 13
  - — — международные программы 14
- — — моделирование 11
- — — математические 12
- — — наблюдения 11
- — — эксперимент 11
- Миграции химических элементов 228
- Микроорганизмы 67
- Мировой океан 52
  - —, колебания уровня 152
  - —, соленость 53, 54
  - —, — средняя 53
- Многолетняя (вечная) мерзлота 59, 60
- Мониторинг 204
  - биоэкологический 205
  - геосистемный 206
  - геосферный 206
- Модели фигуры Земли 12
  - — — геоид 12, 33
  - — — земной шар 12, 32
  - — — трехосный эллипсоид 33
  - — — эллипсоид вращения 12, 32
- Море окраинное 51, 53
  - шельфовое 51
- Мохоровичича раздел 45, 98
  
- Наклон эклиптики 28
- Наклонение 27
- Наша Галактика 19, 20
- Нектон 70
- Непреднамеренные воздействия на природную среду 203
- Низменность 51
  - Амазонская 51
  - Северо-Германская 51
- Новая глобальная тектоника см. тектоника литосферных плит 179
  
- Общее землеведение 3
  - —, объект изучения 6, 14
  - —, цели и задачи 5, 16
- Обратные связи в геосистемах 167
  - — — отрицательные 167
  - — — положительные 167
- Озера 57
- Озон 25
- Озоносфера (озоновый слой) 25, 103
- Океаническая кора 47, 51, 81, 157
  - —, слои 47
  - тропосфера 55
  - циркуляция 130
  - —, вертикальные движения 134
  - —, круговороты 128, 131
  - —, поверхностные движения 131—133
- Океанические впадины 178
- Океанический фронт 55, 56
- Океанография 8
- Океаны 37, 53, 96
  - Атлантический 37
  - Индийский 37
  - Северный Ледовитый 37
  - , средняя глубина 36



- Тихий 37
- , циркуляция 130
- , — факторы 131
- , структура вертикальная 55, 56
- , типы водных масс 55
- Окислительно-восстановительная дифференциация в географической оболочке 149
- Окислительно-восстановительный потенциал 74
- Окружающая среда 204
  - —, контроль 204
  - —, оптимизация 15
  - —, — уровень 15
  - —, — — глобальный 15
  - —, — — локальный 15
  - —, — — региональный 15
- Оранжерейный эффект см. парниковый эффект 64, 112
- Орбита Земли 28
  - —, большая полуось 28
  - —, средний радиус 28
- Органический мир океана 70
  - — —, бентос 70
  - — —, зоны 71
  - — —, — абиссаль 71
  - — —, — батигаль 71
  - — —, — глубоководная 71
  - — —, — литораль 71
  - — —, — переходная 71 (мезопелагиаль)
  - — —, — поверхностная (эпипелагеаль) 71
  - — —, — сублитораль 71
  - — —, — ультраабиссаль 71
  - — —, нектон 70
  - — —, планктон 70
- Органическое вещество 67, 71
  - —, биомасса 71
  - —, распределение в географической оболочке 71
  - —, синтез 67, 180
- Ось вращения Земли 29, 30
- Охрана природы 198, 204
- Палеозойская эра 184
- Пангея 154, 182
- Панталасса 182
- Парниковый эффект 64, 112
- Пелагиаль 71
- Перенос минерального вещества 150
  - — — антропогенный 152
- Переходные области 50
- Периодические движения в географической оболочке 160
  - — — автономные (автоколебания) 162
  - — — — вынужденные 161
- Периодический закон географической зональности 84, 86
- Периодичность природных явлений 165, 194
- Пищевые цепи см. трофические цепи 141
- Планета Венера 21
  - Земля 21
  - Марс 21
  - Меркурий 21
  - Нептун 21
  - Плутон 21
  - Сатурн 21
  - Уран 21
  - Юпитер 21
- Планетарная модель зональности 85, 87
- Планеты гиганты 21
  - земного типа 21
- Планктон 70
- Плато 51
- Платформы 47, 50
  - древние (докембрийские) 47, 176
  - — Австралийская 47
  - — Антарктическая 47
  - — Аравийская 47
  - — Индостанская 47
  - — Китайская 47
  - — Русская 47
  - — Североамериканская 47
  - — Сибирская 47
  - — Южноамериканская 47
  - — молодые 47
- Плейстоценовое оледенение 190
- Плоскогорье 51
- Плоскость орбиты (эклиптики) 28, 29
- Поверхностные воды суши 56
  - — —, болота 58
  - — —, озера 57
  - — —, реки 56
  - — —, — годовой сток 56
  - — —, — питание 56
  - — —, — — дождевое 56
  - — —, — — ледниковое 56
  - — —, — — подземное 56
  - — —, — — смешанное 56
  - — —, — — снеговое 56
- Подземная вода 58
  - — гигроскопическая 58
  - — гравитационная 58
  - — грунтовая 59
  - — жильная 59
  - — инфльтрационная 58
  - — капиллярная 58
  - — карстовая 59
  - — конденсационная 58
  - — конституционная 58
  - — кристаллизационная 58
  - — межпластовая 59
  - — — напорная 59
  - — пленочная 58
  - — поровая 59
  - — седиментационная 58
  - — трещинная 59
  - — ювинильная 58

