

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Омский государственный педагогический университет

И. И. Богданов

ОСНОВЫ УЧЕНИЯ О БИОСФЕРЕ

Учебное пособие

Омск
Издательство ОмГПУ
2019

УДК 576.8
ББК 20.1
Б73

Печатается по решению редакционно-издательского совета Омского государственного педагогического университета

Богданов, И. И.

Б73 Учение о биосфере : учебное пособие / И. И. Богданов. – Омск : Изд-во ОмГПУ, 2019. – 248 с.

ISBN 978-5-8268-2207-4

Учебное пособие предназначено как основное для студентов, обучающихся по направлению «Биология», профиль «Биоэкология», и как дополнительное для студентов, обучающихся по направлению «Педагогическое образование», профили «Биология и химия», «География и биология». Содержит сведения о строении биосферы, общих закономерностях ее функционирования, эволюции и перспективах дальнейшего развития.

УДК 576.8
ББК 20.1

Рисунки автора (за исключением особо оговоренных).

ISBN 978-5-8268-2207-4 © Богданов И. И., 2019
© Омский государственный педагогический университет, 2019

ВВЕДЕНИЕ

В середине XX века резко усилилось влияние деятельности человека на окружающую среду. Загрязнение атмосферы, суши, пресных и морских вод, уничтожение растительного покрова, эрозия почв, истощение минеральных ресурсов, вымирание целого ряда видов растений и животных и другие последствия хозяйственной деятельности человека привлекли внимание большого количества людей к проблемам состояния окружающей среды и способствовали значительному расширению экологических исследований, которые до этого времени носили частный характер. С середины же XX века все больше и больше даже частных экологических исследований вливаются в наиболее современное течение в экологии – исследование ее глобальных закономерностей, позволяющих дать оценку как изменений, внесенных человеком в окружающую среду, так и выяснить возможности этой среды к самовосстановлению, установить возможные пути и методы сохранения, восстановления и улучшения этой среды в интересах сохранения биосферы и человечества.

Для решения этих задач экологии необходимо преодолеть принципиальную трудность, которая отсутствует во многих других биологических и географических науках. Дело в том, что изучение взаимоотношений живых организмов, включая человека, с окружающей средой требует использования материалов и методов многих наук: биологии, географии, геофизики, геохимии, геологии, астрономии, палеонтологии, химии, экономики, демографии, социологии и др.

В наше время, когда громадное увеличение объема информации в каждой области науки способствует разделению этих областей на все новые и новые специальности, возможность синтеза материалов многих научных исследований и направлений для решения изучаемых проблем становится все более ограниченной. Специалисты даже близких наук перестают понимать друг друга. В то же время философия, издавна претендовавшая на роль некоей

«сверхнауки», синтезирующей и обобщающей достижения всех наук и даже будто бы указывающей им пути дальнейшего развития, теряет эту свою лидирующую роль в силу того, что все труднее и труднее «удерживать в памяти» многочисленные достижения частных наук. Как говорил Бернард Шоу, «специалист знает все больше о все меньшем, пока он не будет знать все о ни о чем. Философ же знает все меньше о все большем, пока он не будет знать ничего обо всем».

Один из путей преодоления этих затруднений, развитие так называемых «пограничных наук», возникающих на стыке различных дисциплин, использующих для решения задач своей науки методы и приемы смежных (а зачастую и не смежных) наук. В таких науках практикуется проведение комплексных исследований с участием коллективов ученых разных специальностей.

Именно такой пограничной наукой является экология вообще и особенно учение о биосфере (глобальная экология) – раздел экологии, изучающий наиболее общие законы возникновения, развития и существования биосферы. Однако разработка пограничных направлений, в том числе и в учении о биосфере, дело непростое, и успех его зависит во многом от тесной взаимосвязи между отдельными направлениями работ, что достигается только при высоком уровне организации комплексных исследований и при обобщении результатов частных направлений под углом зрения главной проблемы – в данном случае состояния биосферы и путей ее дальнейшего развития.

Важнейшим обобщением общей («классической») экологии, положенным в основу экологии глобальной, является учение об экосистемах. Экосистема – единый природный или природно-антрополический* комплекс, образованный живыми существами и средой их обитания, в котором живые и косные элементы связаны между собой причинно-следственными связями, обменом веществ и распределением потока энергии. Экосистемы построены по иерархическо-

* Мы употребляем термин «антрополический» вместо ранее широко употреблявшегося термина «антропогенный», так как в научной литературе употребляется близкий по звучанию термин «антропогеновый» (имеющий отношение к Четвертичному периоду, Антропогену), чтобы избежать путаницы.

му принципу, и среди них выделяются микроэкосистемы (например, нора животного со специфическим микроклиматом и со всеми ее обитателями – паразитами, комменсалами, сожителями), мезоэкосистемы (ассоциации с присущими им мезоклиматами: лес, поле, озеро и т. п.) и макроэкосистемы (биома с присущими им макроклиматами: тайга, тундра, пустыня и др.). Высшая ступень иерархии – единая биосфера Земли, которая является крупнейшей экосистемой, объединяющей в себе все без исключения экосистемы низших рангов.

Экосистемы одного иерархического уровня не имеют четких границ и переходят одна в другую. Зона перехода между экосистемами, экотон, имеет большее разнообразие видов, чем разделяемые им экосистемы (явление краевого эффекта).

Подавляющее большинство экологических исследований до настоящего времени посвящено изучению взаимодействий организмов и окружающей среды в микро- и мезоэкосистемах, реже в макроэкосистемах. Глобальные проблемы экологии, относящиеся к биосфере в целом, изучались до недавнего времени сравнительно немногими исследователями.

Интерес к глобальным экологическим проблемам усилился в XX столетии, когда выяснилось, что хозяйственная деятельность человечества начала оказывать все большее и большее влияние на крупномасштабные процессы в природе.

Хотя природные условия на значительной части Земли уже с незапамятных времен были в той или иной степени изменены деятельностью человека, до недавнего прошлого эти процессы являлись суммой локальных изменений, которые затем распространялись на все большие и большие пространства только в результате расширения хозяйственной деятельности человека на конкретных участках и не задевали рядом лежащих территорий. Так, вырубка лесов в Европе не сказывалась на их состоянии в Америке, строительство плотины на мелкой речке в бассейне Волги не сказывалось на водном режиме Днепра и т. п.

Положение резко изменилось, когда человек стал воздействовать на глобальные процессы: в этом случае воздействие на окружающую среду одного континента может изменить природные условия на всей Земле вообще.

Установлено, что под влиянием антропоической деятельности начали изменяться химический состав и физическое состояние атмосферы и Мирового океана, в результате чего изменяются и другие компоненты биосферы. При этом из-за интенсивного горизонтального и вертикального переноса воздушных и водных масс антропоическое воздействие на океан, и особенно на атмосферу, распространяется на громадные расстояния от региона, где это воздействие осуществлялось.

Поскольку атмосферные и гидросферные процессы оказывают существенное влияние на все компоненты биосферы, включая живые организмы, очевидно, что крупномасштабные изменения системы «атмосфера – океан» неизбежно приведут к изменениям биосферы в целом, которые могут оказаться неблагоприятными и даже катастрофическими для человечества.

Так как нерегулируемое воздействие человека на крупномасштабные процессы в атмосфере и в Мировом океане в настоящее время поставили Землю на грань глобального экологического кризиса, очевидна необходимость изучения этих изменений для количественного прогноза их при различных вариантах дальнейшего развития человечества и срочной разработки оптимальных путей этого развития, не оказывающих губительного воздействия на окружающую среду, так называемые «концепции устойчивого развития».

Но влияние деятельности человека на биосферу не единственная причина ее изменений. В геологическом и даже в историческом прошлом Земли происходили значительные естественные изменения в физическом состоянии и химическом составе атмосферы, гидросферы и верхних слоев литосферы, вызывавшие существенные изменения в биосфере, вплоть до глобальных экологических кризисов. Эти изменения влияли на все живые организмы, но часто они и вызывались деятельностью живых организмов. В целом такие кризисы меняли условия обитания живых существ, влияли на их эволюцию, способствовали характеру их распределения по лику Земли. Сочетание определенных экологических условий в конечном счете обусловили появление на Земле человека и в значительной степени определили характер его эволюции.

Исходя из этого круг интересов учения о биосфере (глобальной экологии) включает в себя следующие явления и процессы:

1. Естественные изменения экологических факторов в масштабе всей биосферы и влияние этих изменений на существующие экосистемы Земли всех рангов, но преимущественно высших (биохоры, биомы).

2. Экологические факторы, влияющие на эволюцию крупных таксонов живых организмов (процессы макроэволюции).

3. Экологические закономерности возникновения и развития человека и человеческого сознания.

4. Влияние деятельности человека на биосферу на всех этапах его истории, вплоть до современности.

Для решения этих задач глобальная экология ведет исследования по следующим направлениям:

1. Изучение компонентов современной биосферы с целью составления их подробного количественного и качественного описания, относящегося ко всем регионам земного шара.

2. Изучение круговорота главных видов минерального и органического вещества в биосфере для различных типов сообществ и для биосферы в целом и изучение преобразований энергии при этом.

3. Изучение эмпирических материалов, характеризующих состояние биосферы в геологическом и историческом прошлом с целью выяснения закономерностей эволюции биосферы.

4. Получение эмпирических материалов, характеризующих происхождение и эволюцию человека, процессы его взаимодействия с биосферой в прошлом и настоящем.

5. Построение математических моделей для отдельных элементов биосферы в прошлом и настоящем с целью построения комплексной модели биосферы в целом.

6. Применение математических моделей для прогнозов антрополических изменений с целью использования этих прогнозов в обосновании моделей устойчивого развития человечества.

7. Изыскание методов воздействия на крупномасштабные процессы в биосфере для создания глобальной системы регулирования биосферы в интересах сохранения разнообразия живой природы и гармоничного развития человечества в будущем.

ГЛАВА 1

Краткая история учения о биосфере

Учение о биосфере (глобальная экология) как самостоятельная наука находится еще в стадии формирования. Поэтому ее история очень краткая, но исследования в смежных областях знаний, которые легли в ее основу, велись уже давно.

Датой рождения глобальной экологии как науки следует считать 1802 г., когда вышла книга Ж.-Б. Ламарка «Гидрогеология», где им был предложен термин «биосфера» и высказана следующая важная мысль: «Влияние живых организмов на вещества, находящиеся на поверхности Земли и образующие ее внешнюю кору, весьма значительно, потому что эти существа, бесконечно разнообразные и многочисленные, непрерывно меняющимися поколениями покрывают постепенно накапливающимися и все время отлагающимися остатками все участки поверхности земного шара».

Существенный вклад в становление глобальной экологии внес А. фон Гумбольдт. Он в своем 6-томном философском труде «Космос» (1834) неустанно проводит мысль о глобальной взаимосвязи всех природных процессов и явлений. Кроме того, им были заложены основы биогеографии. Немецкий физиолог, биохимик и философ Я. Молешотт заложил основы учения о биогеохимическом круговороте веществ в глобальном масштабе (русский перевод его книги вышел в 1866 г.).

Следующий шаг в создании глобальной экологии сделал Э. Зюсс, введший в 1875 г. термин «биосфера» в научный лексикон. Правда, его представление о биосфере было значительно уже, чем у Ламарка, так как он понимал под биосферой просто части наружных оболочек Земли (атмосферы, гидросферы и литосферы),

в которых обитают живые существа, и не рассматривал вопрос об их влиянии на эти оболочки.

Взаимосвязь живых организмов со средой в масштабах целых природных зон изучал В. В. Докучаев. В его работах 1898–1900 гг. рассмотрена система природных зон, соответствующая различным типам почвообразования. Почву он рассматривал как результат сложной взаимосвязи многих природно-климатических процессов и явлений.

Основой современной глобальной экологии стали работы В. И. Вернадского (с 1926 по 1944 г). В них содержатся основы учения о биосфере как единой системе, развитие которой в значительной степени определяется деятельностью живых организмов. В. И. Вернадский считал, что после возникновения человека биосфера, в результате его деятельности, постепенно переходит в новое состояние – «ноосферу», сферу разума. Правда, в свете последних «достижений» человечества в уродовании естественной среды собственного обитания следует, видимо, переменить это название и именовать современное состояние биосферы не ноосферой, а техносферой.

Также В. И. Вернадским, а параллельно с ним Дж. Хатчинсоном, заложены основы геобиохимии – науки о биогенном круговороте основных химических элементов (1923–1948).

Основы учения о лесе как глобальной экосистеме были заложены Г. Ф. Морозовым (1912). Работы А. Тенсли (1935) и В. Н. Сукачева (1944) положили начало учению об экосистемах. Работы по многим частным вопросам экологии Ч. Элтона, Д. Лэка, С. С. Шварца, Д. Н. Кашкарова, Ю. Одума и др. заложили основы перехода от анализа региональных особенностей экологии тех или иных видов или экосистем к глобальным обобщениям.

Влияние экологических факторов на эволюцию впервые отмечалось Ж.-Б. Ламарком и Ч. Дарвином, а в более позднее время этим вопросам посвящали свои исследования Дж. Симпсон, Э. Майр, С. С. Шварц, Н. В. Тимофеев-Ресовский и др. Й. Варминг и А. Энглер, создатели экологической географии растений, использовали для своей системы не только данные о современном распространении растений, но и значительные палеонтологические

материалы. Далее широкую картину процессов, формирующих географические зоны, в частности, особенностей отдельных составляющих климата, представили в своих работах М. Уиттеккер, Дж. Холдридж, А. Эмберже, А. А. Григорьев, М. И. Будыко, С. В. Калесник, В. Б. Сочава и др.

Актуальные проблемы антропоических изменений в биосфере изучали П. Дювиньо и М. Танг, Ж. Дорст, Д. Л. Арманд, К. Уатт, Б. Коммонер, Ю. А. Израель, Н. Н. Моисеев и многие другие.

Как следует из вышеизложенного, учение о биосфере создавалось совместными усилиями биологов, географов, климатологов, геологов, геохимиков, палеонтологов и представителей многих других наук.

ГЛАВА 2

Экологический мониторинг и экологическое прогнозирование

Основным методом научного исследования в глобальной экологии следует считать мониторинг окружающей среды.

Мониторинг (от англ. *the monitor* – наблюдатель, наставник, надзиратель) подразумевает не просто наблюдение за состоянием окружающей среды, но также и контроль за этим состоянием и управление им. По определению Ю. А. Израеля, мониторинг заключается в себе следующие задачи: 1) наблюдение за фактическим состоянием и изменениями биосферы в целом или отдельной экосистемы более низкого ранга; 2) оценка изменений биосферы (экосистемы) и их тенденций; 3) прогноз состояния биосферы (экосистемы); 4) выявление экологических резервов биосферы (экосистемы).

Мониторинг делится на геохимический, геофизический и биологический, причем первые два обычно производятся совместно.

Сведения о физических процессах в атмосфере получают из метеорологических наблюдений, охватывающих все регионы земного шара. На всех континентах и на многих островах расположены свыше 10 тыс. климатических станций и несколько десятков тысяч метеорологических постов. На климатических станциях проводятся ежедневные наблюдения за температурой и влажностью воздуха, атмосферными осадками, облачностью, ветрами, атмосферным давлением и другими метеорологическими показателями. Программа наблюдения на метеорологических постах более ограниченная.

Около тысячи актинометрических станций проводят наблюдения за солнечной радиацией и ее преобразованиями. Около тысячи аэрологических станций наблюдают за метеорологическим режимом в атмосфере до высоты 30–40 км при помощи радиозондов, метеорологических ракет и некоторыми другими способами.

Материалы наземной метеорологической службы дополняются наблюдениями с «кораблей погоды», постоянно находящихся в определенных точках Мирового океана, а также метеонаблюдениями, получаемыми с пассажирских, торговых, рыболовецких и военных судов, которые сообщаются ими через международные сети связи, обрабатываются и сохраняются в банках данных

Все большую роль в проведении метеонаблюдений, начиная с середины XX века, играют метеорологические искусственные спутники Земли, количество их уже достигло нескольких тысяч. Хотя большинство этих спутников запущено в рамках национальных программ ряда государств, тем не менее, данные, полученные с их помощью, становятся достоянием всей мировой научной общности.

Данные о физическом состоянии вод океанов и морей получаются главным образом в экспедиционных исследованиях при измерениях с бортов специальных гидрографических кораблей на различных глубинах температуры, солености, оптических свойств и других элементов гидрологического режима. Комплекс таких измерений, проведенных в определенной точке океана (моря) в определенное время, называется океанографической станцией. За время регулярного исследования океанов и морей за последние 150 лет отработано более 500 тыс. таких станций. Но в целом процессы, идущие в океанах и морях, изучены хуже, чем в атмосфере. Особенно плохо изучены свойства глубинных вод (на глубине более 2 км), так как системы для глубоководных погружений несовершенны и малочисленны. И в исследованиях океанической среды также все большую роль приобретают исследования с искусственных спутников Земли.

Главная характеристика гидрологического режима вод суши – величина речного стока. Измерения стока производятся на гидрологических станциях и постах, общее количество которых более 60 тыс. Но их размещение неоднородно. Если в Европе и в Северной Америке один пункт наблюдений приходится на 1–3 тыс. кв. км, то в тропиках Африки и Южной Америки – на 10–15 тыс. кв. км.

Гораздо меньше наблюдений проводится за биологическими составляющими биосферы. В настоящее время данных для широ-

ких обобщений еще далеко не достаточно даже для сухопутных экосистем, не говоря уже о морских. Их можно получать только на особо охраняемых природных территориях, так как за их пределами внешняя среда сильно изменена. Система заповедников, национальных парков, резерватов и биологических станций, входящих в единую сеть биосферных заповедников ЮНЕСКО и МСОП, только создается.

Биосферными заповедниками объявляются особо охраняемые природные территории, которые:

- а) имеют достаточно крупные размеры, чтобы нейтрализовать негативное влияние соседних, не охраняемых территорий;
- б) являются наиболее типичными комплексами экосистем данной природной зоны, не измененными (или слабо измененными) человеческой деятельностью;
- в) имеют достаточно квалифицированный персонал и необходимую материальную базу для проведения биологического мониторинга;
- г) осуществляют на своей базе подготовку специалистов по охране природы и экологическому мониторингу.

В биосферных заповедниках ведется наблюдение за движением численности и видовым разнообразием населяющих их животных и растений, биомассой и продуктивностью природных экосистем. Они входят в единую международную информационную сеть.

В настоящее время в мире более 400 особо охраняемых природных территорий со статусом биосферного заповедника, из них 50 на территории России.

И в биологическом мониторинге в последние годы все больше и больше растет роль наблюдений с искусственных спутников Земли. С них проводятся наблюдения за ростом биомассы и продуктивностью экосистем, наблюдения за миграциями таких животных, как киты, слоны, медведи, многие виды промысловых рыб и охотничье-промысловых животных, наблюдения за сроками вызревания различных сельскохозяйственных культур и их урожайностью и многие другие.

В целом геофизический мониторинг дает информацию о гидрометеорологическом фоне и анализ климатических характеристик,

а совместно геофизический и геохимический мониторинг дают информацию об уровне загрязнений природной среды, об интенсивности и характере воздействия загрязнений на биологические системы. Производится определение концентраций загрязняющих веществ в различных компонентах среды, разрабатываются математические модели поведения загрязняющих веществ. Для этого необходимо:

1. Производить анализ путей переноса и процессов трансформации загрязняющих веществ в экосистемах.
2. Исследовать зависимости «доза – ответная реакция» путем как наблюдений в природе, так и в экспериментах.
3. Идентифицировать показатели изменений в экосистемах, являющихся результатами загрязнения окружающей среды.

Биологический мониторинг включает в себе оценку и прогноз ответной реакции экосистемы как целого на фоновые воздействия загрязнений. Следовательно, геофизический и геохимический мониторинги несут аналитический характер, а биологический мониторинг – синтетический.

Кроме материалов о современном состоянии биосферы, для разработки проблем глобальной экологии необходимы данные об изменениях биосферы в прошлом. Такие сведения дают исследования по палеонтологии, палеогеографии, палеоклиматологии, исторической геологии, геохимии, археологии.

Объем сведений о далеком прошлом очень велик, но крайне неравномерен, поэтому многие закономерности природных условий прошедших времен остаются для нас невыясненными. Можно сказать, что в этих случаях специалисты оказываются в положении человека, не читавшего «Войну и мир» (и не видевшему ни одной экранизации), которому дали 60–70 строк, произвольно выбранных из 1592 страниц текста и попросили восстановить сюжет.

В последние годы, наряду с эмпирическими исследованиями, развиваются работы по математическому моделированию крупномасштабных процессов в биосфере. Значительные успехи достигнуты в разработке математических моделей атмосферных процессов, строится модель теории климата, охватывающая все основные процессы в атмосфере и гидросфере. По сравнению с моделированием

физических процессов в биосфере, задача построения численных моделей биологических процессов связана с большими трудностями. Это обусловлено тем, что биологические процессы, по сравнению с физико-химическими, гораздо более многофакторны, и роль различных факторов резко меняется в зависимости от характера их взаимодействия с другими факторами.

К концу XX века были разработаны численные модели фотосинтеза в растительном покрове Земли, позволяющие рассчитывать продуктивность автотрофов, быстро развивается теория динамики популяций животных, связывающая колебания их численности с изменениями различных внешних факторов. Начаты исследования по математическому моделированию экосистем различной степени сложности. Но имеющиеся численные модели биологических процессов применяются главным образом для изучения локальных проблем экологии. Использование таких моделей для изучения крупномасштабных процессов в биосфере еще только начинается.

Огромное значение в наше время приобретает прогнозирование различных процессов как в локальных экосистемах, так и в биосфере в целом.

Экологическое прогнозирование – это предсказание поведения природных экосистем, определяемого как естественными процессами, так и, особенно в настоящее время, воздействием на них человека. (Н. Ф. Реймерс, А. В. Яблоков).

С. С. Шварц определяет экологическое прогнозирование следующим образом: «Определить конкретные пути разрешения противоречий между интересами развития современного общества и задачами сохранения биосферы в оптимальном состоянии. Борьба за здоровую биосферу должна вестись в двух направлениях: путем сведения к минимуму непосредственных вредных последствий индустриального давления на природу и путем разработки системы мероприятий, обеспечивающих возможность нормального функционирования биосферы и слагающих ее биоценозов в новых условиях».

Для конкретного подхода к экологическому прогнозированию необходимо знать следующее.

1. Не все связи в экосистеме одинаково существенны, поэтому нет необходимости измерять все (да это и невозможно – вспомним

знаменитое «задание» К. Ф. Рулье о трех квадратных вершках* ближайшего болота – оно до сих пор не выполнено). Однако принципиально необходимо выявить наиболее значимые связи.

2. Для правильного прогноза важнее знать структуру экосистемы, чем количественные характеристики ее отдельных компонентов.

3. Изменения одной переменной могут повлечь за собой неожиданные изменения других переменных в другом месте.

4. Последствия воздействия не обязательно сказываются мгновенно и постепенно ослабевают. Возможно существенное запаздывание эффекта действия того или иного фактора.

5. Стратегию изменения среды, сокращающую ее изменчивость в пространстве или даже во времени, всегда необходимо ставить под вопрос.

Общая схема прогнозирования естественных процессов следующая (рис. 1).

Прогнозы делятся на поисковые (ситуационные) – без определенного срока, просто определяющие тенденции изменений конкретных экосистем, краткосрочные (от 1 месяца до 1 года), среднесрочные (от 1 года до 5 лет), долгосрочные (от 5 до 15–20 лет).

В настоящее время применяется прогнозирование по методу Дельфи: создается группа высококвалифицированных экспертов по ряду смежных специальностей (климатологов, зоологов, ботаников, лесоводов, микробиологов, агрономов, почвоведов и др.), которые дают коллективный прогноз. По данным проведения таких прогнозов в США, они оправдываются на 72 % для среднесрочных прогнозов и на 55 % для долгосрочных.

* Вершок – 4,45 см; три квадратных вершка – около 60 кв. см.

ГЛАВА 3

Учение о биосфере

Биосфера – область существования и функционирования ныне живущих и живших в прошедшие времена организмов, охватывающая нижнюю часть атмосферы, всю гидросферу, поверхность суши и верхние слои литосферы, активная оболочка Земли, в которой совокупная деятельность живых организмов проявляется как геохимический фактор планетарного масштаба и служит основным средообразующим фактором.

Биосфера является наибольшей экосистемой Земли, включающей в себя все экосистемы более низкого ранга, находящиеся во взаимодействии с физической средой Земли, в результате чего эта экосистема, через которую проходит поток энергии от мощного источника – Солнца – и которая переизлучает его в космическое пространство, поддерживается в состоянии устойчивого равновесия.

Понятие биосферы включает в себя как живые организмы, так и среду их обитания. При этом организмы сложно взаимодействуют друг с другом, составляют органически единую, целостную и динамическую систему, также системно объединенную в единое целое с абиотическими сферами.

Биосфера – сложная динамическая система, осуществляющая улавливание, накопление и перенос энергии путем обмена веществ между живыми организмами и окружающей их абиотической средой. При этом поддерживается динамическое равновесие – гомеостаз – между всеми ее составляющими.

Ламарк понимал биосферу и роль живых организмов гораздо ближе к нашему современному пониманию, чем Зюсс. По Ламарку, все вещества, находящиеся на поверхности земного шара и образующие его кору, сформировались благодаря деятельности живых

организмов. Зюсс же определял биосферу, как совокупность живых организмов, ограниченную в пространстве и времени и обитающую на поверхности Земли.

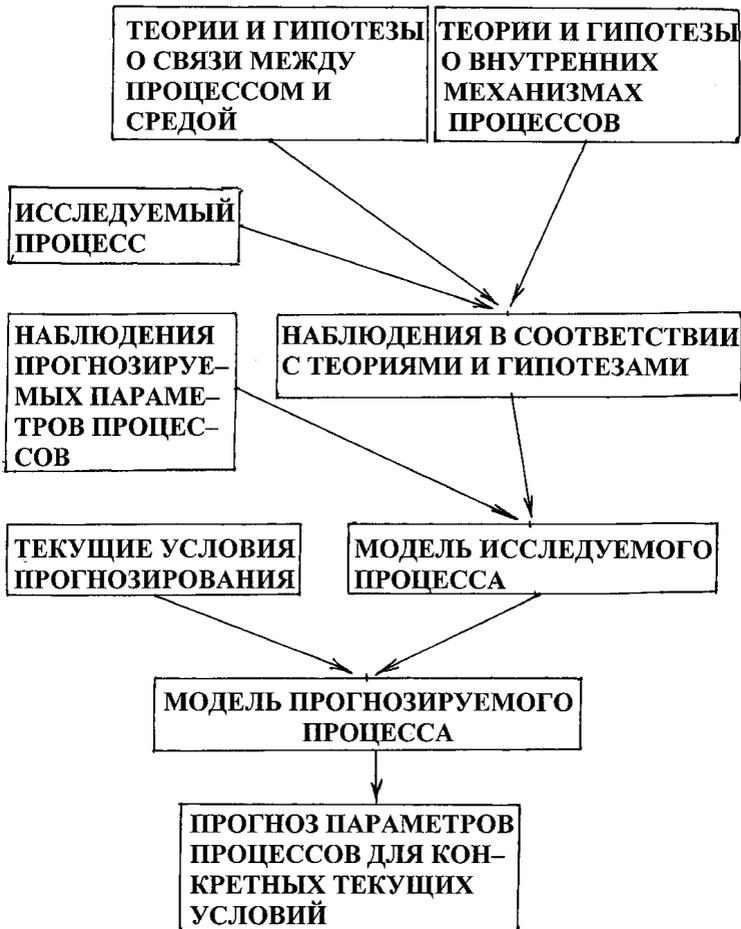


Рис. 1. Общая схема прогнозирования естественных процессов в биосфере (по В. П. Большакову, 1986)

Центральная идея теории биосферы по В. И. Вернадскому заключается в том, что высшая форма развития материи на Земле –

жизнь – определяет и подчиняет себе все другие планетарные процессы. Это связано с тем, что живые организмы действуют как трансформаторы, переводящие энергию космического излучения (в первую очередь солнечного) в действенную земную энергию, прежде всего химическую.

Энергетические потоки, заключающиеся в космических излучениях, идущих от других объектов Вселенной, кроме Солнца, так малы, что при расчетах энергетического баланса Земли ими пренебрегают. Однако, хотя многие из космических излучений еще недостаточно изучены, роль их в общем статусе биосферы может оказаться существенной и помимо их вклада в общий энергетический баланс. Так, частицы с высокой энергией могут служить причиной мутаций, изменять генетическую структуру живых организмов (включая человека) и, следовательно, становятся факторами эволюционного процесса и таким образом влиять на состояние и развитие биосферы.