- Полярные льды 230  
Полярный круг 28  
Почва 76, 84  
—, тип 84  
Почвенный покров 76  
Пояс климатический 83  
— — антарктический 84  
— — арктический 84  
— — субантарктический 84  
— — субарктический 84  
— — субтропический 84  
— — субэкваториальный 84  
— — тропический 84  
— — умеренный 84  
— — экваториальный 84  
— повышенного давления атмосферного 83  
— пониженного давления атмосферного 83  
Поясность в географической оболочке 89—91  
— — вертикальная 90, 92  
— — горизонтальная 90, 92  
Прецессия 30  
Приливное торможение вращения Земли 24  
Приливо-отливные движения 31  
Приливные деформации 31  
Приливообразующая сила 31  
Природный территориальный комплекс 6, 36, 44, 92  
— аквальный комплекс 6, 36, 44, 55, 92  
Прогнозирование географическое 198, 202  
Продуктивность 143  
— первичная 144  
Происхождение материков и океанов 178  
Пролив 53  
Протерозойская эра 172  
Противоизлучение атмосферы 113  
  
Равнина 51, 96  
— Амазонская 57  
— Восточно-Европейская 51, 57, 190  
— Восточно-Китайская 57  
— глубоководная 51  
— Западно-Сибирская 57  
Равноденствие 28  
—, предварение 28  
Радиационные пояса 26  
Радиационный баланс земной поверхности 111, 112, 214, 215  
— — —, воздействие 214  
— бюджет атмосферы 113  
— — земной поверхности 113, 115  
— индекс сухости 85  
Развитие географической оболочки 171  
— —, история жизни на Земле 179  
— — —, закономерности 172, 193  
— — —, этапы 182  
— — —, — антропогенный 190  
— — —, — докембрийский 172  
— — —, — кайнозойский 187  
— — —, — мезозойский 187  
— — —, — палеозойский 184  
Распределение температуры в географической оболочке 117  
— — — — — соллярное 125  
Растения 68  
— гигрофиты 68  
— гидрофиты 68  
— ксерофиты 68  
— мезофиты 68  
Растительность суши  
— —, тип 69  
— —, — кустарниково-древесная 69  
— —, — пустынная 69  
— —, — — арктическая 69  
— —, — степная 69  
— —, — субтропических лесов 69  
— —, — таежная 69  
— —, — тундровая 69  
— —, — широколиственная 69  
Ритмические явления см. периодические явления 160  
Рифт 51  
Рифтовая зона 49, 155, 182  
  