Следовательно, необходимость космических факторов для проявления земной жизни связывает жизнь с космическими явлениями.

Параллельно с В. И. Вернадским идеи связи земной жизни с космосом развивал А. Л. Чижевский. Он показал на большом статистическом материале связь между ритмами солнечной активности и процессами, протекающими в живых организмах и их сообществах. По его представлениям биосфера – оболочка планеты, находящаяся в непосредственной близости к космосу, имеющая компенсаторно-защитные функции, необходимые для существования живых организмов в планетарно-космических условиях Земли.

По Дж. Хатчинсону, для существования жизни необходимы три условия:

- 1) наличие воды в жидкой фазе, так как все низкотемпературные, регулируемые ферментами биохимические реакции, обуславливающие жизнь, протекают только в жидкой среде. Химически чистая вода в биосфере такая же редкость, как и вода, лишенная жизни. (Еще в XIX веке Ф. Дюбуа назвал жизнь одухотворенной водой.) В тканях живых организмов воды в 5 раз больше, чем во всех реках Земли;

2) наличие свободной энергии. Земля получает от Солнца ежегодно 5×10^{20} ккал, или $2,09 \times 10^{21}$ кдж ($1,95$ кал/см², или $8,17$ дж/см² в минуту). Локальные изменения потоков этой энергии в разных экосистемах (суточные, сезонные, многолетние) приводят к тому, что вся жизнь на Земле подчинена солнечным ритмам;

3) наличие поверхностей раздела твердой, жидкой и газообразной сред, что способствует, с одной стороны, осуществлению химических реакций, необходимых для существования жизни, с другой – дискретность отдельных элементов жизни – живых организмов.

М. М. Ермолаев обратил внимание на то, что поскольку все биохимические реакции в организме происходят под воздействием ферментов, то, следовательно, биосфера – часть географической оболочки Земли, в пределах которой физико-географические условия обеспечивают нормальную работу ферментов.

М. А. Ергунов показал, что биосфера, как и любая из составляющих ее экосистем меньшего ранга, биоанизотропна. Это – следствие более общего закона жизни: *биоанизотропия* – явление всеобщее, биоизотропии нет. Это происходит потому, что между средой обитания и каждым организмом происходит обмен веществ, и поэтому в каждый данный момент различные точки среды отличаются одна от другой по физико-химическому составу. Диффузия никогда не может их вполне выровнять, пока существует причина, производящая их, т. е. жизнь. В то же время в неживой среде изотропность возможна и наблюдается на локальных объектах.

В развитие понятия жизни и биосферы Э. Бауэр ввел понятие устойчивой неравновесности биологических систем. Мертвые системы равновесны (кристаллы). Живые системы не бывают в полном равновесии, так как развитие биологической системы есть результат эффекта увеличения внешней ее работы – воздействия организма на среду, в ответ на полученную из внешней среды порцию энергии. Работа живой системы всегда направлена против равновесия, требуемого законами физики и химии при соответствующих внешних условиях (принцип Бауэра).

Например, в водах рек, протекающих по лесам, всегда содержатся гумусные вещества и кислород. В равновесном состоянии гумусные вещества быстро окислились бы и система установилась бы

в химическом равновесии. Но в действительности в воду, в результате деятельности живых существ, все время поступает и кислород, и гумусные вещества, отчего и поддерживается устойчивая неравновесность, которая, как это не парадоксально, и является гомеостазом (равновесностью) экосистемы. Гомеостаз – это равновесие, но не равновесие кристалла, а равновесие качающейся доски.

Биологические системы, в отличие от систем неживой природы, должны обладать свойством постоянно поддерживать свою структуру вне зависимости от факторов внешней среды. Поскольку живые системы постоянно совершают работу и разрушаются, они должны одновременно и самовосстанавливаться, черпая из окружающей среды необходимые энергию, материалы, информацию. Благодаря процессу самовосстановления биологические системы сохраняют по отношению к внешней среде неравновесное, антиэнтропийное состояние (т. е. имеют более высокую степень организованности, нежели внешняя среда).

Эта особенность живых систем привела В. И. Вернадского к ошибочному заключению, что энтропия не имеет реального физического смысла и является лишь математическим выражением, и второе начало термодинамики проявляется только в неживой природе и неприменимо к явлениям жизни.

На самом деле второе начало термодинамики (в замкнутых системах энтропия нарастает и в равновесном состоянии достигает максимума) является всеобщим законом природы. По второму закону термодинамики, при любых преобразованиях энергии в закрытой системе часть энергии переходит в тепло, а тепло может переходить только от более нагретых тел к менее нагретым, отчего в итоге энергия переходит в форму, непригодную для дальнейших ее преобразований. Поэтому круговорот энергии невозможен.

Повышая степень своей организованности (т. е. понижая энтропию), биологические системы повышают энтропию в окружающей среде. Так, при фотосинтезе растение создает, преобразуя световое излучение Солнца, сложные органические вещества с высокой энергией химических связей. При окислении этих веществ в организмах химическая энергия преобразуется в другие виды энергии: тепловую, механическую, электрическую. Но растение преобразует

в эту энергию в среднем 1 % энергии, полученной от Солнца, а остальные 99 % превращаются в тепло и рассеиваются в пространстве, повышая его энтропию в гораздо большей степени, чем она понижалась в данном растении.

Но биосфера с точки зрения синергетики глобальная открытая система, через которую постоянно проходит поток солнечной энергии (вход), что обеспечивает постоянные преобразования энергии в ней и образование в результате массы органических веществ (выход). В силу явлений гомеостаза, эта система саморегулирующаяся, с все возрастающей помехоустойчивостью.

ГЛАВА 4

Понятие о живом веществе и его свойства

Дополняя научную картину мира, сложившуюся в начале XX века, В. И. Вернадский вводит понятие живого вещества. *Живое вещество* – совокупность всех живых организмов, сведенных к общей массе, химическому составу и заключенной в них энергии. Оно является столь же полноправным компонентом материального мира, как и физическая материя, состоящая из атомов и физических полей, по определению В. И. Вернадского – *косное вещество*. Живое вещество, таким образом, противопоставлено мертвому, косному веществу. В. И. Вернадский выделил еще *биокосное вещество* – неживое вещество, образовавшееся в результате деятельности живого. К биокосному веществу относятся почва, горные породы и полезные ископаемые, образованные живыми организмами (известняк, мрамор, доломиты, уголь, нефть и т. п.), а также вода Мирового океана, поскольку ее солевой состав во многом зависит от жизнедеятельности водных организмов, и атмосфера, так как кислород и углекислый газ в ней практически полностью биогенного происхождения.

Живое вещество составляет ничтожную часть биосферы. Общая масса биосферы оценивается в 3×10^{18} т, в том числе масса живых организмов и мертвой органики $1,8-2,5 \times 10^{12}$ т, т. е. 0,00006 – 0,0008 % от всей массы наружных оболочек Земли. Тем не менее за 4 млрд лет, что существует жизнь, живые существа в корне преобразили состояние и атмосферы, и гидросферы, и верхних слоев литосферы. Это – отражение глобальной и даже космической роли живого вещества.

По определению В. И. Вернадского, все живые организмы являются функцией биосферы, теснейшим образом связаны с ней материально и энергетически. Они являются огромной геологической

силой (на что, кстати, первым обратил внимание Ламарк!), определяющей современный облик биосферы и вмещающих ее наружных оболочек Земли. Следовательно, средообразующая роль живого вещества – роль всех вместе взятых организмов, выступающих в этом процессе как единое целое.

Живое вещество, таким образом, суммарное выражение всех явлений жизни, выступающих как геологический процесс, геологическая сила планетарного характера. А формой, структурой живого вещества на нашей планете и является биосфера, единый, целостный, всепланетный комплекс, единая и наибольшая экосистема планеты.

Связь между живым и косным веществом непрерывна и выражается в непрерывном биогенном токе атомов из живого вещества в неживое и обратно в процессах дыхания, питания, размножения, выделения и разложения живого вещества при гибели организма. В. И. Вернадский ввел понятие: биогенная геохимическая, или биогеохимическая энергия – это энергия живых организмов, направленная на осуществление геохимических реакций и геологических процессов.

Проявление этой энергии сводится к двум биогеохимическим принципам В. И. Вернадского:

1. Биогеохимическая энергия в биосфере стремится к максимальному проявлению.

2. При эволюции видов выживают те из них, которые своей жизнедеятельностью увеличивают биогеохимическую энергию.

Основные свойства живого вещества, определяющие его отличие от вещества косного, по В. И. Вернадскому, следующие:

1. Живое вещество обладает колоссальным запасом свободной энергии. Законсервированная фотосинтезом солнечная энергия намного превышает собственные потребности автотрофов, остается достаточно энергии для передачи по пищевым цепям и для воздействия в процессе обмена веществ на неживую среду на всех последующих трофических уровнях, что и определяет влияние живого вещества на глобальные процессы в биосфере, меняющие облик нашей планеты.

2. Все химические реакции в живых организмах благодаря ферментам идут в сотни и тысячи раз быстрее, чем в неживом веществе,

причем при нормальном атмосферном давлении и температуре в основном в пределах $+10 \dots +40$ °С.

3. Все органические и многие неорганические вещества устойчивы только в живых организмах. Это доказывается быстрой утилизацией веществ, входящих в состав организма, после его гибели.

4. Живое вещество обладает способностью к самопроизвольному и в значительной степени контролируемому движению, в том числе движению против силы тяжести, ветра и течения. Неживое вещество к этому неспособно.

5. Живое вещество намного разнообразнее неживого. В природе существует около 3 тыс. неорганических соединений и более 3 млн органических (если учитывать соединения, синтезированные человеком, то соотношение будет 18 тыс. к 10 млн).

6. Живое вещество не может быть представлено в виде больших аморфных масс – только в виде дисперсных тел – организмов. В то же время косное и биокосное вещество может образовывать крупные изотропные, не дисперсные массы – Мировой океан, массивы рудных тел и др.

7. Минимальные размеры организмов определяются энергетическими способностями (наименьшее количество вещества, в котором могут идти все необходимые химические реакции и преобразования энергии – линейные размеры порядка 10^{-6} см), а максимальные размеры – действием силы тяжести и прочностью опорных тканей: клетчатки у растений и костей у животных (линейные размеры порядка 10^4 см).

Мельчайшие бактерии как раз и имеют размеры порядка 10^{-6} см. Правда, есть еще вирусы, размеры которых на три порядка меньше – мельчайший вирус имеет размер около 10^{-9} см. Но вирусы проявляют свойства живого лишь внутри клеток других организмов, используя их ферментные системы, а вне клеток безжизненны.

Наиболее крупные растения – деревья, имеющие размеры как раз порядка 10^4 см (эвкалипты до 126 м, секвойи до 116 м). Наиболее крупное наземное позвоночное – растительноядный динозавр брахиозавр имел длину более 20 м и массу (по разным расчетам) от 50 до 75 т. Самое крупное из всех животных, когда-либо живших на Земле, синий кит, имеет массу до 136 т при длине 33 м. Но он

живет в воде, и по закону Архимеда его масса заметно облегчена. Беспозвоночные, хотя и достигают сравнимых размеров (длина медузы цианеи полярной с распрямленными щупальцами – до 30 м, гигантского кальмара – до 19 м), имеют несравнимо меньшую массу (кальмар до 9 т, медуза до 0,3 т).

8. Даже отдельные дисперсные тела – организмы – не могут быть однородны – живое вещество существует только в виде совокупностей различных видов продуцентов, консументов и редуцентов, связанных между собой участием в биогенном круговороте, т. е. в виде биоценозов.

9. Живому веществу присущ эволюционный процесс. Оно все время совершенствуется, стремясь перейти в наибольшее соответствие с условиями окружающей среды. С Протерозойской эры живое вещество усложнилось невероятно – от бактерий и синезеленых водорослей до высших растений и позвоночных животных, в том числе человека. Протерозойские граниты и сейчас – граниты; они могут лишь разрушаться при выветривании.

10. По крайней мере в настоящее время не происходит абиогенез – возникновение живых существ из неживой материи. Этот тезис неоднократно в истории биологии подвергался сомнениям, так как, раз живое вещество существует, оно когда-то должно было возникнуть из неживого, и если это «когда-то» было, почему бы ему не быть и сейчас? Доказательству или опровержению этого тезиса были посвящены многочисленные эксперименты. В середине XVII века Ф. Реди на очень простом опыте показал невозможность самозарождения мух, которые, как тогда считалось, не откладывают яйца, а зарождаются в виде личинок из гниющих субстратов. Он помещал в сосуды куски мяса, причем половина сосудов оставалась открытой, а половина была затянута кисеей. В такие сосуды мухи проникнуть и отложить яйца не могли. И мясо, хотя и сгнивало, но никаких «червяков» в нем не было (рис. 2а).

В конце XVIII века Л. Спалланцани доказал и невозможность самозарождения бактерий. В запаянных колбах прокипяченный стерильный бульон месяцами оставался прозрачным и свежим. В то же время, если колбу вскрывали, через несколько дней бульон мутнел, приобретал неприятный запах, а под микроскопом в нем были вид-

ны многочисленные микроорганизмы (рис. 2в)*. Правда, сторонники теории самозарождения жизни возражали ему, уверяя, что, прокипятив бульон и лишив его доступа воздуха, он убил в нем некую «жизненную силу».

Окончательную точку в этих спорах поставил Л. Пастер. Он изобрел специальную колбу, в которой строение горлышка препятствовало проникновению в питательную среду спор микроорганизмов из воздуха, сам же воздух попадал в колбу беспрепятственно (рис. 2с).

В конце XX века морские геологи открыли на больших глубинах, в зонах разломов земной коры, особые образования – «черные курильщики» – места выхода ювенильной воды из глубоких слоев мантии. Это конусы высотой от нескольких см до 70 м, около которых складывается своеобразная экосистема, продуцентами в которой являются хемосинтезирующие серобактерии (рис. 3). Ювенильная вода насыщена многими биогенными элементами, и вблизи «курильщиков» вроде бы обнаружены отдельные аминокислоты и даже короткие пептидные цепочки – зачатки белковых молекул. Если это подтвердится, то тезис В. И. Вернадского будет скорректирован.

11. Жизнь изначально присуща Вселенной и перенос некоторых элементов жизни – спор, вирусных частиц, сложных молекул – возможен через космическое пространство под давлением лучей света (давление света открыто и сила его измерена в 1901 г. русским физиком А. Лебедевым). Эта гипотеза, выдвинутая шведским ученым С. Аррениусом в 1918 г. и получившая название гипотезы панспермии («всеобщности зародышей»), была активно поддержана В. И. Вернадским. Прямым подтверждением возможности пребывания органического вещества в космическом пространстве стали работы английского астрофизика Ф. Хойла и индийского астронома Ч. Викрамасингха в 1960-е гг. Методом спектрального анализа они обнаружили в межзвездном веществе («космическом

* В начале XIX повар-француз Ф. Апер, случайно прочитав книгу Спалланцини, сделал практический вывод – в герметической упаковке простерилизованные продукты не портятся! И изобрел консервы.

газе») аммиак (NH_3), водяной пар, угарный газ (CO), цианацетилен (CHC_2N), метанол (CH_3OH), муравьиную кислоту (CHOON), ацетальдегид (CH_3COH), метилацетилен (CHC_2N) и некоторые другие вещества, вплоть до порфиринов (например, $\text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{N}_3\text{O}_5$) с более чем 50 атомами в молекуле. Количество молекул органических веществ определено ими в наблюдаемой с Земли части Вселенной в 10^{52} .

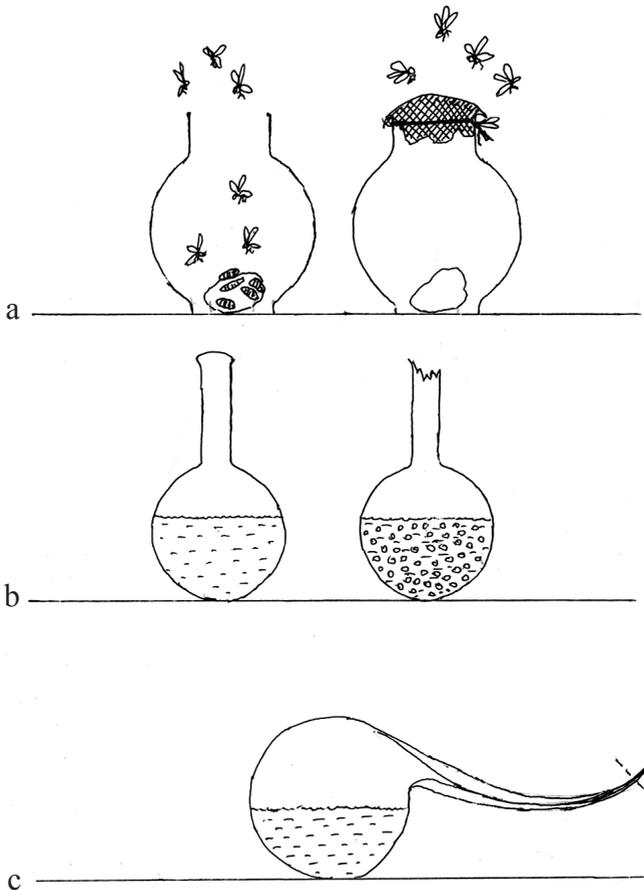


Рис. 2. Опыты, доказывающие невозможность самозарождения живых организмов из неживой субстанции: а – опыт Ф. Реди; б – опыт Л. Спаллани; с – опыт Л. Пастера

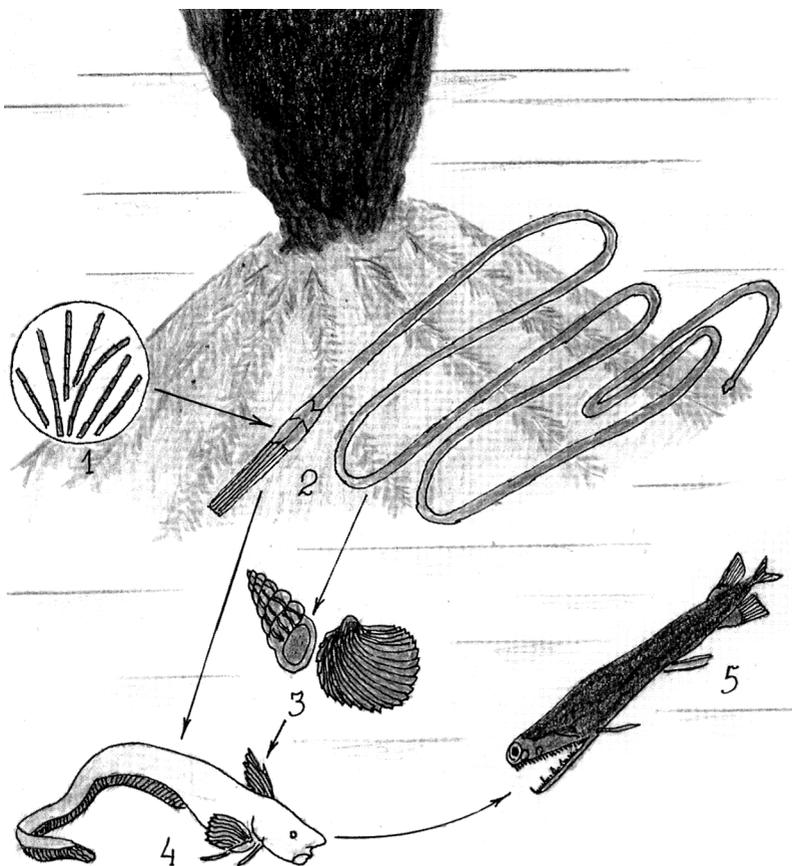


Рис. 3. «Черный курильщик» и его биота.

- 1 – хемосинтезирующие бактерии; 2 – погонофоры *Vestimentifera*;
 3 – глубоководные моллюски; 4 – глубоководные бентосоядные рыбы;
 5 – глубоководные хищные рыбы

Также подтверждается наличие органического вещества во Вселенной данными о том, что органические вещества довольно большой степени сложности содержатся в метеоритах, особенно в так называемых углистых хондритах. Впервые органические вещества в них обнаружил знаменитый шведский химик И. Берцелиус в 1834 г. В настоящее время в углистых хондритах обнаружены

углеводороды, среди которых наиболее распространены формы с 16 атомами углерода в цепочке, карбамид (мочевина; C_6H_9N), спирты (CH_3OH и др.) и алифатические карбоксилловые кислоты ($R-COOH$). Встречены пурины и пиримидины с молекулярным весом 300–500 (в том числе аденин и гуанин), сернистые и хлористые органические соединения, органические полимеры и, наконец, 12 из 20 входящих в состав белков аминокислот. По массе эти органические соединения составляют до 3,8 % от общей массы метеорита, да еще до 2,2 % составляет чистый углерод в виде графита или сажи.

Установлено, что большинство астероидов солнечной системы по своему составу близки к углистым хондритам, следовательно, тоже должны содержать органические вещества. Таким образом, можно с большой долей вероятности предположить, что образование органического вещества в солнечной системе на ранних стадиях планетогенеза было типичным и массовым явлением.

Косвенным подтверждением является способность различных болезнетворных бактерий и вирусов переживать длительное время в условиях крайне низких температур. Так, в вирусологических и бактериологических исследовательских лабораториях в жидком азоте ($-196^\circ C$) десятками лет сохраняются возбудители различных заболеваний, не теряя при этом своей патогенности. Даже такой генетически сложный материал, как сперма крупного рогатого скота, хранится в жидком азоте многие годы, а затем при искусственном осеменении дает полноценное потомство*.

Противники гипотезы панспермии считают, что находки органических веществ в метеоритах и в «космическом газе» – это остатки погибшей жизни, существовавшей на планетах, разрушившихся по каким-либо причинам. Они ссылаются также на современные, принятые в космологии и астрофизике теории происхождения Вселенной (или по крайней мере той ее части, где находится наша солнечная система) в сравнительно недавнем прошлом (порядка

* В 1980-е гг. К. С. Уманским была выдвинута гипотеза о том, что ежегодные пандемии гриппа на Земле вызваны прохождением Земли через определенные участки космического пространства, где вирусы гриппа сохраняются.

15 млрд лет назад) в результате так называемого Большого взрыва и замкнутости Вселенной вследствие кривизны пространства*.

Если Вселенная имеет начало, то и жизнь должна была иметь его, причем отдаленное от времени начала Вселенной. Не отрицая в принципе возможность заноса жизни на какую-нибудь планету, противники гипотезы панспермии считают, что все же зарождение жизни первоначально происходит на какой-либо планете и уже с нее разносится в космосе. Так что гипотеза панспермии, считают они, только отодвигает в пространство и время решение вопроса как же все-таки появилась жизнь? Таким образом, они неизбежно подходят к идеям абиогенеза.

Первую глубоко аргументированную гипотезу абиогенеза сформулировал в 1920-е гг. советский биохимик А. И. Опарин. В его гипотезе главным было признание того, что при определенных условиях, которые могли существовать на Земле на ранних этапах ее геологической истории, мог происходить естественный синтез простейших органических веществ и последующее их усложнение, завершившееся образованием каплевидных конкреций, которые в воде Первичного океана вели себя, как живые существа: обменивались различными веществами с окружающей водой, поглощали другие, меньшие по размерам, каплевидные конкреции, а также отдельные молекулы белков, сахаров и других органических веществ. Наиболее крупные из них могли делиться. А. И. Опарин назвал такие образования **коацерватами** («накопленными»).

Гипотеза А. И. Опарина не встретила сколько-нибудь серьезных возражений со стороны ученых, но на долгие годы осталась чисто умозрительным построением, демонстрирующим лишь одни из возможных путей возникновения жизни.

Экспериментальное подтверждение пришло лишь в начале 1950-х гг. в экспериментах американского биохимика С. Миллера, ученика знаменитого биохимика Г. Юри и под влиянием его идей. Смесь метана, аммиака, водорода и водяного пара подвергались

* В последнее время гипотеза Большого взрыва отрицается рядом крупных космологов и астрофизиков.

воздействию электрических разрядов, что имитировало состав первичной атмосферы Земли и наличие в ней мощных гроз. В результате образовалось 15 аминокислот из числа тех 20, которые входят в состав белков, в том числе несколько незаменимых, а также аденин и рибоза, компоненты нуклеиновых кислот (рис. 4).

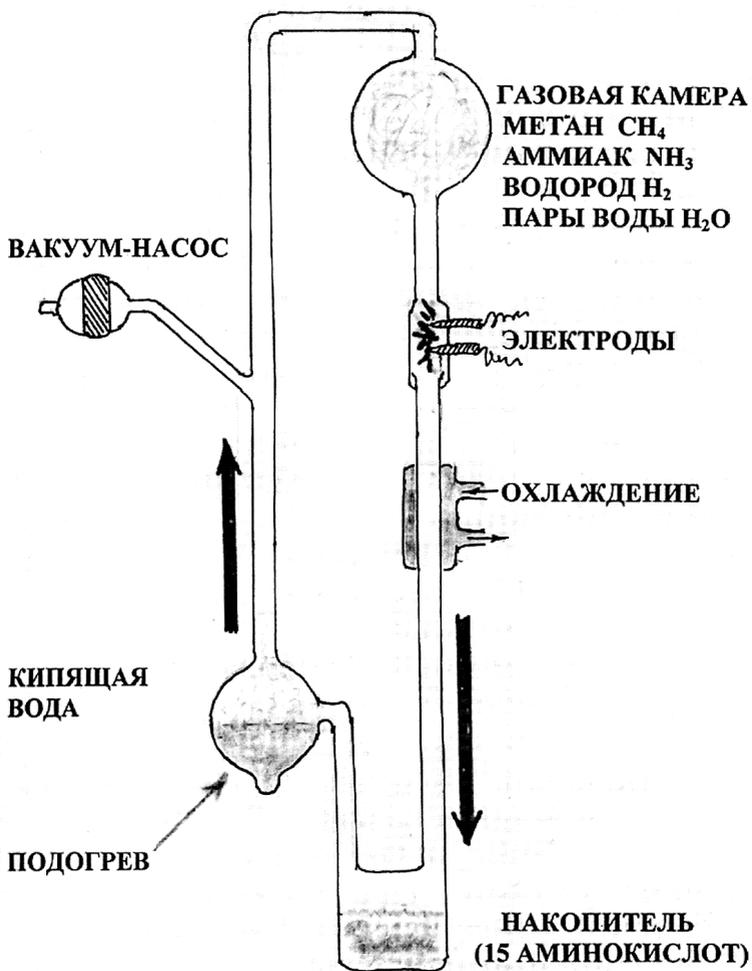


Рис. 4. Схема установки С. Миллера, имитирующей образование аминокислот в первичной атмосфере Земли

Вскоре после Г. Миллера советские исследователи Т. Павловская и А. Пасынков получили ряд аминокислот, облучая ультрафиолетовыми лучами водные растворы формальдегида и солей аммония, имитируя условия, существовавшие в Первичном океане, когда атмосфера, не содержащая кислорода, свободно пропускала ультрафиолетовые лучи. Далее, японский ученый К. Харада и американский ученый С. Фокс получали аминокислоты, нагревая смесь тех же газов, которые использовал в своем эксперименте С. Миллер, на нагретой до 150–180 °С затвердевшей лаве, имитируя условия, существовавшие на Земле в период активной вулканической деятельности. Наконец, все основные компоненты нуклеиновых кислот: пуриновые и пиримидиновые основания и сахара – рибозу и дезоксирибозу, получали американские ученые Дж. Оро (используя инфракрасные лучи) и С. Поннамперума (используя радиоактивное облучение).

Таким образом, было непосредственно подтверждена возможность возникновения жизни путем абиогенеза непосредственно на поверхности Земли без заноса из космоса.

В настоящее время ни гипотеза панспермии, ни гипотеза абиогенеза окончательно не подтверждены и не опровергнуты. Надо только отметить, что если мы становимся на точку зрения заноса жизни из космоса, мы должны признать наличие во вселенной очень большого числа биосфер (астрономы подтвердили наличие в непосредственной близости от солнечной системы по крайней мере 20 звезд, имеющих планетные системы). Если же мы придерживаемся гипотезы абиогенеза, то может оказаться, что биосфера Земли – уникальное явление.

12. Количество массы живого, составляющее биосферу, в настоящее время лишь незначительная часть того живого вещества, которое существовало за всю историю биосферы. Наличие громадных залежей горных пород биогенного происхождения подтверждает этот тезис.

13. Хотя жидкости и газы присутствуют во всех живых организмах, живых жидких и газообразных тел нет – все организмы имеют поверхность, отделяющую их от воздуха или от воды.

14. Число живых естественных тел количественно связано с размерами планеты.

15. Масса живого вещества биосферы остается в основном постоянной и была примерно одинакова в прошлые геологические эпохи. Этот тезис вызывает существенные возражения. Вряд ли могла бы возникнуть в геологически короткие сроки биомасса, соответствующая по порядку величины современной. Также известно, что в отдельные геологические периоды (Карбон) флора Земли превосходила по своей фитомассе флору каждого из последующих периодов; также были периоды (Триас) с очень малой фитомассой. Вряд ли общая биомасса этих периоды была даже примерно равной.

16. Химический состав живых естественных тел является функцией их собственных свойств, неживых – функцией свойств окружающей среды, в которой они создаются. Размеры неживых тел определяются, с одной стороны, размерами атомов и молекул, с другой – размерами планеты.

17. Все процессы, идущие в живых организмах, необратимы, и в итоге приводят к смерти. Процессы, идущие в неживой природе, в значительной степени обратимы.

ГЛАВА 5

Понятие о ноосфере

Логическим завершением учения В. И. Вернадского о биосфере явилось понятие о ноосфере («ноос» – разум). Сам термин принадлежит французским ученым А. Ле Руа и П. Тейяр де Шардену, заложившим основы теории преобразования биосферы – сферы жизни, в ноосферу – сферу разума. По воззрениям этих ученых, основными ступенями в процессе непрерывного усложнения материи являются космогенез (происхождение Вселенной), геогенез (возникновение и развитие планеты Земля), биогенез (происхождение и развитие жизни) и антропогенез, или ноогенез – возникновение и развитие разума.

П. Тейяр де Шарден наметил своеобразную программу развития человечества: распределение ресурсов Земли; регулирование устремления к свободным пространствам; оптимальное использование сил, высвобожденных машинами; геоэкономика; геополитика; геодемография; организация научных исследований. Все это должно перерасти в рациональную организацию Земли. Однако эту вполне логическую и материалистическую программу автор рассматривал под углом некоей человеческой энергетике, которую понимал мистически: «за пределами физики, биологии и психологии» (его собственные слова). Реализацию своей программы он видел в синтезе религии и науки, который, по его мнению, один может совершить полный акт познания. Ноосфера же понималась как единение человека с Богом, который, по мнению автора, развивался вместе с человеком, единение же в некоторой «точке Омега» подразумевало наивысшее развитие и Бога, и Человека.

Однако В. И. Вернадский вложил в понятие ноосферы намного более глубокое содержание, чем авторы этого понятия. Прежде

всего В. И. Вернадский рассматривал появление человека разумного на планете Земля не как случайность, а как закономерный итог эволюции живых организмов. С момента своего появления на Земле человек стал играть особую роль. В. И. Вернадский неустанно подчеркивал в своих трудах значение человечества как мощной геологической силы. По его мнению, человечество – функция биосферы, ее определяющая и закономерная часть. Он считал, что цивилизация подготовлена всем прошлым развитием биосферы и не может прерваться и уничтожиться, так как это есть большое природное явление, сложившееся исторически.

Разум, с точки зрения В. И. Вернадского, есть высшая способность целесообразно реагировать на изменения внешних условий. Он также отмечал, что проявления разума – неравномерный процесс. Через столетия повторяются периоды, когда в одном или нескольких поколениях скапливаются в одной или нескольких странах богато одаренные личности, коллективный разум которых создает силу, резко меняющую биосферу.

В процессе своего развития, создавая науку, культуру, технику, цивилизацию, человек закономерно приходит к перестройке биосферы согласно своим потребностям. В. И. Вернадский считал, что такая перестроенная биосфера и будет ноосферой, причем она станет упорядоченной, направляемой человеком и благоприятной для обитания не только человека, но и всего органического мира. Перестройка биосферы в ноосферу, по В. И. Вернадскому, должна происходить под влиянием науки и социально организованного труда. Ноосфера подразумевает экономическое, политическое и юридическое равенство всех людей, социальное обустройство мира, отсутствие войн и т. п.*

В. И. Вернадский понимал ход научного творчества как реальную силу, при помощи которой человек меняет биосферу, причем эти изменения неизбежны, они обязательно сопутствуют росту научной мысли. Они происходят независимо от человеческой воли,

* В день начала Великой Отечественной войны, 22 июня 1941 г. В. И. Вернадский записал в дневнике: «Мне жалко немцев, они обречены на разгром, потому что агрессивная война – нарушение законов ноосферы».

стихийно, как естественный природный процесс. А так как среда жизни есть организованная оболочка планеты – биосфера – то вхождение в нее в ходе ее геологически длительного существования нового фактора ее изменений – научной работы человечества – есть природный процесс перехода биосферы в новую фазу, при которой стихийно-историческое развитие жизни станет под контроль человеческого разума и перейдет в новое состояние – ноосферу. *Ноосфера* – закономерный этап развития биосферы, связанный с ростом человеческого познания, научной мысли как планетарного явления.

К учению В. И. Вернадского о ноосфере тесно примыкает его концепция об автотрофности человечества. Конечно, он не считал, что человек как организм станет способным к автотрофному питанию. Он понимал автотрофность человечества как независимость от существующих на Земле биологических и энергетических ресурсов, призывал ко все более интенсивному использованию непосредственно солнечной энергии и синтезу пищи из легко доступных неорганических соединений.

В. И. Вернадский рассматривал образование ноосферы как положительное явление, считал, что ноосфера будет более совершенна и более приспособлена для дальнейшего развития жизни, чем современная биосфера. У него нет прямых указаний на время наступления ноосферы. В своих ранних работах на эту тему (конец 20-х – начало 30-х гг. XX века) он считал, что ноосфера на Земле уже создана, но в последних его работах (а умер он в 1945 г.) о ноосфере говорится лишь в будущем времени.

Но современное развитие человечества мало напоминает ноосферу В. И. Вернадского, скорее оно – угроза существованию природы как самостоятельной целостности и существованию человека как части этой природы.

Поэтому многие современные ученые не соглашаются с концепцией ноосферы по В. И. Вернадскому. Указывая, что то, что человечество сделало к настоящему времени с биосферой, разумным назвать никак нельзя, предлагают для обозначения современного состояния биосферы термин «техносфера» («технэ» – сделанный, искусственный), а видовое название человека *Homo sapiens* (человек разумный) заменить на *Homo faber* (человек производящий).

Техносфера как реальность – не гармония, о которой мечтал В. И. Вернадский, а искусственная среда, которая теснит ареал биологического бытия. Искусственная среда дала людям небывалый комфорт, но она же ведет к общей деградации естественной среды обитания.

Искусственная среда может обладать способностью к саморазвитию, у нее появляются черты, не вытекающие из первоначально поставленных человеком задач. При управлении сверхсложными системами типична ситуация, когда отдельное конкретное решение по улучшению функционирования системы ведет к общему ухудшению ее. На определенном этапе управляющая система становится сложнее той системы, которой она должна управлять. (Гайка проще станка, на котором ее вытачивают, а станок проще компьютера, который задает ему программу.) Поэтому надеяться, что ноосфера (техносфера), искусственная реальность, подчиняется нашей воле – это иллюзия.

Одна из идей, пытающихся избавить человечество от этой мрачной перспективы, идея космоцентризма, сменяющая идеи природоцентризма, переориентация нашей деятельности с природы на технику, с Земли на космос. В принципе техника может работать и на безжизненных планетах (и работает!). Узкое место – человек. Ему необходимы условия, соответствующие его биологической природе, поэтому все космисты неизбежно приходят к идее «нового человека» и находят поддержку в идее В. И. Вернадского об автотрофности человечества, понимая ее, в отличие от автора, буквально (киборги и прочие сверхчеловеки на солнечных батарейках).

Наиболее враждебен живой природе из всех космистов К. Э. Циолковский. В его фантастических космических поселениях люди реально трансформируются, безболезненно убирая все несовершенное в себе. Но останется при этом человек – Человеком? Возникает опасность, что искусственный интеллект, высшая степень автотрофности человечества, может стать эволюционным снятием человеческого разума.

Замечательный советский писатель-фантаст А. Р. Беляев был ярким последователем идей К. Э. Циолковского. В своем романе «Звезда КЭЦ» (1940) он описал жизнь на межпланетной станции,

построенной по идеям своего кумира. Но он все же был писателем, личностью с глубокой интуицией. И в его «космическом раю» некоторые из «новых людей»... сходят с ума!

Современное так называемое научно-религиозное сознание, идущее от Е. П. Блаватской, Е. И. Рерих, а также от П. Тейяр де Шардена и некоторых других, в качестве «высшей силы», которая спасет мир, ставят на место Бога некую высшую цивилизацию, которая постоянно наблюдает за нами и в случае необходимости придет на помощь. Но, не отрицая в принципе возможность существования во вселенной более высокоразвитых цивилизаций, чем наша, мы закономерно задаем вопрос: а нужны ли мы этой сверхцивилизации? Заметит ли она нас? Или мы для нее – нечто вроде муравейника, который можно, проходя по лесной тропинке, пнуть ногой и пойти дальше, не вспоминая больше об этом незначительном эпизоде? Мы надеемся, что Космос спасет Землю, спасет людей, если они погубят природу. Но не погубят ли они, если их образ мышления останется прежним, и Космос?!

По поводу возможности построения ноосферы в будущем также единого мнения нет. Одни ученые считают, что она все-таки будет построена, другие относят ее к разряду утопий, указывая, что каждая утопия несет двоякое значение: с одной стороны, зовет к идеалу, указывает цель, а с другой – разоружает, так как упование на будущее отвлекает от решения неотложных задач. Также известно, что по мере приближения утопии к осуществлению все сильнее выявляются ее внутренние противоречия. С точки зрения В. И. Кутырева, ноосфера – сциентистский (опирающийся на науку) аналог всегдашних мечтаний человека о рае на Земле (утопический социализм, коммунизм и другие, более ранние представления о золотом веке, Атлантиде, «Стране Муравии» и пр. им же несть числа).

В оценке перспектив выживания человека при становлении и развитии техносферы явственно прослеживаются две линии: 1) его фактическое вытеснение техникой и 2) выживание человека при совместном развитии биосферы и ноосферы. Реалистической представляется только надежда на то, что возможно длительное сосуществование биосферы и техносферы, при котором скорость

преобразования внешней среды будет не выше, чем способность людей адаптироваться к этим изменениям.

Похоже, что в экологии вместо пассивного «защита природы» и даже «забота о ее рациональном использовании» центр тяжести придется перенести на регулирование искусственной среды. Вместо упований на ноосферу, которая будет управлять всем и вся, надо подумать, как управлять реальной техносферой. Мы должны бороться за ее приведение к природе, к мере человека, соотнося ее с возможностями нашего приспособления к инновациям. Обеспечение коэволюции естественного (биосферы) и искусственного (техносферы) становится основным условием нашего выживания.

В целом перспективы ноосферы неясны, в настоящее время человечество приблизилось к решающей бифуркационной точке своей истории: пойдет ли оно по пути дальнейшего хищнического потребления ресурсов биосферы, что приведет к их быстрому исчерпанию и гибели цивилизации, или найдет в себе мудрость и решительность изменить в принципе свое отношение к среде собственного обитания и сохранить и приумножить ее ради будущих поколений.

Но пока общество не готово к экологическому мышлению, никакие внедрения новых идей, структур, политических решений «сверху» не сделают человечество более сознательным. И культ природы, и культ ноосферы одинаково игнорируют человеческую индивидуальность и отвергают компромисс с несовершенной реальностью. Для тех, кто стремится к триумфу разума в космическом масштабе и для тех, кто идеализирует природу, живые люди лишь помеха на пути к мировой гармонии. Стремление к насильственной переделке людей, какими бы благими целями это не руководствовало (включая и «гармонию с природой»), всегда остается чрезвычайно опасным. Поэтому было бы правильнее понимать идею ноосферы как идею постепенного осознания все большим и большим количеством людей принципов и законов экологии и не директивное, а сознательное внедрение в людские умы идей устойчивого развития, идей использования ресурсов биосферы настолько, насколько она может сама или с помощью человека их восстанавливать.

ГЛАВА 6

Структура биосферы

Жизнь на Земле сосредоточена в ее наружных оболочках – атмосфере, гидросфере и литосфере. Соответственно, живые организмы, присутствующие в атмосфере, составляют *аэробииосферу*, в водной среде – *гидробиосферу*, в почве – *эдафобиосферу* (или *педобиосферу*), в подпочвенных горных породах – *литобиосферу*. Особо выделяются живые организмы, обитающие на поверхности раздела атмосферы и литосферы, на твердой поверхности – *террабиосфера*. В совокупности эти оболочки составляют *эубиосферу*. Выше границ распространения жизни в атмосфере лежит *анобиосфера* – зона, где не встречаются живые организмы, но возможен занос биогенных элементов. Точно так же ниже самой нижней границы распространения жизни в литосфере лежит *гипобиосфера* – зона, где нет живых организмов, но куда попадают биогенные элементы.

Эубиосфера подразделяется на *фотосферу*, зону, которая регулярно освещается солнечными лучами и в которой возможен фотосинтез, и *меланобиосферу*, зону, в которую солнечный свет не проникает. К фотосфере относится вся аэробииосфера, террабиосфера и верхние слои гидросферы, до глубины 600 м. К меланобиосфере относятся эдафосфера, литобиосфера и глубинные слои гидросферы, глубже 600 м. (рис. 5).

Распределение живых организмов в различных оболочках Земли неравномерно.

Атмосфера – газообразная оболочка Земли, имеет массу $5,15 \times 10^{15}$ т. Наибольшая плотность воздуха в нижних слоях атмосферы, в тропосфере. Ее высота в среднем 12 км, от 9 км на полюсах до 16 км на экваторе. Зона раздела между тропосферой и более высокими слоями атмосферы называется тропопауза.

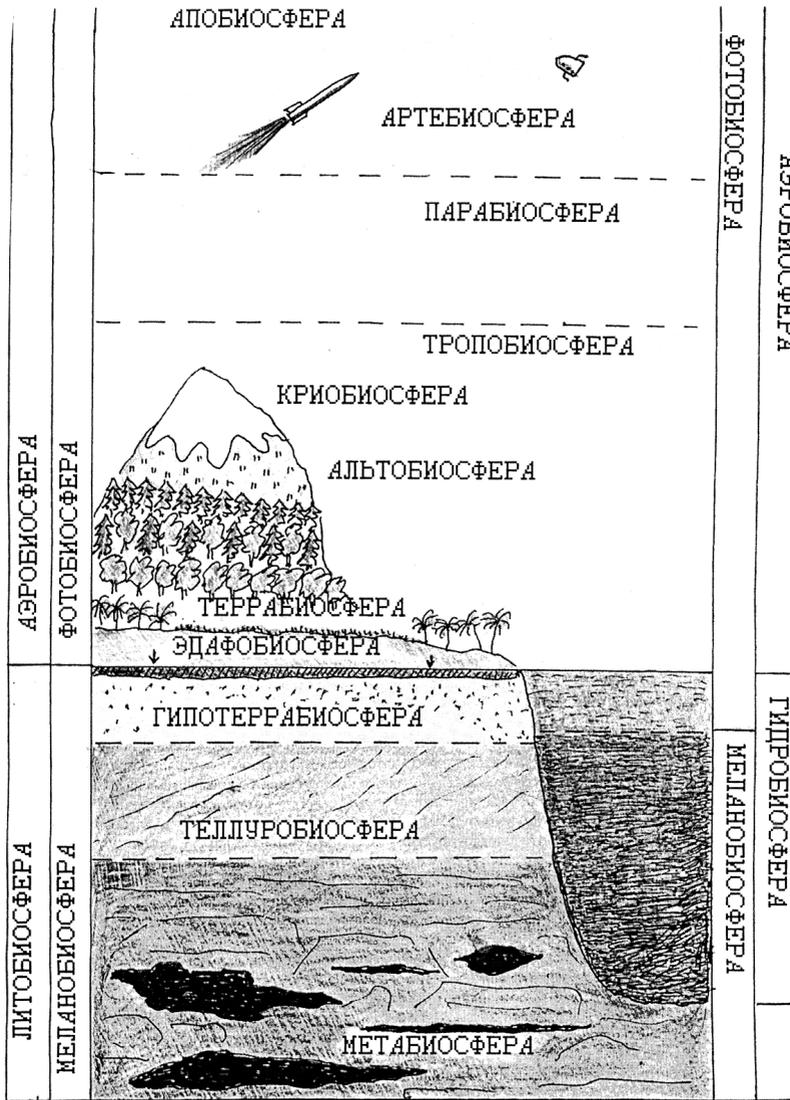


Рис. 5. Структура биосфера (по: Реймерс, 1919)

В тропосфере сосредоточена основная масса атмосферного воздуха (80 % всего объема) и находится почти весь водяной пар. Здесь происходят основные перемещения масс воздуха, как вер-

тикальные, так и горизонтальные, прохождение циклонов и антициклонов, основная атмосферная циркуляция воды: образование дождевых облаков и выпадение осадков. Здесь же накапливается основная часть выбросов в атмосферу загрязняющих веществ как природного, так и (в последние 1,5–2 столетия) и антропоического происхождения.

Выше располагается стратосфера. Ее высота до 50 км над полюсами и до 65 км над экватором. На ее протяжении сильно возрастает температура: от $-40 \dots -80$ °С в тропопаузе до 0° в переходной зоне от стратосферы к более высоким слоям (стратопаузе). В стратосфере не отмечается существенных перемещений воздушных масс, очень мало содержание водяного пара, но повышено содержание озона, особенно на высоте 18–25 км. Далее, до высоты 85 км, простирается мезосфера, где температура падает до $-70 \dots -80$ °С. Она отделена слоем, именуемым мезопаузой, от следующего «этажа» атмосферы – термосферы, простирающейся вверх до 500 км. На протяжении термосферы активно идет диссоциация молекул азота и кислорода, так что на высоте около 150 км почти весь кислород состоит из отдельных атомов, а выше 300 км полностью диссоциирован и азот. Температура на протяжении термосферы растет, и на верхней ее границе достигает $+1500$ °С. На верхней границе термосферы слой, именуемый термопаузой, отделяет термосферу от крайне разреженной экзосферы, которая тянется почти на 1500 км и четкой верхней границы не имеет. В ней сосредоточены наиболее легкие газы – водород и гелий. Здесь атмосфера постепенно переходит в межзвездный газ с плотностью 100 пар ионов на см^3 .

Мезосфера и термосфера именуется еще ионосферой, так как здесь под влиянием ультрафиолетового и рентгеновского излучений Солнца происходит активный распад всех атмосферных газов на ионы и свободные электроны.

Через атмосферу осуществляется обмен веществ между Землей и космосом. Земля получает космическую пыль, метеоритное вещество и космические лучи, а отдает водород и гелий. Атмосфера Земли насквозь пронизана мощным солнечным излучением, за счет которого формируется температурный режим Земли, диссоциация и ионизация атмосферных газов.

Химический состав атмосферы однороден и составляет (по объему) 78,08 % азота, 20,95 % кислорода, 0,93 % аргона, 0,037 % углекислого газа, 1×10^{-3} % неона, $5,2 \times 10^{-4}$ % гелия, $2,2 \times 10^{-4}$ % метана, 1×10^{-4} % криптона, 1×10^{-4} % закиси азота, 5×10^{-5} % водорода, 8×10^{-6} % ксенона и 1×10^{-6} % озона. Различные загрязнители имеют концентрацию порядка 10^{-6} % и ниже.

Наибольшее значение для биологических процессов в биосфере имеют кислород, используемый в процессе дыхания организмами и в процессе минерализации органического вещества; углекислый газ, расходуемый в процессе фотосинтеза растениями; и озон, защищающий организмы от коротковолнового ультрафиолетового излучения Солнца.

Образование озона связано с воздействием ультрафиолетовой части солнечного спектра на молекулы кислорода, вследствие чего они распадаются на атомы. Затем часть этих атомов соединяется по три, образуя молекулы озона, причем наиболее активно этот процесс идет на высоте 18–25 км. Выше диссоциация преобладает над синтезом.

Атмосфера возникла на Земле в процессе ее планетогенеза, в основном при разделении жидкой и газообразной фракций первичной парогазовой оболочки пневматосферы, и при последующем выделении газов из литосферы. В более поздние времена существенное влияние оказала деятельность живых организмов: практически весь кислород и углекислый газ атмосферы биогенного происхождения.

В свою очередь, атмосфера оказала большое влияние на формирование литосферы: на протяжении всего времени своего существования она была мощным фактором выветривания, формировавшего поверхность суши. В этом процессе участвовали атмосферные осадки и ветер, переносившие мелкие фракции горных пород на большие расстояния, а также колебания температуры воздуха и воды. Еще большее влияние на поверхность суши оказало химическое выветривание: действие атмосферного кислорода и образование растворов за счет атмосферных осадков.

Развитие атмосферы во многом определило и развитие гидросферы, так как водный баланс водоемов непосредственно зависит

от режима атмосферных осадков и испарения. С другой стороны, атмосферные процессы находятся под сильным влиянием гидросферы, особенно состояния Мирового океана. В целом эволюция атмосферы и гидросферы была, по существу, единым процессом.

Атмосферные факторы оказывают существенное влияние на эволюцию живых организмов. Более или менее сложные организмы первоначально не могли жить в бескислородной атмосфере и развивались в гидросфере. Лишь при появлении зеленых растений в таком количестве, что выработанный ими в процессе фотосинтеза кислород уже не мог растворяться в воде при имевшейся в то время концентрации солей и температуре воды, он стал уходить из гидросферы в атмосферу. После его накопления в атмосфере в достаточном количестве для дыхания аэробов и для создания озонового экрана могла начаться эволюция наземных организмов.

Существование всех без исключения сухопутных организмов зависит от тепла и влаги, режим же тепла и влаги заметно колеблется при изменениях климата, в свою очередь, связанного с соответствующими изменениями физических и химических факторов в атмосфере. В целом это также оказывало влияние на эволюцию живых организмов.

Одним из важнейших физико-химических факторов атмосферы, играющим решающую роль в жизни живых существ, является содержание водяного пара. Это переменная компонента состава атмосферного воздуха. Среднее содержание водяного пара в вертикальном столбе атмосферы умеренных широт составляет около 16–17 мм «слоя осажденной воды» (потенциально возможного максимума осадков). Изменчивость содержания водяного пара в атмосфере определяется процессами испарения, конденсации и горизонтального переноса (адвекции).

Углекислый газ также является переменной компонентой состава атмосферы, изменения его содержания связаны с жизнедеятельностью растений, растворимостью его в морской воде (газообмен между гидросферой и атмосферой) и, особенно в последние полтора – два столетия, с сжиганием ископаемого топлива. В свою очередь, изменение содержания углекислого газа влияет на структуру растительного покрова.

Заметное влияние на прохождение солнечного излучения играет пыль (взвешенные в воздухе твердые частицы) и атмосферный аэрозоль (капли жидкости) диаметром от нескольких десятков микрометров до нескольких десятков нанометров. Аэрозоли и пыль наблюдаются как в тропосфере, так и в стратосфере; чем мельче частицы, тем выше они поднимаются и тем дольше задерживаются в воздухе. Атмосферные аэрозоли и пыль возникают под влиянием ветра, вулканических извержений, космической пыли, а в последнее время – и из-за промышленных загрязнений. Крупные частицы (от 0,1 до 20 мкм) выпадают из атмосферы под действием силы тяжести или с осадками за срок от нескольких дней до нескольких месяцев, частицы диаметром от 0,01 до 0,1 мкм задерживаются в воздухе от нескольких месяцев до нескольких лет, а самые мелкие частицы, в результате броуновского движения молекул, могут вообще не осесть на землю.

Атмосфера – наименее заселенная оболочка Земли. Нет ни одного живого существа, которое бы всю свою жизнь проводило в воздухе. Даже такие прекрасные летуны, как стрижи, которые едят и спят на лету, гнезда делают на твердом субстрате, и насиживающая самка и не поднявшиеся на крыло птенцы не летают.

Плотность заселения аэробииосферы неравномерна. Большинство птиц и насекомых не поднимаются в воздух выше 1 км. Лишь крупные птицы при миграциях и стаи саранчи поднимаются до 4 км, а наиболее крупные пернатые хищники в горах – до 7 км. Но мелкие паучки, разлетающиеся осенью на паутинках, поднимаются восходящими потоками до 12 км, а до 70 км поднимаются споры бактерий и пыльца растений. Зона, в которой встречается наибольшее количество летающих организмов, примерно до границ тропосферы называется тропобиосферой, а зона пассивного заноса выше плотных слоев атмосферы, на границе с апобиосферой, именуется парабиосферой. В настоящее время значительно выше поднимаются на космических аппаратах люди и используемые ими в экспериментах подопытные животные и растения. Пространство внутри космических аппаратов мы называем артебиосферой («арте» – искусственный).

Гидросфера – водная оболочка Земли. Масса ее составляет $1,37 \times 10^{18}$ т, 1370 млн км³ по объему. Средняя глубина Мирового

океана 3800 м, наибольшая – 11 022 м. Площадь поверхности Мирового океана составляет 361,1 млн км², т. е. 70,78 % всей поверхности планеты.

Вода во всех ее фазовых состояниях является важной частью всех компонентов биосферы и одним из главных факторов существования живых организмов. Предполагается, что воды гидросферы возникли в результате процессов, развивавшихся в литосфере, которая за геологическую историю Земли выделила значительное количество водяного пара и ювенильных вод. Как показывают палеогеографические данные, уровень Мирового океана в эпохи наибольших оледенений падал по сравнению с современным более чем на 100 м, а в теплые периоды, когда на Земле ледников не было, был выше современного на 70 м. Такие повышения и понижения уровня Мирового океана соответствуют увеличению или уменьшению его площади на 5–7 %.

Распределение воды по разным типам водоемов и по разным оболочкам Земли неравномерно, но разные источники указывают несколько отличающиеся цифры (табл. 1). Как видно из этой таблицы, наибольшие расхождения у разных авторов касаются подземных вод, почвенных вод и ледников. По остальным разница в пределах статистически допустимой ошибки.

Таблица 1

Распределение воды на Земле, %

Тип водоема и оболочки Земли	Содержание воды в %			
	По Хатчинсону, 1957	По Дажо, 1975	По Львовичу, 1986	По Коробкину, Передельскому, 2001
Мировой океан	98,78	97,2	94,0	96,53
Подземные воды	0,0104	0,514	4,269	1,713
Ледники	1,19	2,16	1,7	1,74
Внутренние воды	0,0017	0,0201	0,0201	0,0149
Почва	0,017	0,005	0,01	0,001
Атмосфера	0,0009	0,001	0,001	0,001

Мировой океан содержит значительное количество растворенных солей, в среднем 35 г на литр (35 ‰). Ионный состав морской воды отличается постоянством как в пространстве, так и во времени. Соленость вод Мирового океана определяется немногими химическими элементами. Из 48 встречающихся в морской воде элементов на четыре элемента приходится 99,45 % всей массы гидросферы (кислород 85,7 %, водород 10,8 %, хлор 1,9 % и натрий 1,05 %). Далее следуют (в порядке убывания) магний, сера, кальций, калий, бром, углерод, стронций ($n \times 10^{-3}$ %), бор, фтор ($n \times 10^{-4}$ %), кремний, рубидий, литий, азот ($n \times 10^{-5}$ %), фосфор, йод, барий, железо, алюминий, молибден ($n \times 10^{-6}$ %), медь, олово, уран, ванадий, никель, марганец, титан ($n \times 10^{-7}$ %), кобальт, цезий, иттрий, серебро, висмут, селен, мышьяк ($n \times 10^{-8}$ %), германий, скандий, галлий, свинец, ртуть, торий ($n \times 10^{-9}$ %), золото, лантан, церий, европий ($n \times 10^{-10}$ %) и др.

Основные ионы, определяющие соленость и минерализацию морской воды, следующие: катионы – натрий (30,4 %), магний (3,7 %), кальций (1,2 %), калий (1,1 %); анионы – хлор (55,2 %), сульфат (7,7 %), бикарбонат (0,4 %).