Саморегулирование в географической оболочке 165  
Симметрия и диссимметрия в географической оболочке 101  
Сила Кориолиса 24, 29, 77, 109, 122  
— тяжести 30  
Система ветров 123  
— саморегулирующаяся 208  
— географических наук 5  
Системный подход 13  
Складчатость 49  
— альпийская 49, 187  
— герцинская 49  
— каледонская 49  
— тихоокеанская 49  
Складчатые горные сооружения 49  
Склонение 27  
Снеговая граница 129  
Солифлюкция 59  
Солнечная активность 24  
— радиация (энергия) 24  
— — поглощенная 112, 113  
— — прямая 113  
— — рассеянная 113  
— —, солнечная постоянная 112, 113  
— —, спектральный состав 113, 109  
— —, суммарная 113  
— —, суточный ритм 29  
— система 20  
— —, планеты 21  
— —, происхождение 21

- —, строение 20, 21
- Солнечно-земные связи 24
- Солнечные сутки 29
- Солнечный ветер 24
- Солнце 20
- Солнцестояние 28
- Солярный климат 12
- Срединно-океанические хребты 49, 50, 51, 155
- Сток поверхностный 128
  - речной 128
  - твердый 151
- Стратифера (осадочный слой) 46
- Стратификация вод 120
- Структура географической оболочки 45
  - — — вертикальная 45
  - — — горизонтальная 45
  - — —, структурные уровни 43
- Талассократоны 49, 51
- Тектоника литосферных плит 154
  - — —, субдукция 154
  - — —, литосферные плиты 154
- Тектонические движения см. движения земной коры 153
- Тектономагматические эпохи 176, 184
  - — альпийская 176, 184
  - — герцинская 176, 184
  - — каледонская 176, 184
  - — мезозойская 176, 184
  - — рифейская 176
- Температура земной поверхности 117
  - — —, колебания 119
  - — —, — годовые 119
  - — —, — суточные 119
  - — —, средняя 117
  - океана 120
  - —, распределение 120
  - — средняя 120
- Тепловые потоки в географической оболочке 108
- Тепловой баланс 115, 218
  - — годовой 118
  - — атмосферы 116
  - — земной поверхности 115
  - — океанической поверхности 116
  - —, уравнения 115, 116
- Тепличный эффект атмосферы см. парниковый эффект 64, 112
- Тепловые машины в географической оболочке 121
- Теплообмен в географической оболочке 115, 116
- Термический экватор 117, 122
- Тетис 182
- Техногенные потоки вещества 224
- Течение океаническое 131, 133
  - — Антарктическое циркумполярное 133
  - — Бенгельское 131
  - — Гвианское 133
  - — Бразильское 131
  - — Гольфстрим 131
  - — Западноавстралийское 119
  - — Калифорнийское 119
  - — Канарское 119
  - — Кромвелла 134
  - — Куроисио 136
  - — Ломоносова 134
  - — Перуанское 119
  - — Южноатлантическое 131
  - — Южное пассатное 131
- Течения океанические 131, 133
  - —, антициклоническая циркуляция 133
  - —, зона дивергенции 134
  - —, — конвергенции 134
  - — компенсационные 134
  - —, циклоническая циркуляция 133
  - — экваториальные межпассатные 134
  - —, — — подповерхностное противотечение 134
- Типы горных пород 46
  - — — осадочный 46
  - — — магматический 46
  - — — метаморфический 46
- Транспирация 129
- Тропик 28
- Трофические (пищевые) цепи 141
  - —, консументы (гетеротрофы) 141
  - —, продуценты (автотрофы) 141
  - —, редуценты (сапротиты) 141
- Управление природными процессами 196, 220, 221
  - , элементы 217
  - , сигнально-информационные механизмы 220
  - энергетическими процессами 211
- Учение о географической оболочке 14
- Фанерозой 182
- Физическая география 6
- Физические свойства вещества географической оболочки см. вещество географической оболочки 38
- Фитоценоз 69
  - суши 70
- Фотосинтез 115, 141
- Химический состав геосфер 37, 64
- Четвертичное оледенение 190
  - — валдайское 190
  - — днепровское 190
  - — московское 190
  - — окское 190
  - —, шкала альпийская 190
  - —, — — вюрмское 190
  - —, — — гюнцское 190