Содержание растворенных ионов в пресной и морской воде сильно различается. Если в морской воде ряд катионов по степени убывания выглядит так: $\text{Na} \rightarrow \text{Mg} \rightarrow \text{Ca}$, то в пресной воде: $\text{Ca} \rightarrow \text{Mg} \rightarrow \text{Na}$. Также и ряды анионов, соответственно: $\text{Cl} \rightarrow \text{SO}_4 \rightarrow \text{HCO}_3$ и $\text{HCO}_3 \rightarrow \text{SO}_4 \rightarrow \text{Cl}$.

Особое место в составе гидросферы имеют растворенные в воде газы, связанные с атмосферой и с живыми организмами. В воде содержатся в растворенном виде азот (8,4–14,5 см³/л), кислород (0–10 см³/л), углекислый газ (34–56 см³/л), сероводород (0–22 см³/л) и ряд других газов. Наибольшее значение для обитающих в воде организмов имеют кислород и углекислый газ. Кислород лучше растворяется в холодной и чистой воде (в дистиллированной воде при 0 °С растворяется 11 см³ кислорода на 1 л воды). С повышением солености и повышением температуры количество кислорода в воде снижается. Сильно варьирует и содержание углекислого газа. Он усваивается растениями в ходе фотосинтеза, а часть его растворяется в воде с образованием ионов угольной кислоты, которые соеди-

няются с ионами кальция, образуя карбонат и бикарбонат кальция. Первый плохо растворим в воде и сразу выпадает в осадок. Второй хорошо растворим, и расходуется морскими обитателями на построение опорных структур – панцирей, раковин и пр. Эта часть углекислого газа после гибели организма частично возвращается в воду, а частично выпадает в осадок. В обоих случаях образуются известняки и продукты их метаморфоза.

Вода Мирового океана находится в постоянном движении, источник которого – различие в нагреве поверхности Мирового океана на разных широтах и динамическое взаимодействие ветров с водной поверхностью.

В арктическом и антарктическом поясах значительная часть водной поверхности закрыта ледяными полями, именуемыми криосферой и также играющими существенную роль в формировании климата Земли.

Большая часть поверхностных вод суши сосредоточена в озерах, из которых примерно половина пресные, половина в разной степени минерализована или засолена. Наибольшее по объему и самое глубокое пресное озеро Земли – Байкал, Россия (1620 м), по площади поверхности – Верхнее, США – Канада (82,1 тыс. км²), из соленых озер наибольшее и по объему, и по площади Каспийское (376 тыс. км²). Важнейший гидрологический процесс суши – формирование речного стока, который компенсирует перенос водяного пара с океана на сушу. Одно из важнейших свойств влагооборота – увлажнение почвы. Без почвенной влаги не могли бы существовать растения, увлажненность почвы определяет характер растительного покрова, а в соответствии с типом растительности формируются животный мир, особенности микроклиматов и тип почвенного покрова.

Воды суши оказывают громадное влияние на верхние слои литосферы, являясь одним из главных факторов физического и химического выветривания. Очень велико воздействие на земную поверхность континентальных оледенений, после отступления которых возникают характерные формы рельефа.

В отличие от атмосферы, гидросфера заселена по всей своей толще, от поверхности до самых больших глубин. Но плотность населения водной толщи неравномерна. Существуют две так называемые

пленки жизни – поверхностная и придонная. Первая – это масса планктона и связанные с ними пищевыми связями нектонные организмы. Первым трофическим уровнем в этой пленке являются фотосинтезирующие одноклеточные водоросли, поэтому толщина этой пленки соответствует глубине проникновения в воду света, нормального по спектру (в среднем 100 м, максимально до 200 м).

Планктонная пленка – основа синтеза биогенных веществ в Мировом океане. В 1 л океанской воды в поверхностном слое содержится до 10 тыс. особей планктонных организмов, в основном одноклеточных водорослей, на глубине 50 м – до 9 тыс., на глубине 100 м – до 2,7 тыс. В 10 тыс. м³ морской воды содержится от 0,5 кг (тропики) до 12 кг (приполярные воды) планктона в сухом весе. В исключительных условиях (например, в Азовском море во время летних заморозов) до 2,7 т. Под планктонной пленкой находится зона разрежения жизни, идущая до дна. Встречаются на поверхности океана и своеобразные водные пустыни. Так, вблизи Гавайских островов на 10 тыс. м³ воды приходится всего 0,3 кг планктона.

Донная пленка жизни наиболее развита там, где свет проникает до морского дна, но она существует и на самых больших глубинах. В прибрежной же зоне, на глубине до 100 м, поверхностная и донная пленки сливаются, и образуется прибрежное сгущение жизни. Другое сгущение жизни образуется в зонах апвеллинга – мощных вертикальных течений, выносящих на поверхность холодную (следовательно, богатую кислородом) воду и биогенные элементы (азот, фосфор, калий и др.), образовавшиеся на дне, в придонном иле. Эти сгущения очень продуктивны. Так, апвеллинг у берегов Перу и Чили, занимая 0,02 % площади Мирового океана, дает 12–20 % мирового улова рыбы.

Третий тип сгущения жизни в океане – аутвеллинги, устья крупных рек (Амазонки, Янцзы, Хуанхэ, Конго, Миссисипи, Лены, Волги, Дуная, Ганга и др.), выносящие с огромной площади своих бассейнов массу мертвой органики и биогенных элементов в относительно небольшую по площади дельту (эстуарий). Еще один тип сгущения – скопления плавучих многоклеточных водорослей (саргассы и близкие к ним) с населяющими их мелкими рыбами и многочисленными беспозвоночными животными.

И, наконец, мощным сгущением жизни являются коралловые рифы, образующие в теплых водах большие площади мелководий, где обитает огромное количество живых существ, привлекаемых субстратом рифа и питающихся как самими кораллами, так и обитающими на рифе растениями и животными. Биоценозы коралловых рифов имеют продуктивность до 20 т/га, прирост на 10–25 см в год. Общая площадь всех рифов Мирового океана 600 тыс. км². Объем Большого Барьерного рифа у берегов Австралии превышает объем всех построек человека за всю мировую историю, включая египетские пирамиды, Великую китайскую стену и небоскребы современных мегаполисов. На рифах образуются сложные пищевые сети и огромное число узких экологических ниш; по разнообразию видов и по продуктивности коралловые рифы сравнимы с тропическими лесами (рис. 6).

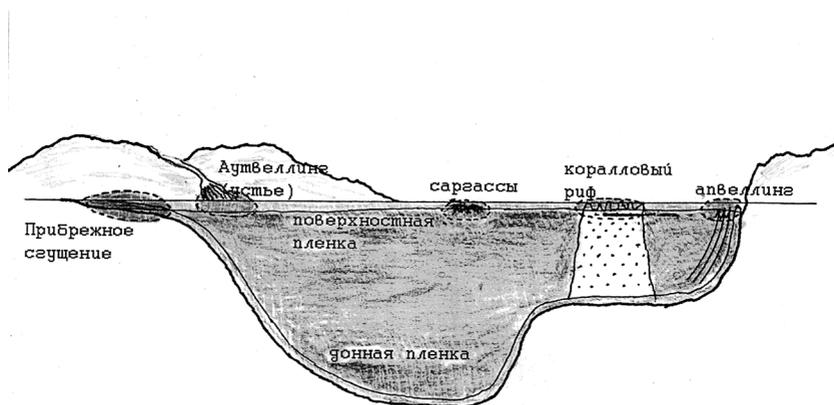


Рис. 6. Пленки и сгущения жизни в Мировом океане

В целом весь комплекс живых существ, обитающих в водной среде (гидробиосфера), подразделяют на аквабиосферу – обитателей пресных вод, и Маринобиосферу – обитателей морей и океанов.

Если в атмосфере и гидросфере живые организмы распространены в слоях значительной толщины, то в литосфере основная жизнь сосредоточена на поверхности раздела литосферы и атмосферы и в пределах почвы и подпочвенных горизонтов на глубину в несколько сантиметров, реже метров.

Собственно земная кора состоит из трех слоев: осадочных пород, гранитного и базальтового. Под дном океанов кора имеет толщину 7–15 км, и состоит в основном из базальта, средняя плотность которого 2,81–3,2 г/см³. Сверху накапливается слой морских осадков. Под континентами кора гораздо толще, до 40–50 км и состоит из наружного гранитного слоя толщиной 20–25 км и средней плотностью 2,8 г/см³ и нижнего базальтового толщиной 15–20 км. Сверху эти слои перекрыты слоями осадочных пород, толщина которых крайне неравномерна. Ниже земной коры располагается мантия Земли, разделом между мантией и корой служит поверхность Мохоровичича, отличающаяся резким скачком в распространении сейсмических волн.

Химический состав земной коры: 55,2 % двуокиси кремния (SiO₂), 14,55 % трехокси алюминия (Al₂O₃), 8,12 % окиси кальция (CaO), 5,86 % окиси железа (FeO), 5,39 % окиси магния (MgO), 2,44 % окиси натрия (Na₂O), 2,42 % трехокси железа (Fe₂O₃), 1,62 % окиси калия (K₂O), 1,46 % воды, 1,44 % углекислого газа и 1,49 % прочих соединений.

Верхний слой литосферы составляет почва – субстанция, находящаяся на грани живого и неживого мира. Ее неживая составляющая образована смесью минеральных веществ, возникших в процессе выветривания горных пород, а органическая – из продуктов жизнедеятельности живых организмов и из самих этих организмов. Важную роль в разложении и последующей минерализации мертвой органики играют бактерии, грибы и некоторые животные.

В результате их деятельности в почве накапливаются запасы углерода, азота, фосфора и других элементов в форме, доступной для использования растениями. Вследствие этого почвы определяют продуктивность растительного покрова, и каждому типу почв соответствует своя растительная формация.

Почвы состоят из трех горизонтов. Верхний горизонт («А») содержит продукты разложения органики и синтеза органико-минеральных веществ. Следующий горизонт («В») включает преимущественно минеральные компоненты, которые переносятся в горизонт В из горизонта А нисходящим потоком воды. Третий

горизонт («С») состоит из малоизмененного материала разрушения материнской (исходной) горной породы. Этот материал иногда образуется на месте, иногда откладывается водными потоками, ледником или ветром.

Различные типы почв формируются под влиянием климата, характера материнской породы, растительного покрова и почвенной биоты. К числу главных типов зональных почв относятся тундровые почвы, подзолы, бурые и серые лесные почвы, черноземы, каштановые почвы, сероземы, латериты и бурые саванные почвы. Всем зональным почвам соответствуют определенные типы растительности, причем тип почвы оказывает глубокое влияние также на строение растений и их физиологию. Заметное влияние на растительность оказывают локальные особенности интразональных почв, определяемые свойствами материнской породы и особенностями увлажнения. Это болотные почвы, в том числе торфяные и торфяно-глеевые, луговые, пойменные, а также почвы с разной степенью засоления – солончаки, солонцы, солоди.

На поверхности литосферы, в террабиосфере, также есть свои сгущения жизни – леса и поймы крупных рек (особенно тропические леса и поймы тропических рек). В то же время пустыни, высокогорья, ледники – зоны разреженной жизни. Мощность террабиосферы от нескольких см в тундре и некоторых травянистых сообществах до 50–80 и более м в тропических лесах. Фитомасса лесов умеренного пояса колеблется от 8 до 50 тыс. т/км², тропических лесов от 35 до 170 тыс. т/км², речных пойм до 30 тыс. т/км². В то же время в тундрах и пустынях лишь 0,17–2,8 тыс. т/км². Следовательно, фитомасса наиболее богатых растительностью зон превышает фитомассу наиболее бедных в тысячу раз. В пределах террабиосферы выделяют еще альтобиосферу – население высокогорий, и криобиосферу – население вечных снегов и ледников.

Население почвы и подпочвенного горизонта (педобиосфера, эдафобиосфера) имеет толщину от нескольких см в тундре до 1–1,5 м на черноземах и лугово-черноземных почвах. Норы некоторых грызунов углубляются до 2–4 м, гнезда пустынных муравьев и термитов – до 12 м, а корни некоторых пустынных растений проникают в почву на глубину до 15–20 м.

Еще глубже проникают бактерии. Если эдафобиосфера заселена преимущественно аэробными бактериями, то далее, до глубины нескольких десятков метров, обитают как аэробные, так и анаэробные бактерии. Этот горизонт называется гипотеррабиосферой. Еще глубже встречаются только анаэробные бактерии, но они проникают до глубины 3–5 км (в основном в нефтеносных пластах). Этот горизонт называется теллурабиосфера. Наконец, выделяется еще метабиосфера («мета» – после). Это зона, где живых существ нет, но накапливаются продукты их жизнедеятельности, соответствующим образом переработанные и минерализованные: каменный и бурый угли, нефть, битум, известняк и его производные, доломиты и пр. Метабиосфера – это следы былых биосфер, зафиксированные в древних отложениях.

В различных участках литосферы особенности накопления и переработки живого вещества связаны с деятельностью редуцентов, в первую очередь различных бактерий. Именно бактерии формируют состав почвенного воздуха и осуществляют процессы уравнивания его с атмосферой. Бактерии нижних горизонтов формируют газовые запасы метабиосферы. В целом эволюция бактерий шла по пути развития способностей менять внешнюю среду, в то время как более сложно организованные существа приспосабливались к уже существующей среде, обособливая свою внутреннюю среду от внешней. (Есть теория, что «бабье лето» в умеренных широтах вызывается пиком деятельности сапрофитных бактерий и выделяемым ими теплом.)

Метабиосфера содержит огромные запасы биогенного вещества, произведенного в прошедшие геологические эпохи. Формирование этого ископаемого, палеобиогенного вещества регулируется тремя факторами:

1. Продуктивностью живых организмов, живших на Земле в эпоху начала его формирования (биофактор).
2. Условиями, существовавшими на Земле в ту эпоху, благоприятностью их для концентрации этих организмов и концентрации продуктов их жизнедеятельности – биогенов (экофактор).
3. Обстановкой, обеспечивающей переход биогенного вещества в ископаемое состояние и его сохранность (тафофактор).

Понятно, что сочетания благоприятных параметров в разные эпохи и на разных участках земного шара были далеко не равномерны, чем и определяется неравномерность залегающих горючих полезных ископаемых и других горных пород биогенного происхождения.

Немаловажную роль в этом сыграли особенности приноса и выноса различных веществ из тех или иных типов экосистем. По этому принципу экосистемы делятся на три типа: транзитные, автономные и аккумулятивные.

Транзитные экосистемы отличаются сильным приносом вещества извне и сильным выносом его из экосистемы. Понятно, что в них условия для накопления биогенов неблагоприятны, и в тех местах, где в прошлые эпохи существовали такие экосистемы, трудно ждать больших накоплений биогенных горных пород и полезных ископаемых.

Автономные экосистемы отличаются слабым притоком и слабым выносом веществ. Поэтому накопления биогенов в них возможны лишь при высокой продуктивности этих экосистем, что бывает далеко не всегда.

Аккумулятивные экосистемы отличаются сильным приносом вещества и слабым его выносом. Понятно, что именно аккумулятивные экосистемы при прочих равных условиях обладают наибольшей способностью к накоплению биогенов и к переводу их впоследствии в ископаемое состояние.

Уже говорилось о неравномерности распределения в разных частях биосферы живых организмов. Наиболее резко различается биомасса сухопутных и океанических экосистем (табл. 2).

Таблица 2

Общая биомасса биосферы земного шара и ее распределение

<i>Части биосферы</i>	<i>Организмы</i>	<i>Биомасса, млрд т</i>	<i>%</i>
Континенты	Зеленые растения	2400	99,2
	Животные и микроорганизмы	20	0,8
Океаны	Зеленые растения	0,2	6,3
	Животные и микроорганизмы	3,0	93,7
Вся биосфера	Вся суша	2420	99,87
	Все океаны	3,2	0,13
	Всего	2432,2	100

ГЛАВА 7

Основные функции живого вещества и биогенный круговорот

По определению В. И. Вернадского, миграция химических элементов в биосфере в целом осуществляется или непосредственно живым веществом, или она протекает в среде, геохимические особенности которой обусловлены преимущественно живым веществом как тем, которое в настоящее время населяет биосферу, так и тем, что действовало на Земле в течение всей ее геологической истории.

Основные функции живого вещества в биосфере можно сформулировать следующим образом.

Энергетическая. Поглощение солнечной энергии при фотосинтезе и химической при разложении энергонасыщенных веществ, передача энергии по пищевым цепям разнородного живого вещества.

Концентрационная. Избирательное накопление в ходе жизнедеятельности определенных веществ, используемых для построения тела живого организма или удаления из него продуктов метаболизма. По степени концентрации мы видим концентрацию, связанную с особенностью жизнедеятельности организма и не зависящую от среды, и концентрацию в определенной среде и при определенных ее свойствах.

Массовое повышение концентрации содержания определенного элемента происходит в определенной среде: например, повышение концентрации серы в живых организмах, живущих вблизи действующего вулкана или повышение концентрации свинца в живых организмах, живущих вблизи шоссе^{*}.

^{*} В последние годы, в связи с запрещением в ряде стран производства бензина со свинцовыми добавками, концентрация свинца вблизи дорог падает.

Специфическая концентрация вне зависимости от условий среды определяется особенностями физиологии данного организма. Так, диатомовые водоросли, кремневые и стеклянные губки, радиолярии содержат повышенное количество кремния, некоторые бактерии, водоросли, простейшие, плеченогие, моллюски, иглокожие, мшанки, кораллы – кальция, бурые водоросли, двустворчатые моллюски, иглокожие и ряд других морских животных – йода, асцидии – ванадия, определенные группы бактерий – железа, серы, титана, марганца, хрома и др. (рис. 7).

Часто организмы определенного вида концентрируют не один какой-нибудь элемент, а группу из 2–7 элементов. Так, определенные виды бактерий концентрируют железо и марганец, мидии – йод и калий и т. д.

Живое вещество избирательно извлекает из атмосферы, гидросферы и почвы необходимые ей элементы, формируя свой химический состав, отличный от состава неживых оболочек (табл. 3). Если мы сравним ряды из шести наиболее распространенных элементов (в порядке убывания), то в живом веществе это будут кислород, углерод, водород, кальций, калий, азот; в атмосфере – азот, кислород, аргон, углерод, гелий, ксенон; в гидросфере – кислород, водород, хлор, натрий, магний, сера; в земной коре – кислород, кремний, алюминий, железо, кальций, магний; в почве – кислород, кремний, алюминий, железо, фосфор, калий.

Содержание кальция, магния, натрия, стронция, цинка, бора и селена в наземных растениях превышает концентрации этих элементов в почве в единицы и десятки раз, а содержание фосфора, серы, хлора, йода и брома в растениях больше, чем в почве, в десятки и сотни раз. Содержание титана, железа, никеля, кобальта в тканях некоторых морских животных превышает содержание этих элементов в морской воде в десятки и сотни тысяч раз, а содержание хрома у некоторых бактерий выше его содержания в морской воде в миллион раз.

Часто различные элементы сконцентрированы в разных тканях и органах живого организма. У моллюска пателляции раковина сложена из арагонита и кальцита, содержащих углерод и кальций, а зубцы радулы (терки) инкрустированы кристаллами гетита (гидрата окиси железа) – железные зубы не от стоматолога, а от природы!

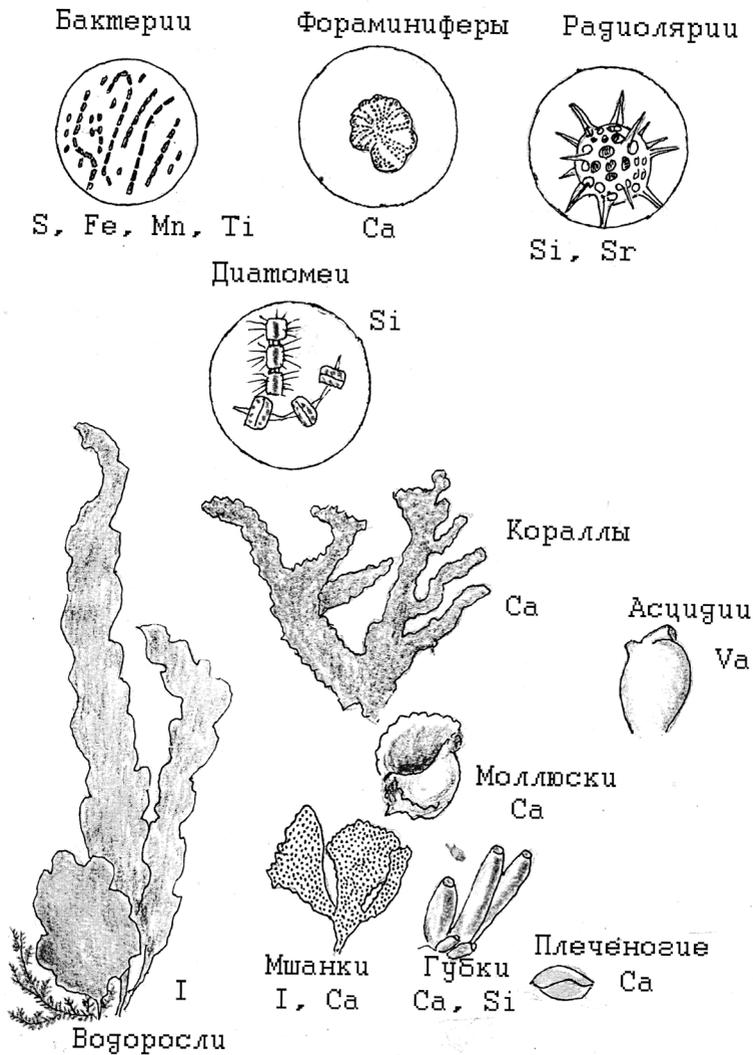


Рис. 7. Морские организмы, концентрирующие различные элементы

Деструктивная. Минерализация вновь синтезированного органического вещества, разложение неживого органического вещества, вовлечение вновь образовавшегося неорганического вещества в биогенный круговорот.

Таблица 3

**Химический состав живого вещества, %
(по: Войткевич, Вронский, 1996)**

<i>Макроэлементы</i>	<i>99,21</i>	<i>Микроэлементы</i>	<i>0,79</i>
Кислород	70,0	Алюминий, барий, стронций, марганец, бор	По 10^{-3}
Углерод	18,0		
Водород	10,0		
Кальций	0,5	Титан, фтор, цинк, рубидий, медь, ванадий, церий, бром, германий	По 10^{-4}
Калий	0,3		
Азот	0,3		
Кремний	0,2	Никель, свинец, олово, мышьяк, йод, кобальт, литий, кадмий, молибден	По 10^{-5}
Фосфор	0,07		
Сера	0,05		
Магний	0,04	Иттрий, цезий, уран, селен	По 10^{-6}
Натрий	0,02		
Хлор	0,02	Ртуть, бериллий, галлий	По 10^{-7}
Железо	0,01		

Средообразующая. Преобразование физико-химических параметров во внешней среде главным образом за счет образования вновь синтезированного органического вещества. Наиболее впечатляющим проявлением средообразующей деятельности живого вещества является, несомненно, насыщение кислородом атмосферы Земли в результате деятельности зеленых растений.

Транспортная. Перенос вещества против силы тяжести, в горизонтальном направлении, против ветра и против течения, что при отсутствии живого вещества невозможно.

Газовая. Образование основных газов атмосферы Земли, имеющих значение для жизни, кислород и углекислый газ, а также почвенных и подземных газов, продуктов деятельности живого вещества.

Окислительно-восстановительная. Организмы, обитающие в водной среде, регулируют кислородный режим и создают условия для растворения или осаждения ряда металлов и металлоидов с переменной валентностью.

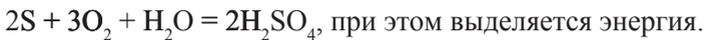
Биохимическая. Размножение, рост и перемещение в пространстве живого вещества.

Живое вещество не инертно, а постоянно обращается в непрерывном круговороте, который именуется биогенным. Это слово можно перевести, как «порожденный жизнью» и как «порождающий жизнь». То и другое верно.

Этот круговорот непрерывный, вечно повторяющийся и необратимый по результатам. Обновление всего живого вещества в биосфере вследствие этого круговорота происходит в среднем за 8 лет. Для сравнения: полная смена воды в гидросфере происходит за 2 800 лет, кислорода в атмосфере за 2 000 лет.

По современным представлениям об эволюции биосферы, в начальный период ее существования в основе биогенного круговорота были хемосинтезирующие бактерии, получающие энергию от некоторых химических реакций, преимущественно реакций окисления аммиака и других соединений азота, соединений серы, железа, и некоторых других элементов.

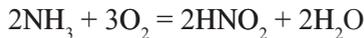
Например, серобактерия Тиобациллюс вызывает окисление серы до серного ангидрида и соединение его с водой, в результате получается серная кислота:



Железобактерия Лептотрикс окисляет углекислое железо, в результате получается гидрат железа и углекислый газ, при этой реакции также выделяется энергия:



Нитрифицирующая бактерия Нитрозомонас окисляет аммиак, превращая его в азотистую кислоту и воду, также с выделением энергии:



Нитрифицирующая бактерия Нитробактер окисляет полученную азотистую кислоту до азотной, также с выделением энергии:



Образующиеся при реакциях окисления кислоты и щелочи затем в ходе реакций с минеральными веществами почвы превра-

щаются в усваиваемые растениями соли. Железобактерии превращают закисное железо в окисное, а затем в металлическое железо. Но сейчас хемосинтезирующие бактерии вносят очень небольшой вклад в биогенный круговорот, уступив первенство гелиотрофам – зеленым растениям.

Появление гелиотрофов (сначала синезеленых прокариотных водорослей, потом эукариотных водорослей, мхов и высших растений) позволяло непосредственно использовать неисчерпаемый источник энергии – солнечный свет, и это стало гигантским шагом вперед в эволюции живых существ, масштабы биогенного круговорота резко возросли, и он принял современный характер. Вся эволюция живых существ – это, в итоге, развитие и усложнение биогенного круговорота. Он хорошо выражает единство органического и неорганического мира, физико-химическую суть основы жизни.

Циклы различных химических элементов постоянны в том смысле, что химические элементы включаются в круговорот снова и снова, используясь многократно. Подсчитано, что в пшенице полная смена атомов кальция происходит за 1,5 суток, фосфора за 15 суток. В течение жизни человека через его тело проходит 17 тонн углеводов, 2,5 тонн белков и 1,3 тонны жиров. Энергия же, в отличие от вещества, многократно циркулировать не может. Согласно второму началу термодинамики, любая энергия в конце концов рассеивается в виде тепла и снова не используется, почему и нужен ее постоянный приток от Солнца (не забывайте второй закон термодинамики!). Можно представить себе биогенный круговорот в виде колеса водяной турбины, которое постоянно вращается на одном месте. А струя воды, постоянно протекающая через ее лопасти, это аналог солнечной энергии.

Для существования жизни необходимы 44 химических элемента (в живых организмах находится и большее количество элементов, но ряд из них является просто временными включениями и не участвуют в жизненных процессах или даже нарушают их). Необходимые для жизни элементы делят на макроэлементы (содержание в живом веществе от нескольких десятков до 0,01 %) и микроэлементы (содержание меньше 0,01 %) (табл. 3).

Углерод, в силу своей способности образовывать длинные цепи атомов, а затем сложные ветвистые, циклические и гетероциклические структуры, образует основу многочисленных молекул органических веществ. Азот – непременная составляющая всех аминокислот, входящих в состав белка. Водород и кислород входят в состав практически всех органических соединений, а также образуют воду – важнейший компонент всех живых организмов.

Сера входит в состав двух аминокислот – метионина (незаменимая аминокислота) и цистеина. Фосфор входит в состав важнейших органических веществ – нуклеиновых кислот РНК и ДНК, ответственных за передачу наследственной информации и синтез белка, и кислот аденозиндифосфорной и аденозинтрифосфорной (АДФ и АТФ), ответственных за процессы преобразования, накопления и расходования энергии в организме.

Хлор регулирует кислотно-щелочное равновесие в плазме крови и в лимфе, обеспечивает кислую реакцию в пищеварительном тракте, при которой могут работать ферменты, расщепляющие белки. Кремний входит в состав опорных структур некоторых организмов (спикулы губок, скелеты некоторых простейших, раковины диатомовых водорослей, каменистые клетки растений и др.).

Натрий обуславливает постоянство осмотического давления и ионное равновесие во внеклеточных жидкостях (кровь, лимфа, гемолимфа, растительные соки и др.), калий – то же самое во внутриклеточных жидкостях (в ядре и цитоплазме клеток). Кальций регулирует количество и соотношение калия, натрия и фосфора в организме, кроме того, он входит в состав опорных элементов – костей, раковин; пропитывает хитиновые панцири ракообразных и насекомых, образует массовые колонии кораллов и др. Магний входит в состав хлорофилла, а железо – в состав гемоглобина.