- —, — — миндельское 190
- —, — — рисское 190
- Четвертичный (антропогенный) период 190
- —, ледниковые эпохи 190
- —, межледниковые эпохи 190
- —, появление человека 192

Циклоны см. атмосферная циркуляция 65, 124

Циркумконтинентальное распределение организмов 73

Циркумконтинентальные структуры 92

Шельф (материковая отмель) 51

Экзарация 60, 151

Экология 68

Эксцентриситет 24, 28

Эллипсоид вращения 12

Энергия 106

— земных недр 107

—, источники 107

—, качество 159

—, накопление 107, 159

— механическая 107

— орбитального и осевого вращения Земли 109

—, перенос 114, 115

—, солнечный ветер (корпускулярные потоки) 110

— тепловая 108

—, трансформация 114

— химических связей 107

— электромагнитного излучения Солнца 109

—, эффективность форм 153

Эон 172

— криптозой 172

— фанерозой 172

Эра 172, 174

— кайнозойская 172, 187

— мезозойская 172, 187

— палеозойская 172, 184

Ядро Земли 22

— внутреннее 22

— внешнее 22

Ярусность географической оболочки 43, 45

## УКАЗАТЕЛЬ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ НАЗВАНИЙ

- Австралия, континент 36, 102  
Азиатско-Австралийское средиземное море 49  
Амазонская низменность 51, 57  
Алеутское течение 133  
Алтай, горы 51, 191  
Альпы, горы 51, 90  
Аляскинское течение 133  
Амударья, река 57, 151, 222  
Ангольское течение 133  
Анды, горы 51, 90  
Антарктида, континент 36, 40, 60, 91, 151, 188  
Антарктическое циркумполярное течение 133  
Антильское течение 133  
Аппалачи, горы 187  
Аравийский п-ов 66  
Аральское море 103, 198, 223  
Атлантический океан 37, 102  
Африка, континент 36, 102, 183  
Ахангар, нагорье 91
- Байкал, озеро 57  
Балтийское море 53  
Баффиново течение 133  
Бенгальское течение 119, 131, 133  
Берингово море 230  
Бразильское нагорье 51, 80  
Бразильское течение 131  
Большой Бассейн, геогр. обл. 66  
Большой Австралийский залив 102
- Волга 57, 223  
Восточноаравийское течение 133  
Восточнобенгальское течение 133  
Восточногренландское течение 133  
Восточно-Европейская равнина 190  
Восточно-Китайская равнина 57  
Восточнотихоокеанский хребт 154
- Гавайские острова 90  
Гвианское течение 133  
Гвинейский залив 102  
Гималаи, горы 51, 90  
Гольфстрим, течение 131, 133  
Гренландия, остров 60, 95, 151, 183
- Двина Северная, река 223  
Джомолунгма 80  
Джунгарский Алатау 91  
Днепр, река 223  
Драконовы горы 90
- Евразия, континент 36  
Европа 36  
Енисей, река 223
- Западноавстралийское течение 119, 133  
Западноаравийское течение 133  
Западногренландское течение 133  
Западно-Сибирская равнина 57, 95  
Земля Франца-Иосифа, острова 60, 91  
Зеленого Мыса, течение 133  
Земля Уилкса 102  
Зондский архипелаг 47
- Игольное течение 133  
Индийский океан 53  
Индостан, п-ов 154  
Ирмингера, течение 133  
Иртыш, река 222  
Исландия, остров 60
- Кавказ, горы 51  
Калифорнийское течение 119  
Канарское течение 119, 131, 133  
Карибское море 49  
Каспийское море 49, 198, 223  
Килиманджаро, вулкан 91  
Кольский п-ов 94  
Кордильера-де-Мерида 90  
Кордильеры, горы 51  
Красное море 53  
Кромвелла течение 134  
Кубань, река 57  
Курило-Камчатский желоб 51  
Курисио, течение 133, 136
- Лабрадорское течение 133  
Ладожское озеро 103  
Лена, река 57  
Ломоносова течение 134  
Лусон, остров 90
- Мадагаскар, остров 154, 102, 133  
Марианская впадина 80  
Марианский желоб 51  
Мексиканский залив 49  
Мексиканское течение 133  
Минданао, течение 133  
Мировой океан 41, 53
- Наньшань, горы 91  
Нил, река 57, 151  
Новая Зеландия, острова 90  
Норвежское течение 133  
Нордкапское течение 133
- Обь, река 223  
Огненная земля, остров 90  
Ойясио течение 133  
Океания 57  
Орисаба, вулкан 90  
Охотское море 51
- Памир, горы 91  
Парана, река 57  
Перуанское течение 119, 133