Роль микроэлементов заключается в том, что один или несколько их атомов входят в состав важнейших для деятельности организма биологически активных веществ – витаминов, гормонов и ферментов. Так, 4 атома йода входят в состав гормона щитовидной железы тироксина, один атом кобальта – в состав молекулы вита-

мина V_{12} (цианкобаламина). Медь заменяет железо в дыхательном пигменте моллюсков, гемоцианине (поэтому кровь у них голубого цвета), она также входит в состав фермента полифенилоксидазы. Цинк входит в состав фермента карбоангидразы, а вместе с кобальтом – в состав фермента инсулина. Марганец входит в состав фермента аргиназы и т. д., всего имеется около 200 ферментов, в состав которых входят различные металлы.

Через различные гормоны и ферменты марганец, цинк и йод влияют на процессы роста у животных, бор, марганец, медь и молибден – у растений. Медь и кобальт влияют на процессы тканевого дыхания, медь и цинк – на процессы внутриклеточного обмена. Биологический эффект того или иного микроэлемента часто зависит от присутствия или отсутствия в организме других микроэлементов. Так, медь эффективно действует на кроветворение в присутствии кобальта, марганец повышает усвоение меди, но медь снижает активность молибдена (табл. 3).

Недостаток или избыток микроэлементов является лимитирующим фактором.

Рассмотрим подробнее круговорот некоторых наиболее важных биогенных элементов.

Основа жизни на Земле – углерод. Единственный источник углерода для автотрофных организмов – углекислый газ, находящийся в атмосфере или растворенный в воде.

В процессе фотосинтеза углерод входит в состав синтезируемых растениями углеводов, жиров и белков, которые потом поедаются животными и разлагаются микроорганизмами. При дыхании, горении, гниении и брожении углерод, содержащийся в органическом веществе, вновь переходит в атмосферу или в воду в виде углекислого газа. Запасы углерода в атмосфере оцениваются в 700 млрд т, в воде – в 50 трлн т. Смена углекислого газа в атмосфере происходит за 6,3 года, но весь углерод, содержащийся в атмосфере и в составе живого вещества суши, проходит полный круговорот за 300–400 лет, а в гидросфере и в ее живом веществе – за 1000 лет.

Годовой оборот углерода (в пересчете на чистый углерод), по разным расчетам, составляет 70–90 млрд т – столько ежегодно

связывается при фотосинтезе (35–40 млрд т в атмосфере и 40–50 млрд т в гидросфере). Столько же углерода выделяется обратно при дыхании (10–11 млрд т на суше и 11–14 млрд т в воде), гниении и брожении (25–29 млрд т на суше и 29–36 млрд т в воде).

Человек ежегодно добавляет 5–7 млрд т углерода, сжигая ископаемое топливо, и еще 2 млрд т – за счет увеличения интенсивности дыхания почвенных микроорганизмов при распашке почвы, итого 7–9 млрд т, 9–12 % всего поступления углерода в атмосферу. Для сравнения – деятельность вулканов, гейзеров и другие геологические процессы дают лишь 0,1 млрд т ежегодно (менее 1 %).

Часть углерода временно выводится из круговорота при превращении отмирающих организмов в гумус почвы, в морские осадки и в итоге превращается в углеродсодержащие горные породы (известняк и его производные, доломиты и др.) и горючие полезные ископаемые (каустобиолиты) – уголь, нефть, битумы, асфальт, торф, горючие сланцы и др. Постепенное изъятие углерода из круговорота и переход его в горные породы неизбежно должен вызвать «углеродную смерть» биосферы, но известную часть этого «замороженного» углерода человек возвращает в круговорот, сжигая ископаемое топливо (рис. 8).

Кислород составляет 30 % общей массы верхних слоев земного шара: 47 % массы литосферы, 23,15 % массы атмосферы, 85,7 % массы гидросферы и 70 % массы живого вещества. Но подавляющее количество кислорода связано: в воде – с водородом, образуя воду; в литосфере – в окислах различных элементов, образуя минералы; в живом веществе – в составе различных органических веществ. И лишь в атмосфере основная часть кислорода находится в свободном состоянии; гораздо меньше растворено свободного кислорода в гидросфере. В этих двух оболочках происходит быстрый обмен кислорода среды с живыми организмами или их остатками после гибели. Господствующей формой свободного кислорода в атмосфере и в гидросфере является двухатомный кислород (O_2). Трехатомный кислород, или озон (O_3), присутствует в ничтожных количествах вблизи поверхности Земли, несколько больше его в стратосфере.

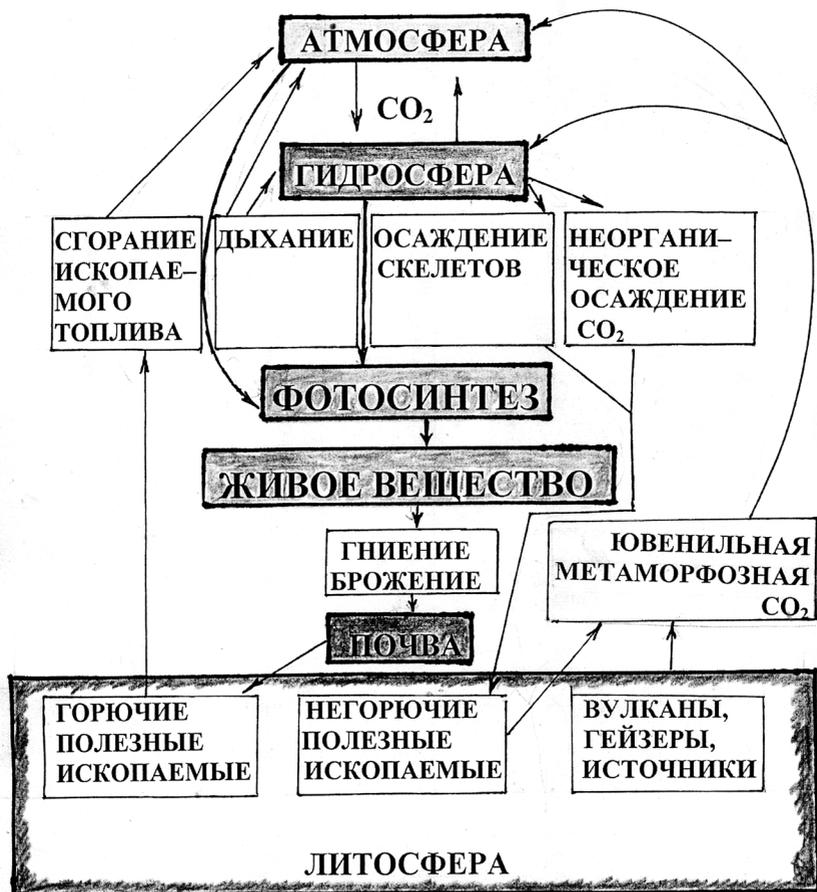


Рис. 8. Круговорот углерода в биосфере

Свободный кислород в атмосфере и в гидросфере является побочным продуктом фотосинтеза, и его общее количество отражает баланс между его продукцией и процессами окисления и гниения различных веществ. Всего в год при фотосинтезе, по разным расчетам, выделяется 120–190 млрд т кислорода. На его антрополический расход ежегодно тратится 10–20 млрд т, т. е. 10–16 % его годовой продукции.

Круговорот кислорода весьма сложен, поскольку он включается в процессы окисления и гниения различных веществ и связывается в стойких соединениях надолго.

Азот составляет 78 % атмосферы по объему, но усваивать его могут только некоторые бактерии и синезеленые водоросли (например, бактерии Ризобактер, образующие мутуалистический симбиоз с бобовыми растениями, актиномицеты Франкия, образующие симбиоз с ольхой и некоторыми другими растениями, почвенные бактерии Нитрозомонас и т. д.). В сумме они накапливают на 1 га в течение года 150–400 кг азота.

Некоторое количество азота попадает в почву в виде нитратов и нитритов, образовавшихся при выветривании горных пород, часть атмосферного азота попадает в почву при грозах, когда из-за электрических разрядов образуются окислы азота, растворяющиеся затем в атмосферной влаге и выпадающие на почву с осадками. Нечто подобное происходит и при фотохимических реакциях. При этом в почву попадает 4–10 кг азота на 1 га в год.

Но большинство азота поступает в почву при распаде мертвой органики: трупов животных и растительных остатков, с мочой, экскрементами и пр. При разложении мертвой органики бактериями в почву поступает около 250 кг азота на 1 га в год. Растения усваивают азот из почвы в виде минеральных веществ – нитратов и солей аммония. Животные получают азот с пищей.

Следовательно, основные процессы круговорота азота происходят в почве и очень существенную роль в этом круговороте играют различные бактерии.

Все азотсодержащие «полуфабрикаты», попавшие в почву, перерабатываются аммонифицирующими бактериями в аммиак. Кроме того, аммиак поступает в почву и непосредственно, из экскретов, а также при выветривании некоторых горных пород. Далее аммиак частично переходит в соли аммония, соединяясь с различными анионами, содержащимися в почве. Другая часть аммиака перерабатывается нитрифицирующими бактериями в нитриты и далее в нитраты. Также нитраты образуются из атмосферного азота при деятельности азотфиксирующих бактерий и вымываются из залежей экскрементов морских птиц («гуано»). Именно нитраты и соли

аммония являются главными источниками азота для растений. Та часть нитратов, которая не была использована растениями, подвергается деятельности денитрифицирующих бактерий, превращаясь снова в нитриты и затем в молекулярный азот, возвращающийся в атмосферу через почвенный воздух. Часть неиспользованных нитратов и солей аммония может быть вынесена осадками или грунтовыми водами в реки и далее в моря, оседая в донных илах и включаясь в круговорот азота в морских экосистемах (рис. 9).

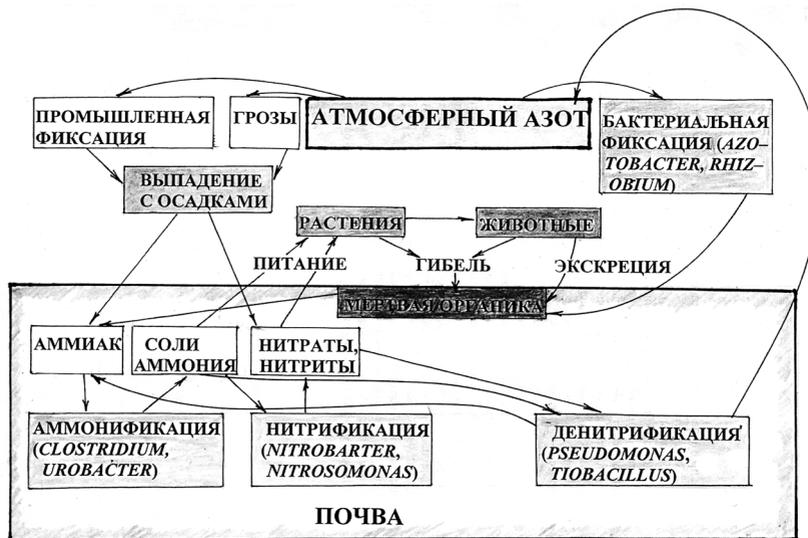


Рис. 9. Круговорот азота в биосфере

В последнее время большое количество атмосферного азота связывается при производстве минеральных удобрений, а при сгорании ископаемого топлива в атмосферу выбрасывается большое количество оксидов азота, которые затем с атмосферными осадками возвращаются в почву. Все это увеличивает количество азота в почвах агроценозов и природных экосистем и ускоряет его круговорот, делает его более напряженным.

Кальций – важнейший катион земной коры, весьма интенсивно мигрирующий в биосфере в связи с круговоротом воды и деятельностью живых организмов. В ионном стоке с материков кальций

занимает первое место: 13,9 мг/л, 55,8 % всех катионов, содержащихся в мировом стоке. В Мировом океане количество кальция связано с карбонатной системой равновесия, температурой и деятельностью живых организмов. Вода высоких широт и морских глубин содержит мало кальция из-за низких температур и нейтральной реакции среды. В этой обстановке углекислый газ, растворяясь в воде, образует угольную кислоту (H_2CO_3), растворяющую углекислый кальций (CaCO_3) донных отложений и переводящую его в хорошо растворимую форму – бикарбонат кальция – $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$.

В экваториальной зоне, между 30° с. ш. и 30° ю. ш. образуется область перенасыщения карбоната кальция, что в сочетании с высокими температурами приводит к массовому росту организмов, имеющих опорные известковые структуры: красных водорослей, корненожек, кораллов, многих моллюсков, мшанок, известковых губок, ряда иглокожих и имеющих пропитанные известью хитиновые панцири членистоногих.

Миграция кальция в гидросфере с участием живых организмов является важным звеном его геохимического круговорота. Живые организмы моря накапливают кальций в виде арагонита и кальцита. Арагонит неустойчив и быстро переходит в кальцит. После гибели морских организмов, имеющих кальциевые опорные структуры, их останки накапливаются в донных отложениях в виде известняков и их производных. Впоследствии, при поднятиях морского дна, эти породы оказываются в составе осадочной оболочки литосферы.

При процессах выветривания, водной эрозии, кальций в виде ионов оказывается в реках, переносящих его в моря и океаны, а углекислый газ растворяется в воде и частично переходит в атмосферу. Следовательно, кроме биогенного круговорота кальция, существует и абиогенный его круговорот.

Соотношение количества кальция в биогенном и абиогенном круговоротах оказывало в прошлые геологические эпохи большое влияние на эволюцию многих живых организмов.

В раннем Палеозое (Кембрий) снижение парциального давления углекислого газа в атмосфере уменьшило растворимость соединений кальция в морской воде, что привело к насыщению ее этим элементом и создало возможность построения известковых

опорных структур у беспозвоночных животных, которые ранее (в Вендское время) их не имели. Это привело к массовому формообразованию на уровне высших таксонов, и в это время, короткое с геологической точки зрения (около 70 млн лет), возникли почти все типы современных животных (кроме хордовых) и еще ряд типов, вымерших в прошедшие эпохи (рис. 10).

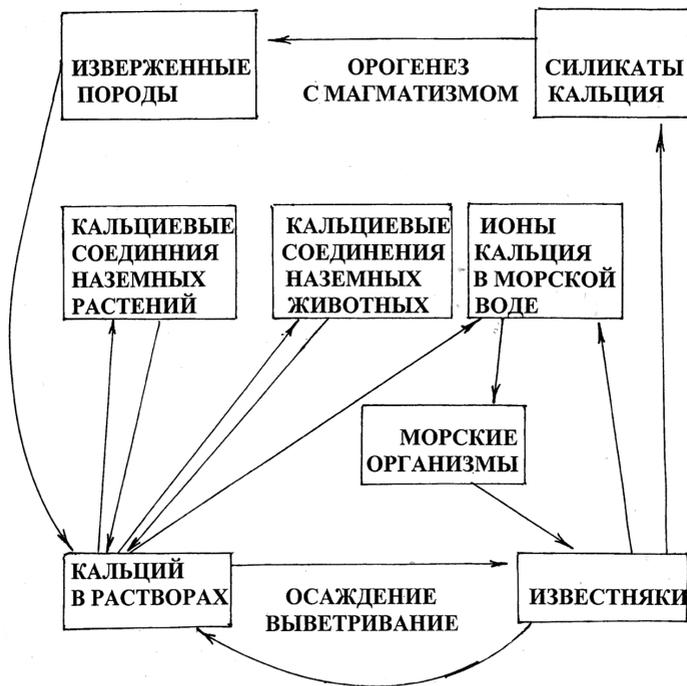


Рис. 10. Круговорот кальция в биосфере

Круговорот фосфора происходит следующим образом. Фосфорсодержащие горные породы, отложения гуано, ископаемые кости, фосфорсодержащая мертвая органика в почвах размываются осадками и подземными водами и переходят в растворимые соли фосфора в почве и в воде. Почвенные соли фосфора, усваиваясь растениями, идут на синтез органического вещества, а впоследствии поедаются животными. Экскременты и трупы животных, разлагаясь в почве, пополняют в ней запасы растворимых фосфатов.

Фосфор из фосфатов, смываемых в реки, частично усваивается пресноводными растениями и переходит в местную циркуляцию пресноводных экосистем, но большая часть его уносится в море и переходит в состав морских сообществ. Круговорот фосфора в морских экосистемах в значительной степени отделен от циркуляции в сухопутных экосистемах, но часть его выносится на сушу с экскрементами морских птиц, ловящих добычу в море, а гнездящихся на суше. На птичьих базарах у скал полоса воды около 50 м ширины активно обогащается фекалиями; в период гнездования концентрация фосфатов у птичьего базара средних размеров повышается более чем в 100 раз на площади до 200 км². Определенная масса фосфатов (наряду с нитратами и солями калия) накапливается в донных отложениях и временно выводится из круговорота, минерализуясь. Часть выносится в поверхностные воды океанов в апвеллинговых зонах (рис. 11).



Рис. 11. Круговорот фосфора в биосфере

В последнее время, в связи с интенсивным применением минеральных удобрений, количество фосфора в круговороте увеличивается на величины, сравнимые с его естественным круговоротом.

Круговорот серы происходит следующим образом. Растения поглощают серу из почвы преимущественно в виде сульфатов, которые образуются там в процессе окисления и восстановления серы из минералов, из трупов и экскретов животных, из растительных остатков, в которых она содержится в виде серосодержащих аминокислот в составе белков. При разложении органических остатков сера выделяется в виде сероводорода и двуокиси серы, которые частично остаются в почве, а частично выделяются в атмосферу и возвращаются в виде кислотных атмосферных осадков. Циркуляция сульфатов в системе «почва – растения» происходит при воздействии аэробных редуцентов, животные получают серу с белковой пищей.

Перевод сульфатов в двуокись серы и сероводород осуществляется анаэробными серобактериями Десульфовибрио. Переход минеральной серы в двуокись серы и сероводород происходит при воздействии анаэробных серобактерий Тиобациллюс. Переход минеральной серы в сульфаты осуществляют аэробные фотосинтезирующие серобактерии Хроматиум (рис. 12).

В последнее время, в связи со сжиганием ископаемого топлива, в атмосферу выделяется большое количество оксидов серы, которые возвращаются в почву с атмосферными осадками.

Таким образом, круговорот таких важных биогенных элементов, как углерод, азот, фосфор и сера в настоящее время в значительной степени изменен в результате деятельности человека.

Необходимейший компонент жизни – вода. Круговорот воды происходит при испарении с поверхности водоемов, ледников и почвы и при дыхании животных и растений. Море теряет с испарениями больше воды, чем получает ее с осадками, на суше положение обратное. Выравнивание происходит за счет стока с материков. Время оборота воды через осадки и сток около года. Наличие растений на том или ином участке поверхности Земли увеличивает испарение примерно на 40 % по сравнению с голой почвой. Суммарное испарение воды с поверхности почвы и при дыхании растений

называется эвапотранспирацией. Значительная часть воды (ледники, глубинные слои Мирового океана, глубоко залегающие подземные воды) практически не участвует в круговороте.

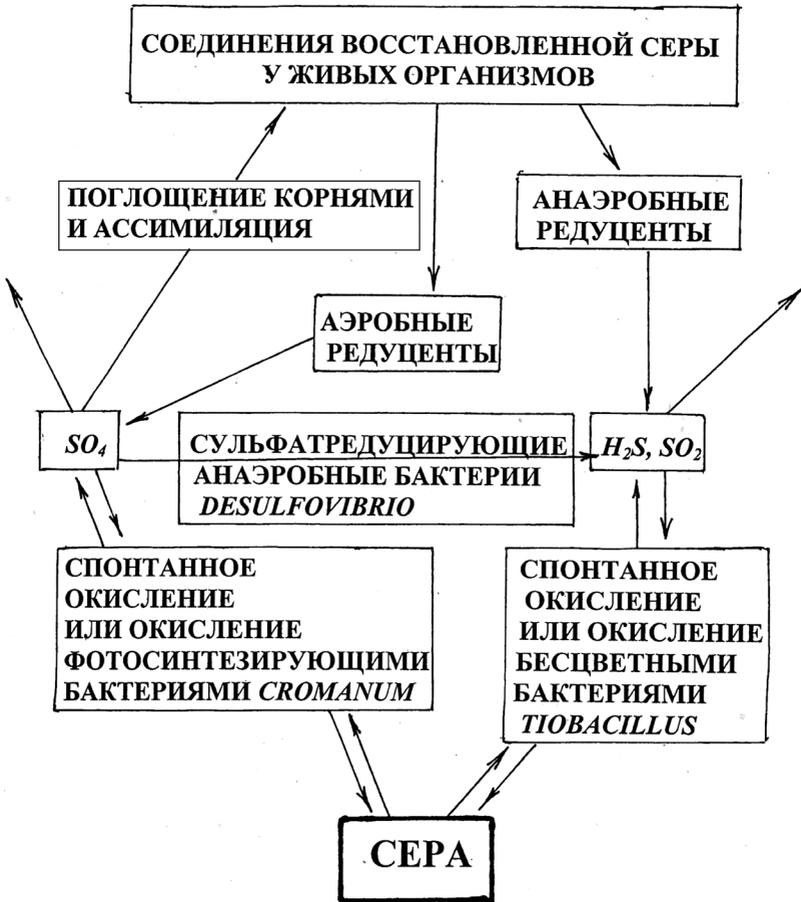


Рис. 12. Круговорот фосфора в биосфере

Испаряющаяся вода выпадает в виде осадков. Часть ее задерживается растениями и переходит в подземный сток (до 25 % в лесах умеренного пояса), остальная либо снова испаряется, либо

переходит в поверхностный сток, попадает в водоемы и снова испаряется. Большая часть воды, полученной животными и растениями, испаряется при дыхании, на биосинтез идет всего около 1 % усвоенной ими атмосферной влаги.

Неравномерность распределения запасов пресной воды на территории суши издавна приводило человечество к попыткам «улучшить» это распределение путем ирригации. Оросительные системы широко использовались в Древнем Мире уже за 3–4 тыс. лет до нашей эры, используются и сейчас. Подсчитано, что при увеличении площади орошаемых земель на планете на 600–700 млн га, при доведении урожая до 50 ц зеленой массы с гектара, прибавка урожая составит до 0,5 т на каждого жителя Земли, при этом дополнительное выделение кислорода в 15–20 млрд т полностью компенсирует его антрополический расход.

Однако ирригация и перераспределение стока рек могут вызвать необратимые изменения природных экосистем, в частности заболачивание, засоление и латеритизацию почвы до такой степени, что она не может больше использоваться в целях получения сельхозпродукции, и экологические последствия этого для биосферы в целом непредсказуемы.

ГЛАВА 8

Циклы солнечной активности и их влияние на биосферу

Наше Солнце по звездной классификации относится к классу желтых карликов (G_2). Масса его 2×10^{30} кг, радиус 696 тыс. км, плотность $1,43 \times 10^3$ кг/м³ (почти в полтора раза плотнее воды), светимость $3,86 \times 10^{23}$ квт/сек, температура поверхности 5770 °К (5497 °С). Период обращения вокруг своей оси на экваторе 27 суток, вблизи полюсов – 32 суток. Это показывает, что Солнце – не твердое тело. Ускорение свободного падения на Солнце 274 м/сек² (на Земле – 9,8 м/сек²).

Солнце в 1300 раз тяжелее Земли и в 745 раз тяжелее всех планет Солнечной системы, больших и малых, вместе взятых.

Атмосфера Солнца состоит из трех слоев: солнечной короны, хромосферы и фотосферы.

Солнечная корона – верхняя часть атмосферы Солнца – состоит из горячей (1–2 млн °К) разреженной ионизированной плазмы, толщина ее непостоянна, около нескольких десятков радиусов Солнца. Она является источником постоянно истекающей в виде фотонов энергии («солнечный ветер»). На уровне орбиты Земли (149 млн км от Солнца) скорость «солнечного ветра» около 400 км/сек, плотность потока частиц – несколько десятков в см³.

Нижележащий слой, хромосфера, имеет толщину 7–8 тыс. км с температурой от 5 до 10 тыс. °К в разных участках. Здесь периодически возникают хромосферные вспышки – яркие, внезапные, краткосрочные (5–10 мин) с выделением энергии порядка 10^{25} дж, в виде протонного, рентгеновского, ультрафиолетового, видимого светового и радиоизлучений, которые фиксируются на Земле в виде сильных радиопомех, магнитных бурь и северных сияний.

Самый нижний слой атмосферы Солнца, фотосфера, имеет толщину 200–300 км, ее температура от 4,5 тыс. °К у поверхности Сол-

нца до 8 тыс. °К на границе с хромосферой. Из фотосферы исходит почти все электромагнитное излучение Солнца, здесь образуются различные структурные элементы (подробнее о которых далее).

Методом спектрального анализа определен химический состав поверхности Солнца: около 90 % водорода и около 10 % гелия, остальных элементов менее 1 %. Источник энергии Солнца – реакция ядерного синтеза, превращение 4 атомов водорода в 1 атом гелия. Масса 4-х атомов водорода равна 4,0316, а масса одного атома гелия – 4,0026. Разница 0,029 – дефект массы – и является источником энергии. Реакция идет в недрах Солнца, где температура достигает 10 млн °К и выше. В поверхностные слои энергия передается излучением, а в самих поверхностных слоях – конвекцией. С конвекцией связаны солнечные пятна (о них подробнее далее) и другие образования на солнечной поверхности. Важнейшие из них следующие.

Протуберанцы. Громадные, протяжением до сотен тысяч км плазменные образования в солнечной короне, имеющие большую плотность и меньшую температуру, чем окружающая их плазма короны. На диске Солнца наблюдаются в виде темных волокон, а на его краю – в виде светящихся облаков, арок и струй (фонтанов).

Гранулы. Яркие изолированные образования диаметром 500–1000 км, покрывающие весь диск Солнца. Одна гранула возникает и распадается за 5–10 мин.

Флоккулы. Волокнистые образования в хромосферном слое, имеют большую плотность и яркость, чем окружающие их участки хромосферы, и ориентированы вдоль силовых линий магнитного поля Солнца (рис. 13).

Земля, находящаяся от Солнца в среднем на расстоянии 149 млн км, получает ежегодно 5×10^{20} ккал. ($2,09 \times 10^{21}$ кДж) энергии, или $1,95$ кал/см² ($8,17$ Дж/см²) в минуту, это солнечная постоянная. Ежеминутно 240 млн т вещества теряется Солнцем. Чтобы масса Солнца уменьшилась на 1 %, потребуется потеря вещества в том же темпе в течение 150 млрд лет. Возраст Солнца – около 10 млрд лет. Оно движется по орбите вокруг центра Галактики со скоростью 250 км/сек, срок обращения 200 млн лет. За время университетской лекции (1 ч. 30 мин.) Солнце со всеми своими планетами проходит 1 млн 350 тыс. км.

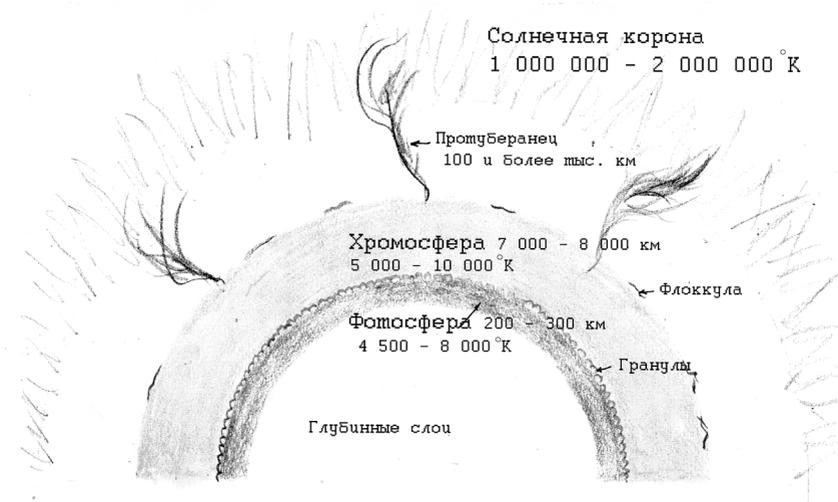


Рис. 13. Строение поверхностных слоев Солнца

Несмотря на то, что человек еще в глубокой древности в общем верно представлял себе, что Солнце является причиной всего сущего (многочисленные солнечные божества: Шамаш у шумеров и вавилонян, Амон-Ра и Атон в Египте, Мелькарт в Финикии, Гелиос и Аполлон у греков, Феб у римлян, Дажьбог и Ярило у славян, Бальдур у германцев и скандинавов и многие другие, рис. 14), наука о Солнце началась с того времени, когда Галилей и одновременно с ним и независимо от него Фабрициус, Шайнер и Хэрриот начали в 1610–1611 гг. исследовать солнечные пятна. Именно наблюдая их, удалось определить скорость вращения Солнца вокруг своей оси. С тех пор солнечные пятна изучают непрерывно уже 400 лет.

Солнечные пятна – грандиозные образования, иногда бывают видны через закопченное стекло даже невооруженным глазом. Одно из самых больших пятен наблюдалось в феврале 1917 г. Оно имело длину в 250 тыс. км и площадь несколько сот млн км².

Сроки существования солнечных пятен непостоянны, как и их размеры. Есть пятна, существующие несколько суток, а есть и такие, что держатся в течение трех и даже четырех оборотов Солнца – более трех месяцев. Пятна образуются не на всей поверхности Солнца, а главным образом в двух поясах по обе стороны экватора, от 10 до

30° широты. Очень редко пятна появляются в зоне экватора, внутри этих поясов, и еще реже – за пределами 35° широты. Увеличение числа пятен ведет к расширению поясов, в которых они наблюдаются.



Рис. 14. Солнечные божества

Периодичность появления пятен впервые установил Швабе в 1851 г., но ошибочно определил этот период в 10 лет. Уточнение ввел Вольф в 1857 г. – 11 лет. За период более или менее регулярных наблюдений солнечных пятен самый короткий промежуток между максимумами – 7 лет, самый длинный – 17 лет. Вольф же вывел показатель, характеризующий среднее число пятен в год, называемый числом Вольфа:

$$W = K (10g + f)$$

где f – полное число пятен в течение года в группах и отдельно, g – число наблюдений групп пятен в течение года, K – индивидуальный коэффициент наблюдателя и его телескопа.

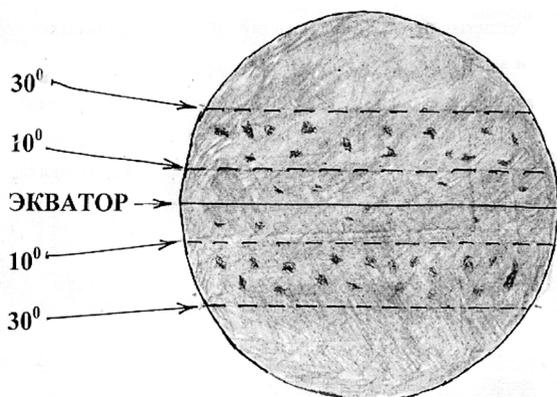
Наращение числа пятен от минимума до максимума и обратное снижение идут не по плавной кривой, а скачками, с чередованием мелких подъемов и снижений. В годы минимума бывают периоды до двух

недель, когда пятна вообще не появляются и такие же периоды с небольшими подъемами числа пятен. В годы максимума даже и периоды понижения активности пятен больше, чем в периоды повышения в годы минимума. Следовательно, по мере движения цикла от минимума к максимуму пятна на поверхности Солнца возникают все чаще и чаще и появляются во все большем количестве и имеют все большую продолжительность жизни. Эти скачки в появлении и исчезновении пятен и являются виновниками эффектов, которые развиваются на Земле в зависимости от процессов пятнообразования на Солнце.

Имеются и более длительные периоды активности Солнца. Наиболее хорошо изучен и описан период в три цикла Вольфа – цикл Брикнера (от 30 до 40 лет, в среднем 33 года). Известны и более длительные циклы – столетние (от 90 до 120 лет, три цикла Брикнера), трехсотлетние (270–360 лет, три столетних цикла) и тысячелетние (810–1080 лет, три трехсотлетних цикла). Так, на основании анализа китайских летописей, описывающих северные сияния в низких широтах, Вольф установил, что повышенная активность Солнца была в 372-м, 840-м, 1078-м, 1133-м и 1372-м годах, причем в 372-м и в 1372-м годах – наивысшая (тысячелетний цикл).

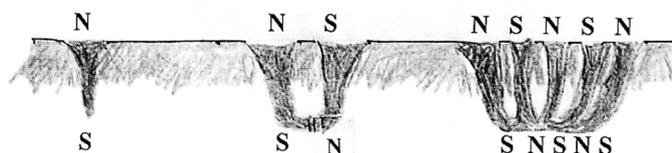
Природу солнечных пятен в разные времена объясняли по-разному: от просветов в светящихся солнечных облаках, через которые видна темная поверхность Солнца (Гершель) до громадных вихрей в солнечной атмосфере (Фай, Рейе, Хельм). По современным воззрениям, солнечное пятно – вихрь, зародившийся в более глубоких слоях Солнца и вышедший на поверхность. Температура в этой воронке гораздо ниже, чем в окружающей поверхности Солнца (3–4,5 тыс. °К), поэтому пятно и кажется темным. Эта воронка – гигантский магнит с напряженностью до 4 кЭ (килоэрстед), один полюс которого направлен внутрь Солнца, другой наружу. Такое пятно называется униполярным. Бывают объединения двух таких воронок, когда разноименные полюса в глубине Солнца соединяются, и на поверхности видны два рядом находящиеся пятна с разными полюсами магнита. Это биполярное пятно. Бывают и мультиполярные пятна – группы из нескольких пятен с несколькими полюсами разного характера. Около 60 % всех пятен биполярные, 38–39 % униполярные и лишь 1–2 % мультиполярные.

Есть и так называемые «невидимые» пятна – это участки солнечной поверхности, где пятен пока нет, но они должны скоро возникнуть. Эти участки определяются по изменению температуры и напряжения магнитного поля, что хорошо заметно на спектрограммах и магнитограммах солнечной поверхности (рис. 15).



ЗОНЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН

ТИПЫ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН



**УНИПОЛЯРНОЕ БИПОЛЯРНОЕ МУЛЬТИПОЛЯРНОЕ
СОЛНЕЧНЫЕ ЦИКЛЫ:**

ВОЛЬФА: 7 – 17 ЛЕТ (СР, 11 ЛЕТ).

БРИКНЕРА: 3 ЦИКЛА ВОЛЬФА; 30 – 40 ЛЕТ (СР. 33 ГОДА).

ВЕКОВОЙ: 3 ЦИКЛА БРИКНЕРА; 90 – 120 ЛЕТ (СР. 100 ЛЕТ).

ТРЕХСОТЛЕТНИЙ: 3 ВЕКОВЫХ ЦИКЛА; 270 – 460 ЛЕТ (СР. 300 ЛЕТ).

ТЫСЯЧЕЛЕТНИЙ: 3 ТРЕХСОТЛЕТНИХ ЦИКЛА; 740 – 1300 ЛЕТ (СР. 1000 ЛЕТ)

Рис. 15. Солнечные пятна и солнечные циклы

Магнитное поле в зоне пятна появляется в результате вихревого движения заряженных частиц, которое приводит к появлению конвекционных электрических токов, последние образуют вокруг себя магнитное поле.

В периоды повышенной активности солнечных пятен усиливается и ряд других явлений в солнечной атмосфере – увеличивается количество протуберанцев, флоккул, усиливается грануляция, возрастает активность в солнечной короне. Следовательно, все эти явления связаны со сложными и пока еще недостаточно изученными периодическими процессами, происходящими в недрах Солнца.

Электромагнитные и корпускулярные излучения Солнца оказывают самое непосредственное воздействие на состояние земной атмосферы и гидросферы, а колебания активности этого излучения находятся в непосредственной зависимости от количества солнечных пятен. Это проверено множеством раз на самых разнообразных метеорологических явлениях в разных регионах Земли. Так, максимумы циклонов в Индийском океане отмечались в 1848–1849, 1859–1861, 1870–1872 гг. Наивысшая активность Солнца отмечалась, соответственно, в 1848, 1860 и 1870 гг. Наибольшая частота бурь на Байкале наблюдалась в 1903–1909 и в 1915–1921 гг., наивысшая активность Солнца регистрировалась в 1905 и 1917 г. Повышение уровня таких далеко отстоящих друг от друга озер, как Ладожское, Каспийское и Виктория отмечались в 1905, 1917 и 1929 г., а наивысшая активность Солнца была, соответственно, в 1905, 1917 и 1928 г.

Таким образом мы видим, что чаще всего метеорологические и гидрологические возмущения приходятся на год максимума активности Солнца ± 3 года.

Воздействие излучения пятна на Землю наивысшее, когда пятно находится в плоскости центрального меридиана Солнца. Как луч вращающегося прожектора на миг освещает предмет, так и излучение пятна касается Земли и уходит космическое пространство. Но таких касаний будет много в тот период, когда много пятен. Спектр Солнца в норме и спектр солнечного пятна различны: спектр пятна больше похож на спектр старых звезд класса М («красных кар-

ликов»)), чем на спектр Солнца – спектр средневозрастной звезды класса G («желтых карликов»). Так что в момент попадания на Землю излучений пятна Земля как бы освещается одновременно и «старым», и «обычным» Солнцем.

Влияние излучений наблюдается не только в поверхностных оболочках Земли – атмосфере и гидросфере, но и в глубинных слоях земной коры, а может быть, даже и в мантии. По крайней мере известна связь солнечной активности с вулканической деятельностью и землетрясениями. Вероятно, солнечные возмущения в твердых слоях Земли возбуждают довольно длительные процессы, не сразу проявляющиеся в заметных возмущениях литосферы, поэтому пики наибольшей вулканической и тектонической активности приходится не на годы наибольшей активности Солнца, а на годы наименьшей, т. е. год максимума $\pm 5-7$ лет. Так, в период низкой активности Солнца 1803–1812 гг. (самый длительный за все время наблюдений период низкой солнечной активности) извергались 4 вулкана, в период 1883–1890 гг. – 8 вулканов, в том числе самое сокрушительное извержение Кракатау. В период 1909–1912 гг. извергались 4 вулкана, в том числе самые сокрушительные извержения Мон-Пеле и Катмай. Однако период высокой активности Солнца в 1828–1833 гг. ознаменовался извержениями 3-х вулканов, в том числе самое сокрушительное извержение вулкана Тамбор.

Давно известно, что магнитная стрелка компаса подвержена различного рода годовым и суточным отклонениям от магнитного меридиана. Эти колебания состоят в тесной связи с деятельностью Солнца, причем максимум кривой магнитной активности на Земле несколько запаздывает по отношению к максимуму активности солнечных пятен. Интенсивность магнитных бурь колеблется в пределах 27 дней, т. е. равна периоду вращения Солнца. При этом магнитная буря возникает не одновременно на всей Земле, а идет на протяжении 4–6,5 минут, начинаясь через 26 часов после прохождения пятна через центральный меридиан Солнца. Видимое проявление магнитных бурь – полярные сияния. По их активности можно довольно точно определить интенсивность магнитной бури. В годы очень высокой солнечной активности полярные

сияния наблюдаются и в низких широтах*. Интенсивность магнитных бурь имеет четкую коррелятивную зависимость от суммарной площади пятен, имеющих в данный момент на стороне Солнца, обращенной к Земле.

В настоящее время достоверно установлена связь с изменениями количества солнечных пятен следующих явлений:

1. Напряженность магнитного поля Земли, магнитные бури, их частота.
2. Частота и интенсивность полярных сияний.
3. Частота появления перистых облаков.
4. Частота появлений колец («гало») вокруг Луны и Солнца.
5. Интенсивность ультрафиолетовой радиации, количество радиоактивных частиц в воздухе.
6. Степень ионизации верхних слоев атмосферы.
7. Колебания напряженности атмосферного электричества, частота и интенсивность грозовой деятельности.
8. Количество озона в воздухе.
9. Количество космической пыли в атмосфере Земли.
10. Тепловое излучение Солнца и его влияние на погоду.
11. Температура воздуха у поверхности почвы и у водной поверхности.
12. Атмосферное давление.
13. Частота ураганов, бурь, смерчей.
14. Количество осадков, частота градобитий, число полярных айсбергов.
15. Высота уровня озер, мощность иловых отложений в озерах.
16. Длительные колебания климата.
17. Извержения вулканов, землетрясения.

Еще в древние времена люди заметили явную связь во времени между стихийными бедствиями в неорганической природе и распространением и силой эпидемий. Многолетний опыт человечества подтвердил эти древние наблюдения. В эпохи, когда стихийные бедствия (наводнения, засухи и пр.) сопровождались «небесными

* В сентябре 1957 г. автор наблюдал яркое северное сияние в Кокчетавской области на севере Казахстана.

знамениями» – полярными сияниями в низких широтах («огненные столпы»), кольцами вокруг Солнца и Луны, они, как плавило, сопровождалась и эпидемиями («моровым поветрием»). При этих сочетаниях стихийных бедствий и эпидемий гибли тысячи и сотни тысяч людей. «При чтении летописей, хроник и анналов, повествующих о подобных эпохах, рождается мысль, что в некоторые эпохи все живое на Земле приходит в волнение вследствие судорожных спазм неорганической материи, окружающей это живое» (А. Л. Чижевский).

Колебания интенсивности ряда абиотических факторов не могут не вызвать изменений численности целого ряда живых организмов, в том числе тех, которые оказывают непосредственное воздействие на человека: урожайность основных сельхозкультур, с одной стороны, обилие и активность болезнетворных организмов, сорняков и вредителей – с другой. В той или иной мере прослежена связь активности Солнца со следующими явлениями органического мира:

1. Величина урожая культурных злаков, количество и качество производимого вина, толщина годовых колец древесины, время и обилие цветения многих растений, эпифитотии.

2. Размножение и миграции насекомых, рыб, грызунов, время весеннего прилета птиц, эпизоотии, в том числе и у домашнего скота.

3. Количественное соотношение различных ионов в крови человека, колебания веса новорожденных, массовые истерии и галлюцинации, частота несчастных случаев, техногенных катастроф, внезапных смертей, частота обострений в течении болезней, колебания общей смертности и рождаемости, эпидемии.

Связь колебаний численности многих животных с солнечными циклами прослеживается на известном графике Сиивонена (колебания численности американского зайца беляка в Канаде за 90 лет, с 1845 по 1935 г.). Автор отметил (без указания причин) 9 подъемов и 10 спадов численности. Если на эту кривую наложить кривую чисел Вольфа за эти годы, то получается, что все 10 спадов приходились на максимум солнечной активности ± 3 года, а из 9-ти подъемов численности 6 приходились на год минимума солнечной активности ± 3 года.

По наблюдениям А. А. Максимова, в Барабинской лесостепи с 1910 по 1975 г. вспышки численности непарного шелкопряда происходили 6 раз и всегда на восходящей части кривой солнечной активности и 6 вспышек массовой численности водяной полевки в годы максимума солнечной активности.

По нашим данным наблюдений за численностью леммингов в тундре России в 1972–1976 гг. и анализа литературных данных за 1929–1976 гг., на территории от Ямала до Чукотки наблюдалось 11 синхронных подъемов и 11 синхронных спадов численности зверьков. Из 11-ти спадов 7 приходились на год максимума ± 3 года, а из 11-ти подъемов 9 приходились на годы минимума солнечной активности ± 3 года.

Влияние солнечной активности на эпидемические процессы хорошо прослеживается на примере холеры. Китайские летописи отмечают разгар жесточайшей эпидемии этой инфекции в 1370 г., когда пятна на Солнце были видны невооруженным глазом (максимум в 1372 г.). Крупная вспышка холеры в Константинополе, в Аравии и в Египте в 1450–1451 гг. произошла вслед за максимумом солнечной активности в 1447 г.

Массовая эпидемия холеры в Индии в 1768–1771 гг. связана с максимумом солнечной активности в 1769 г. Эпидемии холеры в 1774–1780 и 1787–1790 гг. приходятся на максимумы солнечной активности в 1778 и в 1788 г. Обычно зарождаясь в Индии, на Ганге, холерная эпидемия распространяется по многим странам мира и часто продолжается после периода повышенной солнечной активности – как бы «хвост» первичной вспышки.

С конца XVIII по начало XX века по Земле прошло 15 пандемий холеры, начало 12-ти из них совпало с периодами максимума солнечной активности, одна пандемия пришлась на период минимума и по одной – на периоды подъема и падения кривой солнечной активности.

Разумеется, на развитие эпидемий холеры влияют и ряд других факторов, в первую очередь вирулентность возбудителя (способность вызывать клиническую картину заболевания) и иммунный статус основной массы людей, а также некоторые физические факторы среды: температура и рН воды (холерный вибрион пред-

почитает теплую и слабощелочную воду). Но эти факторы также подвержены воздействию солнечной активности. Усиление ультрафиолетового и корпускулярного излучения Солнца вызывает ускорение процесса мутирования микроорганизмов, что может вызвать появление штаммов с повышенной вирулентностью, а также снижение иммунитета у новорожденных. В периоды высокой активности Солнца наблюдается некоторое потепление климата – повышение температуры воды в реках и повышение вымывания из подстилающих пород различных веществ, что может придать воде слабо щелочную реакцию.

Поскольку эти процессы сложны и часто зависят от солнечной активности не напрямую, а опосредованно, наступает некоторое «размывание» процесса в стороны от истинного максимума активности Солнца. Некоторые процессы ускоряются уже на подъеме активности, другие обладают сильной инерцией, а в среднем получают отклонения от истинного максимума на те же три года в ту или другую сторону.

В течение XX века явных пандемий холеры не наблюдалось. Это связано с ростом уровня медицинской помощи, наличием вакцин и эффективных лекарственных средств, что помогало заглушать эпидемии на местах в самом начале и не допускать их развитие в пандемии.

При анализе материалов по распространению пандемий грипп выяснено, что из 43 последних пандемий 18 приходилось на годы максимума, 10 – на восходящую ветвь кривой солнечной активности, 9 – на нисходящую и 6 – на годы минимума. Здесь нет такой четкой картины, как в случае с холерой, но все же связь просматривается довольно ясно. А одна из самых массовых и тяжелых пандемий гриппа пришлась на 1957 г. – год наибольшей активности Солнца за весь предыдущий период ее изучения.

Менее выражено влияние Солнечной активности на заболеваемость зоонозами – болезнями, которыми человек заражается от различных животных (чума, туляремия, сибирская язва, клещевой энцефалит и др.). Здесь влияние солнечной активности на уровень заболеваемости опосредованно, через воздействие на движение численности животных – источников инфекции и переносчиков, которое

сочетается с воздействием на возбудитель, на иммунные системы человека, на сочетание климатических факторов, как способствующих переносу возбудителя, так и препятствующих ему и т. д.

Поэтому многие зоонозные болезни имеют кривые многолетних изменений уровня заболеваемости, явно не совпадающие с кривой солнечной активности, иногда даже пик заболеваемости приходится на годы спокойного Солнца (при бешенстве). В таких случаях проявляется инерция активного Солнца – пока не «задействуются» все звенья эпидемической и эпизоотологической цепочки.

Непосредственное воздействие изменений солнечной активности на человеческий организм – резонансное воздействие магнитного поля Земли и его изменений при колебании активности Солнца на собственные электромагнитные поля, возникающие в человеческом организме при работе различных его органов, при различных физиологических и биохимических процессах в человеческом организме.

Наибольшее влияние при этом оказывается на кровяное и внутричерепное давление, на передачу электрических потенциалов по нервной ткани, что, следовательно, может вызвать и определенные изменения в нервно-психической сфере.

Известно, что в периоды магнитных бурь ухудшается состояние гипертоников, аллергиков. Учащаются аварии на транспорте в связи с тем, что реакции у водителей, машинистов, пилотов, рулевых ухудшаются, снижаются показатели внимания. Даже у вполне здоровых людей увеличивается раздражительность, а у невротиков и психотиков могут возникать неадекватные реакции на внешние раздражители.

В свое время А. Л. Чижевский резонно предположил, что такие изменения в нервно-психическом состоянии отдельных людей могут суммироваться и вызывать потрясения в человеческом обществе в целом. Он наложил на кривую солнечной активности XVIII – начала XX века даты наиболее крупных войн и революций и получил такой вывод: все они приходились на годы максимума солнечной активности ± 3 года. Конечно, войны и революции, а также и менее значимые общественные потрясения вызываются сложными комплексами социальных, политических и экономических причин, но «спусковым механизмом» могут стать вроде бы не-

значительные факты, так же, как небольшой толчок может вызвать кристаллизацию насыщенного раствора или сход лавины. В человеческих коллективах таким фактом может быть перенапряжение, вызванное чисто физиологическими причинами, зависящими, в свою очередь, от повышения солнечной активности.

Так, война за независимость Северо-Американских колоний от Англии, конечно же, была подготовлена всем комплексом противоречий (политических и экономических) между колониями и метрополией, но толчком послужил марш английских войск на Бостон и почти что стихийное выступление местного ополчения против них, и в результате – победа колонистов у Ленсингтона. Произошло это в 1775 г., вся война длилась до 1783 г., а максимум солнечной активности был в 1778 г.

Ниже приводятся даты наиболее известных войн, революций и контрреволюций, а в скобках – даты максимума солнечной активности.

Английская буржуазная революция 1642–1649 (1649).

Великая французская революция 1789–1794 (1787).

Европейские революции 1848–1849 (1848).

Революция в Италии 1859–1860 (1860).

Франко-прусская война и Парижская коммуна 1870–1871 (1870).

Первая русская буржуазная революция 1904–1906 (1905).

Первая мировая война 1914–1918 (1917).

Февральская и Октябрьская революции и Гражданская война в России 1917–1922 (1917).

Революция в Мексике 1914–1916 (1917).

Революция в Китае 1925–1927 (1928).

Вторая мировая война 1938–1945 (1937).

Революция на Кубе, контрреволюция в Венгрии и государственный переворот в Ираке 1956–1959 (1957).

Контрреволюция в Чехословакии, антисоциалистические выступления в Румынии и Польше, студенческие волнения во Франции, государственный переворот в Ираке, арабо-израильская война 1966–1968 (1967).

Революция в Никарагуа, исламская революция в Иране, начало войны в Афганистане, англо-аргентинская война и контрреволюция в Польше 1978–1982 (1980).

Распад соцлагеря («бархатные революции»), объединение Германии, агрессия Ирака против Кувейта, операция «Буря в пустыне», выступление ГКЧП и распад СССР 1988–1992 (1991).

Балканский кризис, теракт в Нью-Йорке, ввод войск США и НАТО в Ирак 1999–2002 (2002).

Также известно, что годы наибольшей солнечной активности стимулируют научную и творческую деятельность. С той же периодичностью (год максимума солнечной активности ± 3 года) были сделаны очень многие открытия в науке. Ниже приводятся даты наиболее интересных открытий в физике и математике, а в скобках – год максимума солнечной активности.

Основной труд Кеплера по астрономии 1616 (1618).

Итоговый труд Галилея 1638 (1638).

Первый вариант труда Ньютона «Математические начала натуральной философии» 1684 (1685).

Работа Галлея о кометах 1705 (1707).

Работы Эйлера по вариационному исчислению 1728 (1729).

Труд Лагранжа «Аналитическая механика» 1788 (1787).

Работы Клаузиуса и Томпсона по термодинамике 1848–1851 (1848).

Работы Максвелла по теории электромагнитного поля 1873 (1870).

Специальная теория относительности Эйнштейна 1905 (1905).

Общая теория относительности Эйнштейна 1915–1916 (1917).

Работы Бора, де Бройля, Гейзенберга и Шредингера по квантовой механике 1925–1927 (1928).

Работы по квантовой электродинамике и теория расширяющейся Вселенной 1949 (1947).

Единая теория элементарных частиц 1958–1960 (1957).

Если взять некоторые даты из жизни известных литераторов, то увидим, что Л. Н. Толстой закончил «Войну и мир» в 1869 г., а «Анну Каренину» начал в 1873 (максимум солнечной активности в 1870). Период наибольшей творческой активности А. С. Пушкина падает на 1827–1833 гг., а максимум солнечной активности был в 1830 г. («Болдинская осень»). Наивысший подъем творчества Дж. Г. Байрона падает на 1813–1819 гг. (максимум солнечной активности в 1816 г.) и т. д.

Циклы солнечной активности и их влияние на человека (и на человечество в целом) имеют некоторое отношение к астрологическим прогнозам.

Трудно всерьез предположить, что расположение на небе звезд, отстоящих от нас подчас на десятки и сотни световых лет, может как-то влиять на судьбу людей, родившихся при их определенном положении на небе. Надо учесть еще то, что астрологи придают большое значение определенным созвездиям, а реально созвездия не существуют: это лишь проекция на воображаемую сферу звезд, в действительности отстоящих друг от друга иногда гораздо дальше, чем некоторые звезды соседних созвездий.

Но влияние Солнца, в свете вышеизложенного, может оказаться очень существенным, особенно если проанализировать соотношение максимумов и минимумов солнечной активности с годами восточного «звериного календаря». Оказывается (анализ идет с 1750 г., когда стали регулярно отмечать количество солнечных пятен) наибольшее количество минимумов солнечной активности совпадает с годами быка, дракона и свиньи, а максимумов – с годами змеи и овцы. На годы лошади падает равное количество минимумов и максимумов, на год крысы не выпало ни одного минимума, а на год зайца – ни одного максимума. В целом зависимость между солнечным циклом и годами «звериного календаря» составляет по полихорическому показателю связи +0,43 (умеренная положительная корреляция) и по критерию χ -квадрат вполне достоверна.

При анализе дат рождения свыше 17 тыс. выдающихся личностей (по Советскому энциклопедическому словарю 1980 г. издания) выявилась определенная зависимость между годом рождения по «звериному календарю» и родом деятельности, в котором данная личность стала известна.

Если бы такой зависимости не было, то на каждый год цикла приходилось бы 1/12 часть всех дат рождения ($8,33 \pm 0,21$ %) в каждой группе. В действительности этого не происходит. Так, в группе «политики» 10,6 % всех дат рождения приходится на год лошади (в частности, Т. Рузвельт, Ф. Рузвельт, В. И. Ленин, Н. С. Хрущев, Л. И. Брежнев, Б. Н. Ельцин, Г. Коль). Но в то же время И. В. Сталин –

заяц, А. Гитлер и Дж. Неру – быки, М. Ганди и И. Ганди – змеи, М. С. Горбачев – овца и т. д.

Среди полководцев, героев войн, военных теоретиков превалирует год петуха (10,26 %). Если взять полководцев наполеоновских войн, то петухи – Бертъе, Макдональд, Багратион, Ермолов, Тучков 1-й; овцы – Бернадотт, Моро, Понятовский, Платов, Кульнев; тигры – Даву, Массена, Воронцов; змеи – Коленкур, Барклай-де-Толли, Уваров; кабан – Лефевр; собаки – Блюхер, Тучков 2-й; дракон – Кутайсов; крыса – Дохтуров; заяц – Раевский. В то же время в целом в группе «военные» самый редкий знак – бык (6,91 %). Но в эпоху наполеоновских войн даже быки стали воинственными. Это Ней, Богарне, Беннигсен, Витгенштейн и даже сам Наполеон и его победители – Веллингтон и Кутузов.

Среди литераторов самые распространенные знаки – заяц, змея, обезьяна и петух. Если проанализировать в этом отношении русских литераторов XIX века, получим следующие данные: крысы – Л. Толстой, Плетнев, Полежаев, Мамин-Сибиряк, Гарин-Михайловский, Апухтин; быки – Веневитинов, А. Толстой, Станюкович, Суриков; тигр: Тургенев; зайцы: Жуковский, Полонский, Павлова, Грибоедов, Бенедиктов, Гаршин, Рылеев; драконы – Давыдов, Фет; змеи – Марлинский, Некрасов, Кольцов, Гоголь, Майков, Достоевский; лошади – Мей, Григорович, Дельвиг, Чернышевский, Глинка, Григорьев; овцы – Белинский, Островский, Ростопчина, Пушкин; обезьяны: Сенковский, Вельтман, Добролюбов, Боборыкин, Гончаров, Герцен, Баратынский, Панаев, Никитин, Чехов; петухи – Булгарин, Станкевич, Плещеев, Соллогуб; собаки – Лермонтов, Надсон; кабаны – Тютчев, Языков, Павлов.

Указанные четыре знака составляют 48,2 % (21 из 56-ти). Если бы зависимости не было, то должно было быть 33,3 %.