Печора, река 223  
Пиренеи, горы 90

Сахара, пустыня 66, 160  
Саяны, горы 51, 91  
Северная Америка 36  
Северное пассатное течение 131, 133  
Северный Ледовитый океан 37, 53  
Североатлантическое течение 131, 133  
Северо-Германская низменность 51  
Северотихоокеанское течение 133  
Средиземное море 49  
Срединно-Атлантический хребет 154  
Срединно-Индийский хребет 154  
Среднесибирское плоскогорье 91  
Сырдарья, река 151

Танганьика, озеро 57  
Тайвань, остров 57  
Терек, река  
Тибести, нагорье 91  
Тибет, нагорье 91  
Тихий океан 37  
Тянь-Шань, горы 187

Уральские горы 21, 51, 91, 187  
Уэдделла, море 135

Фолклендское течение 133  
Фудзияма, вулкан 90

Хуанхэ, река 151

Черное море 49, 53  
Чимборасо, гора 90  
Чукотский п-ов 61

Шпицберген, острова 60, 90

Экваториальное противотечение 133  
Эфиопское нагорье 91

Южная Америка 36  
Южноатлантическое течение 131, 133  
Южноиндоокеанское течение 133  
Южно-Китайское море  
Южное пассатное течение 131, 133

Японские острова 49  
Японское море 51

## Оглавление

	Стр.
Предисловие . . . . .	3
Введение . . . . .	
1. Наука и ее задачи на современном этапе развития общества . . . . .	5
2. Краткая история развития основных идей общего землеведения . . . . .	7
3. Современный этап изучения географической оболочки . . . . .	10
4. Задачи и предмет изучения общего землеведения . . . . .	14
Вопросы и задания для самостоятельной работы . . . . .	19
<b>Глава I. Земля во Вселенной</b>	
I.1. Основные черты строения Вселенной и ее эволюция . . . . .	19
I.2. Солнечная система . . . . .	20
I.3. Земля . . . . .	22
I.4. Космические воздействия на Землю . . . . .	23
I.5. Солнечно-земные связи . . . . .	24
I.6. Магнитосфера Земли . . . . .	26
I.7. Магнитное поле Земли . . . . .	26
I.8. Движения Земли . . . . .	28
I.9. Фигура Земли . . . . .	32
Вопросы и задания для самостоятельной работы . . . . .	34
<b>Глава II. Географическая оболочка, ее состав и структура</b>	
II.1. Общая характеристика географической оболочки . . . . .	35
II.2. Вещество географической оболочки . . . . .	37
II.3. Составные части и структурные уровни географической оболочки . . . . .	42
II.4. Вертикальная (ярусная) структура географической оболочки (геосферный структурный уровень) . . . . .	45
II.4.1. Литосфера . . . . .	45
II.4.2. Гидросфера . . . . .	52
II.4.3. Криосфера . . . . .	59
II.4.4. Атмосфера . . . . .	61
II.4.5. Биосфера . . . . .	66
II.4.6. Кора выветривания . . . . .	74
II.4.7. Почвенный покров . . . . .	76
II.5. Горизонтальная структура географической оболочки . . . . .	77
II.5.1. Общие черты строения земной поверхности . . . . .	78
II.5.2. Поясно-зональные структуры . . . . .	82
II.5.3. Циркумконтинентальные структуры . . . . .	92
II.5.4. Ландшафтная структура . . . . .	92
II.6. Общие черты структуры географической оболочки . . . . .	97
II.6.1. Границы географической оболочки . . . . .	97
II.6.2. Контактные поверхности в географической оболочке . . . . .	99
II.6.3. Симметрия и диссимметрия в географической оболочке . . . . .	101
II.6.4. Автономность географической оболочки . . . . .	103
Вопросы и задания для самостоятельной работы . . . . .	104