Если сравнить французскую литературу XIX века, то получим другие данные: крысы – Беранже, Буйлье, Верн, Жанен, Нодье, Ренне, Сент-Бев, Сю, Шатобриан; быков нет; тигры – Ж. Гонкур, Жанлис, де Лилль, Малларме, Мало, Рембо, Эредиа; зайцы – Верхарн, Делеклюз, Никола, Стендаль, Фазанзак; драконы – Верлен, Марсас, де Нерваль, Франс; змеи – Бодлер, де Виньи, Деборд-Вальмор, Корбьер, Флобер; лошади – Роллина, Э. Гонкур, де Мюссе, Самен;

овцы – Бальзак, Банвиль, Готье, Пруст; обезьяны – Балланш, Дюма-сын, Лафорг; петухи – Вьенне, де Местр, Ришпен; собаки – Гюго, Дюма-отец, Ламартин, Мопассан, де Сталь; кабаны – Констан, Мериме, Скриб, Фонтане. Указанные четыре знака составляют 29,6 % (16 из 54-х), что даже меньше среднего уровня при отсутствии зависимости.

Если просуммировать данные обеих этих великих литератур XIX века, получим, что к этим знакам относится 37 литераторов из 110 – 33,6 %, т. е. как раз та доля, которая должна быть, если нет четкой связи года рождения с отраслью деятельности.

Эти выкладки показывают, что знак «звериного календаря» не дает абсолютной уверенности в судьбе человека, родившегося под тем или иным знаком, но на большом статистическом материале возможно определение некоторых тенденций приложения сил для людей, родившихся в определенные этапы солнечного цикла.

ГЛАВА 9

Энергетический баланс биосферы

Солнечная радиация – единственный источник энергии практически для всех процессов, протекающих в биосфере.

Значение вопроса о преобразованиях солнечной энергии было впервые отмечено русским географом и климатологом А. И. Воейковым, который писал: «Я думаю, что одна из важнейших задач физических наук в настоящее время – ведение приходно-расходной книги солнечного тепла, получаемого земным шаром с его воздушной и водной оболочками».

Общая картина преобразования солнечной энергии выглядит следующим образом. Поток солнечной радиации на среднем расстоянии от Солнца до Земли (149,6 млн км) равен 1000 ккал (4187 кДж)/см² в год. Вследствие шарообразности Земли лучи Солнца падают на нее под углами от 90° на экваторе до 0° на полюсах. Величина поглощенной энергии электромагнитного излучения пропорциональна синусу угла падения ($\sin 90^\circ = 1$, $\sin 0^\circ = 0$). Поэтому в среднем на единицу поверхности верхней границы атмосферы поступает 250 ккал (1047 кДж)/см² в год. Из них 167 ккал (699 кДж)/см² в год поглощаются Землей как планетой. Земля получает от Солнца в год в среднем 5×10^{20} ккал ($20,9 \times 10^{20}$ кДж). Эта величина стабильна на протяжении почти всей истории Земли и называется солнечной постоянной.

Поверхность Земли, нагретая при поглощении видимых лучей солнечной радиации, становится источником инфракрасного (теплого) излучения, нагревающего атмосферу. Содержащиеся в атмосфере газы, прежде всего углекислый газ и водяной пар, прозрачны для видимых солнечных лучей, но не пропускают инфракрасные лучи, поэтому задерживают тепло. Это явление называ-

ется парниковым эффектом, или атмосферным противоизлучением, и благодаря ему в мировое пространство уходит небольшая часть полученного от Солнца тепла. Эта тепловая ловушка обеспечивает существование на поверхности Земли в среднем положительной температуры (средняя температура поверхности Земли +14,5 °С), при этом возможно существование воды в жидкой фазе, а это одно из условий существования жизни.

Парниковый эффект могут создавать также аммиак и метан, но их количество в атмосфере ничтожно. Не исключено, что на таких планетах, как Юпитер и Сатурн, где эти газы составляют основную часть атмосферы, они создают парниковый эффект и температура поверхности этих планет может оказаться гораздо более высокой, чем мы предполагаем*.

Та часть тепла, которая преодолевает атмосферный барьер, называется *эффективным излучением*, а разность потоков энергии, приходящих к Земле и уходящих от нее – *радиационным балансом*.

Благодаря парниковому эффекту радиационный баланс земной поверхности всегда положителен.

Поученная от Солнца энергия расходуется на нагревание атмосферы посредством турбулентной теплопроводности (неупорядоченного, хаотичного движения частиц воздуха), на испарение воды, на теплообмен с глубокими слоями гидросферы и литосферы и на другие процессы.

Сумма и разность всех потоков энергии, уходящих и приходящих от земной поверхности, в соответствии с законом сохранения энергии, равны нулю. Это радиационный баланс Земли как планеты. Но поскольку радиационный баланс поверхности Земли положителен, то радиационный баланс атмосферы должен быть отрицательным.

Этот отрицательный баланс (атмосфера больше излучает тепла, чем поглощает непосредственно от солнечной радиации)

* Известный американский ученый, писатель-фантаст и популяризатор науки А. Азимов даже считал, что на поверхности этих планет может быть жидкая вода и жизнь в ней, обреченная никогда не выйти на сушу, так как суши на этих планетах не может быть – водная оболочка в этих условиях должна покрывать всю планету.

компенсируется притоком энергии от выделения тепла при конденсации водяного пара в облака, притоком тепла от земной поверхности при турбулентном переносе и горизонтальными переносами тепла воздушными потоками (адвекцией) от высоких широт к экватору и обратно. Существенное влияние на эти процессы оказывает и перенос тепла океаническими течениями, что вызывает усиление испарения и потерю тепла в атмосфере, и конденсацию облаков, и выделение при этом тепла в атмосферу.

Помимо этих глобальных процессов, существуют и менее заметные процессы, использующие и преобразующие неизмеримо меньшие объемы тепла. К таким процессам относится, в частности, фотосинтез, но он чрезвычайно важен для биосферы, так как он является основой жизни. При фотосинтезе используется лишь 0,02 % всей солнечной энергии, получаемой Землей за год, но роль живого вещества в жизни Земли неизмеримо выше. Земля без жизни была бы совершенно другой планетой, даже отдаленно не напоминающей такую, какая она сейчас. Это – наглядная иллюстрация тезиса В. И. Вернадского об энергетической роли живого вещества.

Максимум излучения солнечного спектра приходится на видимый свет (коротковолновое излучение) в диапазоне от 0,75 мкм (красный свет) до 0,42 мкм (фиолетовый свет). Инфракрасное (тепловое, длинноволновое) излучение, более 0,75 мкм и ультрафиолетовое (менее 0,42 мкм) насыщены энергией гораздо меньше; еще меньше энергии выделяет Солнце в диапазоне радиоволн, рентгеновских и гамма-лучей.

Отражение солнечной радиации от земной поверхности характеризуется величиной альбедо, которая теоретически может принимать значения от 1 (абсолютно белая поверхность, вся солнечная радиация отражается) до 0 (абсолютно черная поверхность, вся солнечная радиация поглощается). Фактически альбедо, почти равное единице, имеет зеркало, а альбедо, почти равное нулю – черный бархат. Реальные значения альбедо различных поверхностей показаны в таблице 4.

Заметная часть поступающей от Солнца радиации поглощается и рассеивается в атмосфере и отражается в мировое пространство. На величину поглощенной и рассеянной радиации сильно влияет

состояние атмосферы: при большой облачности усиливается отражение энергии в мировое пространство, так как альbedo облаков очень велико. В то же время наличие облаков увеличивает противозлучение атмосферы. Особенно много тепла, излучаемого Землей, задерживают плотные серые облака нижних ярусов. Различного рода дымки в атмосфере (в том числе, особенно в настоящее время, антропоического происхождения) усиливают рассеяние и уменьшают количество энергии, достигающей земной поверхности.

Таблица 4

Значения альbedo различных поверхностей в условиях Земли

<i>Вид поверхности</i>	<i>Значение альbedo</i>
Свежевыпавший снег	0,95
Обычный нетающий снег	0,7–0,8
Загрязненный тающий снег	0,4–0,5
Пустыни, высохшие соленые озера	0,5
Степи, посевы сельхозкультур	0,2–0,25
Леса	0,1
Свежевспаханный влажный чернозем	0,05
Среднее альbedo суши	0,3
Облака	0,4–0,5
Спокойная вода, Солнце в зените	0,01–0,05
Волнение, Солнце низко над горизонтом	0,3–0,4
Среднее альbedo Мирового океана	0,1

Излучаемое земной поверхностью тепловое излучение имеет длину волн порядка 5–50 мкм, а поглощение тепла в атмосфере углекислым газом наиболее эффективно в диапазоне 13–17 мкм, водяным паром – в диапазоне 5–7,5 мкм. Поскольку изменение влажности воздуха бывает очень существенным, поглощение тепла водяным паром может заметно меняться в сравнительно короткие промежутки времени, поглощение же углекислым газом более постоянно и меняется в заметных пределах лишь в масштабах целых геологических периодов. В последние 100–150 лет из-за

увеличения техногенного загрязнения атмосферы большим количеством углекислого газа идет нарастание парникового эффекта, однако его масштабы и сила влияния на климат с достоверностью не установлены.

Таким образом, излучение земной поверхности зависит от ее температуры, влажности воздуха и облачности. В безоблачную погоду основная часть уходящего в мировое пространство тепла излучается с поверхности Земли, а в облачную – с верхней границы облаков. Поскольку температура этой поверхности намного ниже, чем поверхности Земли, в облачную погоду с данного участка Земли излучается в пространство меньше тепла, чем в ясную.

Радиационный баланс земной поверхности можно выразить формулой:

$$R = Q(1 - \alpha) - I,$$

где R – радиационный баланс; Q – суммарная солнечная радиация, сумма прямого и рассеянного света; α – альбедо; I – эффективное излучение, разность собственного излучения земной поверхности и поглощаемого на ней противоизлучения атмосферы.

Аналогично определяется радиационный баланс системы «Земля – атмосфера» (радиационный баланс Земли как планеты). Его выражают в виде радиационного баланса вертикальной колонны, проходящей через всю толщу атмосферы до земной поверхности:

$$R_s = Q_s(1 - \alpha_s) - I_s,$$

где R_s – радиационный баланс Земли как планеты; Q_s – солнечная радиация, приходящаяся на верхнюю границу атмосферы; α_s – альбедо системы, т. е. отражающая способность атмосферы и поверхности Земли суммарно; I_s – длинноволновое излучение с внешней границы атмосферы в мировое пространство.

Радиационный баланс атмосферы R_a равен разности величин R_s и R :

$$R_a = R_s - R = Q_s(1 - \alpha_s) - Q(1 - \alpha) - (I_s - I) \quad (\text{рис. 16}).$$

Уравнения радиационного баланса это, грубо говоря, графа «приход» в приходно-расходной книге тепла. Чтобы перейти к собственно тепловому балансу (графа «расход»), необходимо учесть затраты тепла на испарение, перенос тепла от соседних участков атмосферы (гидросферы, литосферы), турбулентный перенос и др. Если радиационный баланс бывает и положительным (поверхность Земли), и отрицательным (атмосфера), то тепловой баланс за длительный период (год или несколько лет) всегда равен нулю.

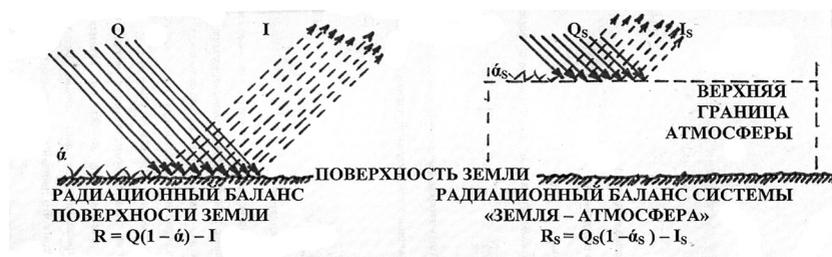


Рис. 16. Радиационный баланс поверхности Земли, системы «Земля – атмосфера» и атмосферы (по М. Будыко, 1975)

Это происходит потому, что постоянно возникает перенос тепла от объектов с более высокой температурой к объектам с более низкой температурой за счет турбулентного переноса тепла, пока температура системы не выровняется.

В уравнения теплового баланса обычно включают вышеупомянутые три составляющие. Остальные составляющие теплового баланса: расход тепла на снеготаяние, приход тепла от замерзания воды, поток тепла от трения воздушных потоков, ветровых волн, приливов; поток тепла, переносимый выпадающими осадками, температура которых не равна температуре подстилающей поверхности, а также расход энергии на фотосинтез и приход энергии от окисления и разложения мертвой органики – значительно меньше основных членов баланса и в глобальном масштабе могут не учитываться.

Общее уравнение теплового баланса земной поверхности можно выразить следующей формулой:

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

где R – тепловой баланс (радиационный поток тепла); P – поток тепла от поверхности Земли к нижним слоям атмосферы (турбулентный перенос); A – поток тепла от поверхности Земли к нижележащим слоям литосферы (гидросферы); L – скрытая теплота испарения; E – скорость испарения.

Если составить уравнение теплового баланса для вертикальной колонны, верхний срез которой – поверхность воды или почвы то оно будет иметь вид:

$$A = F_0 + B.$$

где F_0 – приход тепла при теплообмене с окружающим пространством литосферы или гидросферы; B – изменение теплосодержания в изучаемом массиве за счет различных внутренних процессов.

Приток тепла из глубин Земли через нижний срез колонны не учитывается, так как он очень мал по сравнению с основными членами теплового баланса. В гидросфере величина F_0 значительна, так как существуют течения и большая горизонтальная теплопроводность, для литосферы эта величина, как правило, незначительна. Поэтому для суши $A = B$. Так как в среднем за год процессы с выделением тепла нейтрализуются процессами с поглощением тепла, то для среднегодового периода $A = B = 0$. Поэтому для суши уравнение теплового баланса:

$$R = LE + P$$

Для морей и крупных частей океанов $A = F_0$, так как изменения теплосодержания внутри вертикальной колонны воды полностью зависят от теплообмена с окружающим пространством, и уравнение теплового баланса для морей и крупных частей океанов равно:

$$R = LE + P + F_0$$

Но для Мирового океана в целом, когда общее перераспределение тепла равно нулю в связи с взаимной компенсацией теплых и холодных течений, уравнение теплового баланса выглядит как

$$R = LE + P$$

В пустынях, где испарение близко к нулю, уравнение теплового баланса будет иметь вид:

$$R = P \text{ (рис. 17)}$$

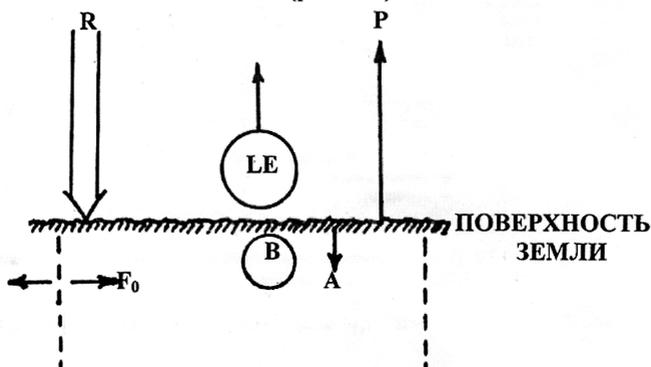


Рис. 17. Тепловой баланс Земли (по М. А. Будыко, 1975)

Тепловой баланс системы «Земля – атмосфера» (R_s) рассматривается в колонне, проходящей через все слои атмосферы и верхние слои гидросферы или литосферы, вплоть до уровней, где прекращаются заметные суточные и сезонные колебания температуры. Потоки тепла через боковую поверхность колонны зависят от горизонтального переноса тепла в атмосфере (F_a) и в гидросфере (F_0). Кроме теплообмена через поверхность колонны, на ее тепловой баланс существенно влияют источники тепла внутри колонны. Особенно большое значение имеют процессы, связанные с испарением и конденсацией воды. Разность величины конденсации и испарения равна сумме осадков (r), и приход тепла равен Lr . Расход тепла на испарение с земной поверхности равен LE . Общее влияние конденсации и испарения на тепловой баланс колонны характеризуется величиной $LE - Lr = L(E - r)$. На тепловой баланс влияет и изменение теплосодержания внутри колонны B_s .

Следовательно, общее уравнение теплового баланса в системе «Земля – атмосфера» будет выглядеть следующим образом:

$$R_s = F_s + L(E - r) + B_s,$$

где $F_s = F_a + F_0$; $B_s = B_a + B$.

Для среднегодового периода $B_s = 0$, и уравнение принимает вид:

$$R_s = F_s + L(E - r)$$

Так как для всего земного шара за год $E = r$, и **горизонтальный** приток тепла в атмосфере и гидросфере равен нулю, то уравнение принимает вид:

$$R_s = 0$$

Считая, что радиационный баланс атмосферы $R_a = R_s - R$, а изменения теплосодержания в атмосфере $B_a = B_s - B$, найдем, что:

$$R_a = F_a - Lr - P + B_a$$

А для среднегодового периода

$$R_a = F_a - Lr - P \quad (\text{рис. 18}).$$

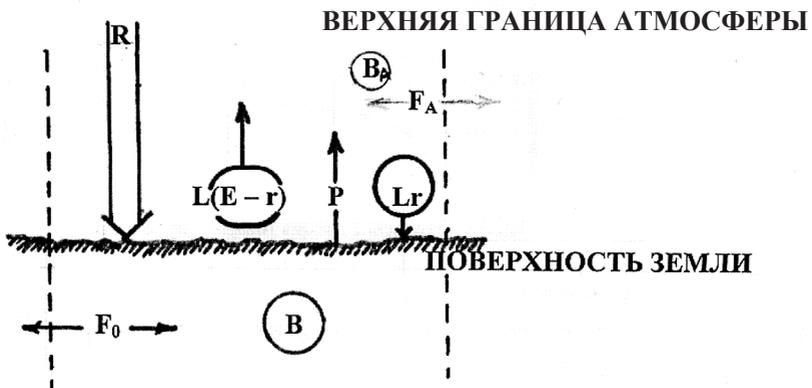


Рис. 18. Тепловой баланс системы «Земля – атмосфера» и атмосферы (по М. А. Будыко, 1975)

ГЛАВА 10

Географическое распределение основных составляющих энергетического баланса биосферы

Величины суммарной радиации (Q) в основном находятся в пределах от 60 до 220 ккал (250–920 кДж)/см² в год. В высоких и умеренных широтах распределение суммарной радиации имеет зональный характер, вблизи экватора эта зональность нарушается. Это связано с тем, что в экваториальном поясе постоянно наблюдается сильная облачность, что снижает значения Q . **В то же время в зонах высокого давления к северу и к югу от экватора, где почти все время ясная погода, показатель Q наиболее высок, максимума он достигает в северо-восточной Африке и на Аравийском полуострове.**

Существенно отличаются сезонные характеристики Q . Так, в декабре нулевая изолиния проходит примерно по северному полярному кругу (в полярную ночь световой поток от Солнца отсутствует). В северном полушарии в умеренных широтах распределение значения Q **имеет зональный характер, который нарушается** в экваториальной области, а в южном полушарии снова отмечаются зональные изменения, но небольшие, так как понижение высоты солнца, зависящее от географической широты, компенсируется увеличением продолжительности дня. Для июля – «зеркальная» ситуация по сравнению с декабрем: то, что было характерно для северного полушария, происходит в южном, и наоборот.

Особый характер носит суммарная солнечная радиация в горах. Здесь настолько сложная система отражения и поглощения света в зависимости от экспозиции склонов, их крутизны, цвета и фактуры горных пород, характера растительности и др., что для горных местностей значения как Q , так и остальных показателей радиационного баланса не подсчитываются, и на картах радиационного

баланса горные системы выглядят белыми пятнами, около которых прерываются изолинии соответствующих показателей.

Общий радиационный баланс (R) характеризуется более высокими положительными значениями **R водной поверхности, чем суши**, так как альbedo морской поверхности ниже, чем суши на одной и той же широте. Но и на суше, и в океане годовые суммы **R** всегда положительны. Отрицательные значения **R** наблюдаются только в районах с постоянным ледовым и снежным покровом (Антарктида, Гренландия), где очень высокие значения альbedo.

В тропиках **R океанов наиболее высок, по направлению к полюсам быстро убывает**. Наибольшие значения **R в морях отмечаются на северо-востоке Аравийского моря**: более 140 ккал (586 кДж)/см² в год, в других тропических морях не ниже 113 ккал (473 кДж)/см² в год.

Изменчивость значений **R на суше также в некоторой степени имеет зональный характер**, однако в ряде областей зональность резко нарушается из-за различий в условиях увлажнения. Причина этого – значительное увеличение расхода тепла на эффективное излучение в условиях сухого климата: высокая температура поверхности, малая облачность и малая влажность воздуха. Понижены также значения **R в муссонных областях**, так как там в теплое время года большая облачность. Наибольшее значение радиационного баланса во влажных тропиках, но и там оно достигает лишь 71–100 ккал (297–419 кДж)/см² в год, в полтора раза ниже, чем для водной поверхности.

Затраты тепла на испарение (LE). Для испарения слоя воды толщиной 1 м требуется 60 ккал (251 кДж)/см² в год. Наиболее высокие значения – в тропической и субтропической зонах Мирового океана, так как поверхность океана имеет более высокий радиационный баланс, чем поверхность суши, да еще дополнительное количество тепла переносится течениями. Значение **LE в тропических и субтропических водах местами превышают 160 ккал (670 кДж)/см² в год**. Резкое различие между показателями на море и на суше хорошо выражено в районах береговых линий. Так, на юго-восточном побережье США показатель **LE на суше 40 ккал (168 кДж)/см² в год**, а на море 160 ккал (670 кДж)/см² в год.

Во влажных тропиках этот показатель составляет до 60–80 ккал (251–335 кДж)/см² в год, но есть места аномальных понижений, на-

пример, в центральных областях Южной Америки и Индонезии есть понижения до 40–60 ккал (168–251 кДж)/см² в год. Наиболее низкие затраты тепла на испарения в пустынях: 10–30 ккал (42–126 кДж)/см² в год.

Незональные изменения показателей LE в океанах связаны с распределением теплых и холодных течений. Теплые течения увеличивают показатель LE, а холодные уменьшают. В зоне Гольфстрима на широте Исландии LE = 60 ккал (251 кДж)/см² в год, а в самой Исландии – 20 ккал (84 кДж)/см² в год. У восточного берега Южной Африки, в зоне теплого течения, LE = 100 ккал (419 кДж)/см² в год, а у западного, в зоне холодного течения, – 40 ккал (168 кДж)/см² в год.

В умеренных широтах суши в холодное время года испарение уменьшается, а в океанах возрастает за счет разницы температур в холодное время года между водой и воздухом. Увеличивают испарение и большие средние скорости ветра в холодное время года над морями, чем над сушей.

В целом широтное распределение величин LE выглядит так. Показатель LE имеет максимум на экваторе: 48–50 ккал (201–209 кДж)/см² в год. В северном полушарии – падение в зоне высокого давления до 20 ккал (84 кДж)/см² в год и падение к северу до 14 ккал (59 кДж)/см² в год. В южном полушарии несколько более равномерный спад от 41 до 20 ккал (от 172 до 84 кДж)/см² в год. В океанах максимальные среднеширотные показатели LE отмечены в поясах высокого давления: 99–105 ккал (415–440 кДж)/см² в год в северном и 100–104 ккал (419–436 кДж)/см² в год в южном полушариях, против 80–84 ккал (335–352 кДж)/см² на экваторе. Далее идет постепенный спад к обоим полюсам.

Турбулентный перенос тепла от поверхности суши (моря) в атмосферу (P). Этот показатель на всей Земле имеет положительное значение (тепло передается в атмосферу). Только в Антарктиде этот показатель имеет отрицательное значение (там приходящий с океанов воздух теплее, чем над континентом). На большей части Мирового океана величина P небольшая: 5–10 ккал (21–42 кДж)/см² в год. Лишь в зоне теплых течений (Гольфстрим, Куроисио) он достигает 30–40 ккал (126–168 кДж)/см² в год. В целом в низких широтах он выше, чем в высоких, Среднеширотные величины

значений P закономерно возрастают в океанах от 4 на экваторе до 16 ккал (от 17 до 67 кДж)/см² в год в северном полушарии и от 4 до 9 ккал (17–38 кДж)/см² в год в южном.

На суше наоборот, наибольший показатель P – в низких широтах, в сухих районах теплоотдача в атмосферу гораздо больше, чем во влажных. Наиболее высокие показатели в тропических пустынях: 40–60 ккал (168–251 кДж)/см² в год, несколько ниже на экваторе: 22–24 ккал (92–100 кДж)/см² в год, а в высоких широтах снижаются до 6 ккал (25 кДж)/см² в год в северном полушарии и до 11 ккал (46 кДж)/см² в южном.

Приток тепла от поверхности океана к нижележащим слоям воды (A). Наиболее существенен в районах теплых течений, составляет 40–60 ккал (168–251 кДж)/см² в год в Куроисио и 60–80 ккал (251–335 кДж)/см² в Гольфстриме. В зоне холодных течений (Перуанское, Бенгельское) наблюдается отток тепла из глубины к поверхности.

Распределение среднеширотных величин прихода или расхода тепла в океанах, связанного с действием течений (F). Морские течения выносят тепло в основном из зоны между 20° с. ш. и 20° ю. ш., причем максимум поглощаемого течениями тепла смещен несколько к северу от экватора. Это тепло передается в более высокие широты и максимально расходуется в области 50–70° с. ш.

Средние значения составляющих теплового баланса для континентов (кроме Антарктиды) и океанов (кроме Северного Ледовитого) представлены в таблице 5. Из анализа сопоставления этих данных видно, что в Европе и в обеих Америках большая часть энергии радиационного баланса расходуется на испарение, на остальных континентах – на турбулентный перенос, что соответствует их более сухому климату. Показатели для Европы и Северной Америки очень схожи из-за сходства климатов этих континентов. Особенно большое превышение испарения над турбулентным переносом характерно для Южной Америки (континент с наиболее влажным климатом). Для Азии мы видим небольшое превышение турбулентного переноса над испарением, почти равенство этих процессов, так как природно-климатические условия этого континента наиболее разнообразны и нивелируются. Наибольшее превышение турбулен-

тного переноса характерно для Австралии, имеющей относительно к площади континента наибольшую площадь пустынь.

Таблица 5

**Средние значения составляющих теплового баланса,
ккал/см² в год**

<i>Континент (океан)</i>	<i>R</i>	<i>LE</i>	<i>P</i>
Европа	39	24	15
Азия	47	22	25
Африка	68	26	42
Северная Америка	40	23	17
Южная Америка	70	45	25
Австралия	70	22	48
Океаны (кроме Ледовитого)	79–86	72–78	7–8
Планета в целом	167	137	30

В целом на нашей планете в океанах около 90 % тепла расходуется на испарение и только 10 % на турбулентный перенос. На суше эти нормы расхода почти одинаковы (51 и 49 % соответственно).

Для всей Земли расход на испарение составляет 83 % радиационного баланса и на турбулентный обмен – 17 %.

В экваториальной зоне к большому приходу радиационной энергии добавляется значительный прирост тепла за счет фазовых преобразований воды (разность прихода тепла от конденсации и расхода тепла на испарение положительна). За счет этого тепла обеспечивается большой расход тепла на океаническую и атмосферную адвекцию (горизонтальное перемещение тепла), для которой сравнительно узкая экваториальная полоса является чрезвычайно важным источником энергии.

В 30–40-х широтах при положительном радиационном балансе наблюдается, наоборот, расход тепла при фазовых преобразованиях воды (разность прихода тепла от конденсации и расхода тепла на испарение отрицательна). В большей части этой зоны он сравним с величиной радиационного баланса, поэтому перераспределение тепла воздушными и морскими течениями здесь сравнительно невелико.

Выше 40-й широты расположена зона отрицательного баланса, увеличивающегося по абсолютному значению с ростом широты. Он компенсируется притоком тепла, переносимого воздушными и морскими течениями. В поясах 40–60-х широт главный источник компенсации – превышение энергии, выделяемой при конденсации водяного пара, над расходом тепла на испарение. В этих широтах существенное значение имеет приток тепла, приносимого морскими течениями.

В более высоких широтах основной приток тепла идет за счет атмосферной циркуляции, так как, особенно в полярных областях, приход тепла от конденсации невелик, а морские течения либо не влияют на приток тепла (южная полярная область), либо их влияние ослаблено постоянным ледовым покровом (северная полярная область).