## Глава III. Динамика географической оболочки

III.1. Источники энергии в географической оболочке . . . . .	107
III.2. Трансформация и перенос энергии и вещества в географической оболочке . . . . .	114
III.2.1. Перенос и распределение тепла . . . . .	115
III.2.2. Атмосферная циркуляция . . . . .	121
III.2.3. Круговорот воды . . . . .	127
III.2.4. Биологические и биогеохимические круговороты . . . . .	139
III.2.5. Перенос минерального вещества . . . . .	150
III.2.6. Литосферные круговороты . . . . .	153
III.2.7. Основные особенности трансформации и переноса энергии и вещества в географической оболочке . . . . .	158
III.3. Периодические движения в географической оболочке . . . . .	160
III.4. Саморегулирование в географической оболочке . . . . .	165
III.5. Единство и целостность географической оболочки . . . . .	167
Вопросы и задания для самостоятельной работы . . . . .	169

## Глава IV. Развитие географической оболочки

IV.1. Источники развития . . . . .	171
IV.2. Происхождение и развитие геосфер. Географическая оболочка на докембрийском этапе . . . . .	172
IV.3. Происхождение материков и океанических впадин . . . . .	178
IV.4. История жизни на Земле . . . . .	179
IV.5. Развитие географической оболочки в фанерозое . . . . .	182
IV.6. Развитие географической оболочки в четвертичном (антропогеновом) периоде . . . . .	190
IV.7. Основные закономерности развития природы земной поверхности . . . . .	193
Вопросы и задания для самостоятельной работы . . . . .	195

## Глава V. Основы управления глобальными географическими процессами

V.1. Антропогенные изменения географической оболочки . . . . .	196
V.2. Мониторинг окружающей среды . . . . .	204
V.3. Географическая оболочка как самоорганизующаяся система . . . . .	207
V.4. Основы управления энергетическими потоками . . . . .	211
V.5. Активные воздействия на атмосферные процессы . . . . .	220
V.6. Активные воздействия на гидросферу и водный баланс . . . . .	221
V.7. Техногенные потоки вещества и способность природных систем к самоочищению . . . . .	224
V.8. Полярные льды и их планетарная роль . . . . .	230
Вопросы и задания для самостоятельной работы . . . . .	235
Заключение . . . . .	237
Литература . . . . .	241
Предметный указатель . . . . .	244
Указатель географических названий . . . . .	252



*Калиник Иванович Геренчук,  
Владимир Александрович Боков,  
Игорь Григорьевич Черванев*

## **ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕВЕДЕНИЕ**

Заведующий редакцией А. Г. Гаврилов  
Редактор И. М. Шагирова  
Мл. редакторы Е. И. Попова, Е. Г. Самойло  
Художник В. В. Коренев  
Художественный редактор Т. А. Коленкова  
Технический редактор Т. А. Новикова  
Корректор С. К. Завьялова

ИБ № 4579

Изд. № Е-435. Сдано в набор 17.11.83. Подп. в печать 29.05.84.  
Т-05440. Формат 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бум. кн.-журн. Гарнитура литератур-  
ная. Печать высокая. Объем 16 усл. печ. л., 16 усл. кр.-огт.  
18,93 уч.-изд. л. Тираж 12000 экз. Зак. № 15. Цена 1 р. 10 к.

Издательство «Высшая школа», 101430, Москва, ГСП-4, Не-  
глинная ул., д. 29/14

Белоцерковская книжная фабрика, 256400, г. Белая Церковь,  
ул. Карла Маркса, 4.