Величины общего энергетического баланса Земли представляются следующим образом. На единицу верхней границы атмосферы ежегодно поступает 250 ккал (1047 кДж)/см² в год. Считая среднее альbedo Земли как планеты 0,33, находим, что коротковолновая радиация, поглощенная Землей, равна 167 ккал (658 кДж)/см² в год. Атмосфера поглощает коротковолновой радиации 41 ккал (172 кДж)/см² в год. К земной поверхности поступает 126 ккал (528 кДж)/см² в год коротковолновой радиации. Среднее альbedo земной поверхности 0,14, значит, на земной поверхности поглощается 108 ккал (452 кДж)/см² в год, а 18 ккал (75 кДж)/см² в год уходит в атмосферу и присоединяется к поглощенным ранее атмосферой 41 ккал (172 кДж)/см² в год, составляя в сумме 59 ккал (247 кДж)/см² в год.

Тепловой баланс поверхности Земли 72 ккал (302 кДж)/см² в год: 60 ккал (251 кДж)/см² в год на испарение и 12 ккал (51 кДж)/см² в год на турбулентный перенос. Остаток от поглощенной поверхностью Земли энергии – 36 ккал (151 кДж)/см² в год – эффективное противоизлучение на уровне поверхности Земли. Итого общее эффективное противоизлучение Земли как планеты равно 167 ккал (658 кДж)/см² в год, общее количество длинноволнового излучения Земли равно радиационному приходу тепла.

Отношение эффективного излучения с земной поверхности к общему излучению Земли (36 : 167) гораздо меньше, чем отноше-

ние коротковолновой радиации, поглощенной земной поверхностью, и коротковолновой радиацией, поглощенной Землей в целом (108 : 167). Это различие и есть выражение парникового эффекта, а разница в $108 - 36 = 72$ ккал (302 кДж)/см² в год и есть радиационный баланс земной поверхности.

Энергетический же баланс атмосферы складывается из прихода от поглощения коротковолновой радиации (59 ккал (247 кДж)/см² в год), притока тепла от конденсации водяного пара (60 ккал (251 кДж)/см² в год) и прихода тепла от турбулентного переноса (12 ккал (51 кДж)/см² в год), что в сумме составляет 131 ккал (549 кДж)/см² в год. Такова же отдача тепла атмосферой в общую сумму эффективного противоизлучения.

В целом же радиационный баланс Земли равен 0:

$$Q_s - I_s = 167 - 167 = 0.$$

ГЛАВА 11

Водный баланс биосферы. Географические составляющие водного баланса

Влагооборот в биосфере включает в себя обмен водой во всех ее фазовых состояниях (жидкая вода, снег и лед, водяной пар) между гидросферой, атмосферой и литосферой, а также живыми организмами. Процесс влагооборота описывается уравнениями водного баланса, составленными для различных компонентов биосферы.

Уравнение водного баланса поверхности суши выражает условия равенства нулю алгебраической суммы всех видов прихода и расхода жидкой, твердой и газообразной воды, поступающей к горизонтальному участку поверхности от окружающего пространства за определенный промежуток времени:

$$r = E + f_w + G,$$

где r – осадки; E – разность испарения и конденсации, для краткости именуемая испарением; f_w – поверхностный сток; G – поток влаги, направленный от земной поверхности к нижележащим слоям.

Вертикальный поток влаги, в свою очередь, равен сумме грунтового (подземного) стока и изменения влагосодержания в верхних слоях литосферы. Это равенство соответствует уравнению водного баланса вертикальной колонны, проходящей от поверхности почвы через верхние слои литосферы до глубин, где влагообмен уже не имеет места:

$$G = f_p + b,$$

где f_p – подземный сток; b – изменение влагосодержания.

Сумма поверхностного (f_w) и подземного (f_p) стоков называется полным стоком (f), следовательно, уравнение водного баланса земной поверхности можно записать в виде:

$$r = E + f + b.$$

Это уравнение используется также для расчетов водного баланса водоема или его отдельного участка. В этом случае величина f будет характеризовать суммарное перераспределение воды по горизонтали как в самом водоеме, так и в нижележащих слоях грунта, если там происходит перераспределение влаги. Аналогично и величина b для условий водоема равна общему изменению количества воды как в самом водоеме, так и в нижележащих слоях, если там отмечается заметное изменение влагосодержания. Практически для всех случаев для водоема величина b характеризуется изменением уровня воды. Для среднего годовичного периода отклонения сезонного уровня в разные сезоны от межennaleго уровня (ежегодного уровня низкого стояния воды) нейтрализуются (как и уровень влагосодержания в почве и в более глубоких слоях под поверхностью суши), и поэтому уравнение водного баланса принимает вид:

$$r = E + f.$$

Для водного баланса земного шара в целом горизонтальные перераспределения влаги не играют роли, поэтому уравнение водного баланса приобретает простую формулу:

$$r = E.$$

Такова же формула водного баланса для среднегодовичного периода в условиях бессточных областей суши, включая условия пустынь.

Водный баланс атмосферы – это суммирование всех категорий прихода и расхода влаги в вертикальной колонне, проходящей через толщу атмосферы. Он выражается уравнением:

$$E = r + C_a + b,$$

где C_a – количество влаги, получаемое или теряемое вертикальной колонной из-за действия воздушных течений и горизонтального турбулентного обмена; b – изменения количества влаги в этой колонне; r – осадки; E – испарение.

Так как атмосфера может удерживать сравнительно небольшие количества воды во всех ее фазовых состояниях, величина b обычно

значительно меньше других составляющих, а для годовичного периода ее значение близко к нулю, следовательно:

$$E = r + C_a \text{ (рис. 19).}$$



Рис. 19. Водный баланс Земли (по М. А. Будыко, 1975)

Водный баланс различных континентов и океанов Земли заметно различается. Он показан в таблице 6.

Таблица 6

Водный баланс континентов и океанов Земли, мм/год

Континент или океан	Осадки (r)	Испарение (E)	Сток (f)
Европа	770	490	280
Азия	630	370	260
Африка	720	580	140
Северная Америка	800	470	330
Южная Америка	1600	940	660
Австралия	450	410	40
Вся суша	800	485	315
Атлантический океан	1010	1360	230
Тихий океан	1460	1510	80
Индийский океан	1320	1420	80
Мировой океан в целом	1270	1400	130
Планета в целом	1030	1030	–

Как видно из этой таблицы, в Австралии испарение приближается к величине осадков, что соответствует малому количеству рек и большой площади замкнутого стока на этом континенте. В Африке испарение составляет 80 % осадков, что вызвано большими площадями пустынь, на остальных континентах испарение не превышает осадки больше чем наполовину, что соответствует большому количеству рек и малым площадям замкнутого стока.

Хотя в целом для Мирового океана существует баланс осадков, испарения и стока (испарение, в отличие от суши, превышает осадки), в отдельных океанах этот баланс нарушен. Так, в Атлантическом и в Индийском океанах испаряется больше воды, чем возвращается с осадками и стоком, зато в Тихом океане сумма осадков и стока превышает испарение. Следовательно, в Индийский и Атлантический океаны постоянно поступает вода из Тихого океана, а в Атлантический – еще и из Северного Ледовитого, где испарение заметно меньше суммы осадков и речного стока (баланс для Северного Ледовитого океана не рассчитан из-за наличия больших масс льда, затрудняющих подсчет испаряемой воды; испарение может идти как в жидкой, так и в твердой фазах).

В целом для земного шара величина осадков равна величине испарения и составляет 1030 мм в год.

В различных зонах приход и расход водяного пара в атмосфере может быть и больше, и меньше расходов на выпадение осадков. При этом источником водяного пара для атмосферы являются главным образом зоны высокого давления, где испарение заметно превышает осадки. Расходование этого избытка идет в приэкваториальной зоне, а также в умеренных и высоких широтах, где осадки больше испарения.

Очевидно, что разность осадков и испарения одновременно равна разности между приходом и расходом водяного пара в атмосфере вследствие горизонтального движения воздуха (адвекции). Большие величины этой разности для многих районов дают некоторое представление о значении переноса водяного пара в атмосфере для формирования осадков.

Составляющие водного баланса континентов и океанов непостоянны, они изменяются под влиянием колебаний климата и других

факторов. Так как изменения составляющих баланса за год малы, по сравнению с их абсолютными величинами, этими изменениями можно пренебрегать при составлении баланса. Однако при изучении эволюции гидросферы данные об изменениях составляющих водного баланса имеют очень большое значение.

Так, в эпоху окончания последнего оледенения, около 20 тыс. лет назад, уровень Мирового океана был почти на 100 м ниже современного. Затем этот уровень постоянно повышался и достиг наблюдаемой нынче высоты примерно 5 тыс. лет назад. После этого уровень Мирового океана изменялся незначительно, в частности, с 1930-х гг. по настоящее время этот уровень повышается в год на 0,2 см, и всего за XX век повысился на 19 см.

Вопрос об источниках повышения уровня Мирового океана решается таким образом. Некоторое количество воды в океаны попадает при таянии ледников Антарктиды и Гренландии. Известно также, что в течение XX века уменьшился запас подземных вод суши и упал уровень некоторых крупных озер. Эта вода по путям стока также перешла в Мировой океан. В сумме эти три фактора и привели к повышению уровня Мирового океана. Следует также помнить, что в геологические периоды, когда температура на Земле была значительно выше, чем теперь (Кембрий, Карбон, весь Мезозой, Палеоген) уровень Мирового океана был выше теперешнего примерно на 66 м, за счет отсутствия на Земле в эти периоды полярных шапок льда.

Общее количество воды в Мировом океане оценивается в 1380×10^{14} т. 167×10^{14} т воды содержится в ледниках. Внутренние воды составляют $0,25 \times 10^{14}$ т, подземные и почвенные – $2,5 \times 10^{14}$ т, атмосферная влага $0,13 \times 10^{14}$ т, в сумме 1550×10^{14} т. Во влагообороте из этого количества воды участвует всего $4,4 \times 10^{14}$ т, так как основная масса воды в глубинах океанов, в глубинных подземных горизонтах и в толще ледников выключена из влагооборота на очень длительное время. С учетом этих абсолютных цифр водный баланс биосферы выглядит следующим образом (табл. 7).

Как видно из этих цифр, моря теряют из-за испарения больше воды, чем получают с осадками. На суше положение обратное. Другими словами, та часть осадков, которая поддерживает наземные эко-

системы, включая и те, что дают пищу человеку, выпадает благодаря испарению с морей и океанов. Установлено, что во многих областях, например в дельте Миссисипи, 90 % осадков приносится с моря.

Таблица 7

Распределение абсолютных величин водного баланса Земли

<i>Составляющие водного баланса</i>	<i>× 10¹⁴ тонн</i>
Осадки, выпадающие в Мировой океан	3,4
Осадки, выпадающие на суше	1,0
Испарение с поверхности Мирового океана	3,8
Испарение с поверхности суши	0,6
Годовой сток	0,2

Объем внутренних вод примерно равен годовому стоку, значит, водооборот занимает около года. Разность между количеством осадков, испарением и стоком на суше ($0,2 \times 10^{14}$ т) – это величина годового поступления воды в подпочвенные водоносные горизонты. Увеличение стока в результате деятельности человека может уменьшить очень важный для круговорота воды фонд грунтовых вод. Нам следовало бы возвращать больше воды в водоносные слои, а не копить ее в водохранилищах, где она быстро испаряется.

Наиболее медленным звеном круговорота, как уже говорилось, являются ледники. Наиболее быстрым, наряду с атмосферой, – речные воды. Вода в них меняется в среднем за 11 дней. Вот почему, несмотря на ничтожное количество воды в реках, именно они за счет очень быстрого водооборота поят все живое на Земле. Кроме чрезвычайно быстрой возобновляемости пресных вод, имеет значение и опреснение океанических вод в процессе круговорота. Это глобальный процесс динамики вод на земном шаре.

Существенной характеристикой гидрологического режима является норма стока – количество воды, стекающей в среднем за год с единицы поверхности суши в виде различных горизонтальных водотоков. Важным показателем является также коэффициент стока – отношение нормы стока к годовой сумме осадков той же территории:

$$C_f = f/r.$$

ГЛАВА 12

Связь энергетического и водного балансов. Круговорот воды и водная эрозия

Так как формирование годового стока в очень большой степени зависит от испарения, которое является одновременно одним из основных процессов преобразования солнечной энергии на поверхности Земли, то очевидно, что норма стока и коэффициент стока определенным образом связаны с основными членами уравнений теплового баланса. Изучение этой связи способствует выявлению закономерностей, определяющих особенности гидрологических режимов различных географических зон.

Имеется несколько систем показателей для выявления связи энергетического и водного балансов. Одним из распространенных показателей является индекс аридности, предложенный Мартоном.

$$i = P/(T + 10),$$

где P – годовое количество осадков в мм; T – среднегодовая температура.

Этот индекс тем ниже, чем суше климат (табл. 8).

Иногда имеет значение не среднегодовой индекс аридности, а его значение для определенных месяцев, самых ли теплых, когда происходят процессы вегетации растений и размножение животных или, наоборот, самых холодных, что имеет значение для условий зимовки. Среднемесячный индекс аридности определяется по аналогичной формуле:

$$i = 12 p / (t + 10),$$

где p – среднемесячная сумма осадков, t – среднемесячная температура.

Так, для Омска среднегодовой индекс аридности 32,3; среднеянварский 6,4; среднеиюльский 29,6.

Таблица 8

**Индексы аридности для различных районов земного шара
(по Дажо, 1975, с добавлениями)**

<i>Территория наблюдения</i>	<i>Природная зона</i>	<i>Средняя годовая температура, °С (Т)</i>	<i>Сумма осадков за год, мм (Р)</i>	<i>Индекс аридности по Мартону (i)</i>
Рангун	Дождевые тропические леса	+ 27,2	2547	68
Усть-Ишим, Омская область	Южная тайга	– 0,5	437	45
Париж	Лиственные леса	+ 11,3	558	28
Одесское, Омская область	Степь	+ 0,2	263	26
Побережье Алжира	Сухие субтропики	+ 18,0	428	15
Центральный Алжир, Сахара	Пустыня	+ 20,0	20	0,7

Ксеротермический индекс по Госсену представляет собой число засушливых дней в году. За засушливый день принимается такой день, когда не было осадков, а влажность воздуха была не выше 40 %. Экстремальными являются значения 365 (влажных дней нет вообще) и 0 (все дни влажные) дней. К примеру, в приморских районах северо-западной Франции ксеротермический индекс Госсена равен 0, в центральной части Франции – от 0 до 40; на средиземноморском побережье Франции и на побережье северной Африки – от 60 до 100; на высоких нагорьях Сахары – от 100 до 300, а в центральных районах Сахары – свыше 300.

В. В. Докучаевым было предложено использовать для этих целей индекс увлаженности (I_w) – отношение осадков (r) к испарению (E):

$$I_w = r/E.$$

При значении этого индекса более 1 (осадки преобладают над испарением) климат считается гумидным. При значении от 0,9 до

0,4 – семиаридным (полуаридным, приобретает черты аридности), а при значениях меньше 0,4 считается аридным.

Наиболее полную связь между членами теплового и водного балансов мы получаем при применении радиационного индекса сухости, предложенного А. А. Григорьевым и М. И. Будыко.

Очевидно, что средние суммы испарения с поверхности суши E зависят от количества осадков r и от притока солнечной энергии (радиационного баланса) R , причем с увеличением этих показателей испарение увеличивается. При высокой сухости почвы вся вода, поступающая в виде осадков, задерживается молекулярными силами сцепления на частичках почвы и в конечном счете расходуется на испарение. В этих условиях (например, в пустынях) коэффициент стока f/r приближается к нулю.

Учитывая, что средняя сухость почвы возрастает с увеличением радиационного притока тепла и с уменьшением количества осадков, можно заключить, что если $f/r \rightarrow 0$, тогда $E/r \rightarrow 1$, а $R/Lr \rightarrow \infty$.

При уменьшении отношения радиационного баланса к скрытой теплоте испарения, умноженной на сумму осадков (R/Lr), которое М. И. Будыко назвал радиационным индексом сухости, значение E/r будет уменьшаться (возникнет некоторый сток), причем при достаточно больших суммах осадков и малом притоке радиационного тепла будет достигнуто состояние полного увлажнения верхнего слоя почвы. В этом случае на испарение будет расходоваться весь возможный максимум тепловой энергии из имеющихся ресурсов. Иначе говоря, для условий полного увлажнения:

$$LE \rightarrow R \text{ при } R/Lr \rightarrow 0.$$

Общий поток водяного пара, переносимого над конкретной территорией, составляется из двух потоков: потока внешнего водяного пара, образованного испарениями вне данной территории, и потока местного, образованного местным испарением. Коэффициент влагооборота показывает отношение общей суммы осадков к количеству осадков внешнего происхождения:

$$K = (r + r_0) / r_0,$$

где r – осадки, образованные местным испарением; r_0 – осадки, образованные испарением вне данной территории.

В большинстве случаев значение K лишь немного превышает единицу, что показывает, что осадки из местного водяного пара составляют небольшую часть от общего количества осадков (на Европейской части России около 12 %). Даже для такого громадного континента, как Азия, $K = 1,81$, т. е. местным испарением обусловлены меньше половины осадков (44,8 %). При преобладании местных осадков $K \geq 2$. Таких значений K достигает, например, в зоне дождевых тропических лесов Амазонии.

Из различных форм влияния живых организмов на водный баланс наибольшее значение имеет процесс транспирации, т. е. испарения воды растениями. Так как транспирация обычно составляет несколько десятков процентов от величины суммарного испарения, изменения транспирации могут оказать существенное воздействие на влагооборот в атмосфере и, следовательно, на количество выпадающих осадков. (Не лишне напомнить, что доля живых существ в тепловом балансе настолько невелика (0,02 %), что в расчете его основных уравнений ею пренебрегают.)

Транспирация за счет растительности приобретает сравнимые размеры с испарением за счет радиационного тепла Солнца. Так, 1 га елового леса имеет суточную транспирацию 4 тыс. м³, что соответствует осадкам в 328 мм в год. Роща буков такой же площади (около 400 деревьев высотой 25–30 м) испаряет за сутки 20 тыс. м³ воды, что соответствует осадкам в 1640 мм в год. Средней величины береза в солнечный летний день поднимает 200 л воды на высоту в 15 м. Скорость подъема воды у разных растений различна: от 1–2 м/час у хвойных до 40–50 м/час у злаков.

Суммарная величина испарения за счет радиационного тепла и транспирации растениями (эвапотранспирации) зависит как от типа растительного покрова, так и от степени благоприятности атмосферной циркуляции. Существование пустынь свидетельствует об ограниченном влиянии растительности на глобальный климат. В то же время вырубка лесов вызывает уменьшение эвапотранспирации и увеличивает поверхностный сток. Возникающие при этом наводнения (особенно в гористых местностях) свидетельствуют о заметном влиянии растительности на местные климаты (мезоклиматы).

В целом круговорот воды – грандиозный процесс поверхности Земли. В биосфере вода, непрерывно переходя из одного фазового состояния в другое, совершает малый и большой круговороты. Малым круговоротом называется испарение воды с поверхности океанов, конденсация водяного пара и выпадение осадков на поверхность океанов же. Когда водяной пар переносится на сушу, круговорот становится значительно сложнее. Кроме испарения и выпадения осадков добавляется процесс поверхностного и подземного стоков, таким образом завершается большой круговорот.

Малый и большой круговороты воды связывают воедино все части гидросферы: моря, океаны, пресные водоемы, подземные и атмосферные воды. Интенсивность годового круговорота выглядит следующим образом (табл. 9).

Таблица 9

Интенсивность годового круговорота воды на Земле

<i>Части суши, площади, тыс. км²</i>	<i>Элементы водного баланса</i>	<i>Объем, км³</i>	<i>Слой, мм</i>
Периферийная, 116 800	Осадки	106000	910
	Речной сток	44230	380
	Испарение	61770	530
Замкнутая бессточная, 32 100	Осадки	7500	238
	Испарение	7500	238
Мировой океан, 361 100	Осадки	411600	1140
	Речной сток	44230	120
	Испарение	455830	1260
Земной шар в целом, 510 000	Осадки	525100	1030
	Испарение	525100	1030

Основные данные по водообмену на Земле позволяют вычислить активность круговорота в различных скоплениях природных вод различного масштаба (табл. 10).

С круговоротом воды связаны процессы выветривания горных пород и снос продуктов выветривания в Мировой океан, что является условием формирования донных осадков и осадочных горных пород. Глубинные горные породы, оказавшись на поверхности Земли, приспособляются к новым физико-химическим условиям.

В зависимости от того, какому агенту принадлежит ведущая роль в разрушении горных пород, различают три типа выветривания: физическое, химическое и биологическое. Реально же существует сочетание этих трех типов выветривания, при этом наблюдается отчетливая зональность. В нивальных и аридных климатах преобладает физическое выветривание, в гумидных – сочетание химического и биологического выветривания.

Таблица 10

Интенсивность влагооборота на Земле*

<i>Часть гидросферы</i>	<i>Объем, тыс. км³</i>	<i>Активность водообмена</i>
Мировой океан	1 370 000	3 тыс. лет
Подземные воды	60 000	5 тыс. лет
В том числе в активном водообмене	4000	300 лет
Полярные ледники	2400	8 тыс. лет
Озера	280	7 лет
Реки	1,2	11 дней
Почвенная влага	80	1 год
Пары в атмосфере	14	10 дней
Гидросфера в целом	1 545 376,2	В среднем 2,8 тыс. лет

Под выветриванием в экологическом смысле понимают начальный процесс приспособления глубинных минералов и горных пород в условиях биосферы. Химическое выветривание наиболее тесно связано с процессами круговорота воды и вызывает значительное изменение материала изверженных и метаморфических горных пород, неустойчивых в биосфере.

На пороодообразующие материалы действует как сама вода, так и растворенные в ней вещества, в основном это ионы H^+ , OH^- , HCO_3^- , а также кислород. По устойчивости к химическому выветриванию можно выделить четыре группы минералов: весьма устойчивые, (кварц), устойчивые (мусковит, ортоклаз), мало устойчивые

* Некоторые разночтения с данными таблицы 1 связаны с использованием разных источников.

(амфиблон, пироксены) и неустойчивые (основной плагиоклаз, биотит, оливин, сульфиды).

Химическое выветривание происходит в результате различных химических реакций: гидролиза, гидратации, ионного обмена, окисления, карбонатизации и обычного химического растворения. Породообразующие алюмосиликаты (полевые шпаты) разлагаются в основном при гидролизе, соединении с водой. Железосодержащие силикаты и большинство сульфидов окисляются и т. д.

В целом гидролиз имеет большое значение в биосфере. При нем ионы OH^- с катионами металлов поступают в океан и определяют щелочной характер его воды, а ионы H^+ остаются на суше и образуют с алюмосиликатами глинистые минералы, имеющие кислую реакцию.

Растворение идет в верхних горизонтах литосферы, где наиболее растворимыми породами являются известняки. Плохо растворимый CaCO_3 под действием растворенной в воде углекислоты дает растворимый $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. С этим растворением связано образование карстовых пустот.

Продукты выветривания разными способами попадают в речные стоки и переносятся ими в Мировой океан. Выносимые водными взвешенными частицами и ионы, достигают океана и осаждаются там разными способами. Наиболее легко выносятся растворенные частицы, а взвешенные – в зависимости от их величины: мелкие быстрее и дальше крупных. Таким образом происходит механическая и химическая денудация (оголение) континентов, перенос вещества с возвышенных мест в понижения и накопление их там. Наибольшие накопления сосредоточиваются на дне Мирового океана.

В настоящее время механическая денудация преобладает над химической, превышая ее в 2,5–3 раза, но при возрастании механической денудации возрастает и химическая (табл. 11).

Если подсчитать, сколько сносится тонн с км^2 , получим следующие данные (табл. 12).

Ежегодно сносится с суши в Мировой океан 3171 млн т различных ионов, в том числе 494 млн т кальция, 117 – магния, 217 – в сумме натрия и калия, 1692 – карбоната, 423 – сульфата и 228 – хлорида.

Таблица 11

Объемы сноса с континентов материалов химического и физического выветривания (в год)

<i>Континент</i>	<i>Площадь, млн км²</i>	<i>Сток взвешенных частиц, млн т</i>	<i>Сток растворенных веществ, млн т</i>
Европа	9,67	420	305
Азия	44,89	7445	1916
Африка	29,81	1395	757
Северная Америка	20,44	1503	809
Южная Америка	17,98	1676	993
Австралия	7,96	257	88
Вся суша без Антарктиды	130,75	12 696	4868

Таблица 12

Удельный снос взвешенных и растворимых веществ (в год)

<i>Континент</i>	<i>Снос с 1 км² в т взвешенных веществ</i>	<i>Снос с 1 км² в т растворенных веществ</i>
Европа	43,4	31,5
Азия	165,8	42,7
Африка	46,8	25,4
Северная Америка	73,5	39,6
Южная Америка	93,2	55,2
Австралия	32,3	11,1
Вся суша без Антарктиды	97,1	37,2

ГЛАВА 13

История формирования климата. Развитие климата в прошлые геологические эпохи

Климат всегда оказывал огромное воздействие как на неорганический, так и на органический мир Земли. Ландшафтно-климатические условия были и остаются главенствующими для развития, расселения и вымирания тех или иных флор и фаун, тех или иных экосистем. Выясняя причины изменений климата, их периодичность, мы накапливаем знания для прогнозирования изменений климата на ближайшее и отдаленное будущее.

Характер климата в глобальном масштабе связан с содержанием различных газов в атмосфере, вызывающих парниковый эффект, и с характером расположения океанов и континентов на поверхности Земли.

Восемь основных литосферных плит скользят по поверхности горячего слоя мантии Земли (астеносферы) со скоростью 1–12 см/год. Движение плит обеспечивается энергией распада радиоактивных элементов в глубине Земли. При накоплении тепла расплавленные породы поднимаются в районах срединно-океанических горных хребтов и, охладившись, превращаются в базальтовую кору, формирующую океанское дно. Кора движется в обе стороны от хребта, и гранитные плиты континентов ползут на ней, как на конвейерной ленте. Это явление называется спрединг. Кора может «подныривать» под континентальную плиту, приподнимая ее край, при этом возникают горные хребты (пример – Кордильеры). Это явление называется субдукцией (рис. 20).

При столкновениях плит образуются горные цепи (Урал, Гималаи), а при последующих расхождениях – глубокие разломы (рифты). Периодически соединяясь, плиты образуют единый континент – Пангею. Под ним накапливается тепло от радиоактивно-

го распада, так как гранитная континентальная кора хуже проводит тепло, чем базальтовая океаническая. Вследствие этого единый континент вздымается, швы между плитами расходятся и он раскалывается. По линиям разлома усиливается вулканическая деятельность. После раскола и разделения плит тепло уходит в океаны, так как базальтовая кора легче теряет тепло, чем гранитная. Морское дно, старея, опускается, и плиты снова сходятся. Это так называемый суперконтинентальный цикл, или цикл Уилсона.

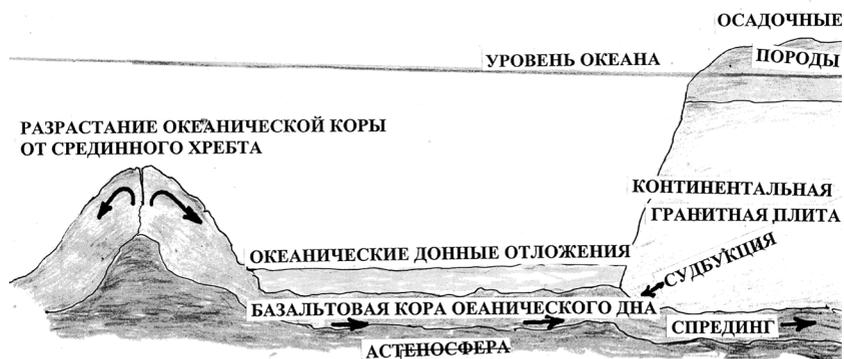


Рис. 20. Схема движения материковых плит

Весь цикл носит регулярный характер. Около 40 млн лет проходит от начала рифтообразования до раскола суперконтинента, еще примерно 160 млн лет идет расхождение плит, далее также 160 млн лет сближение и около 80 млн лет существует единый суперконтинент, итого в среднем цикл длится 540 млн лет. За всю историю существования земной коры было несколько таких циклов. Сильные горообразовательные процессы, связанные с расколом плит, происходили 2600, 2100, 1700, 1100, 650 и 250 млн лет назад, т. е. циклы занимали от 400 до 600 млн лет.

Если принять количество воды на Земле за постоянную величину, то уровень океанов зависит от глубины дна и от массы континентов. При собирании всех плит в единый суперконтинент дно

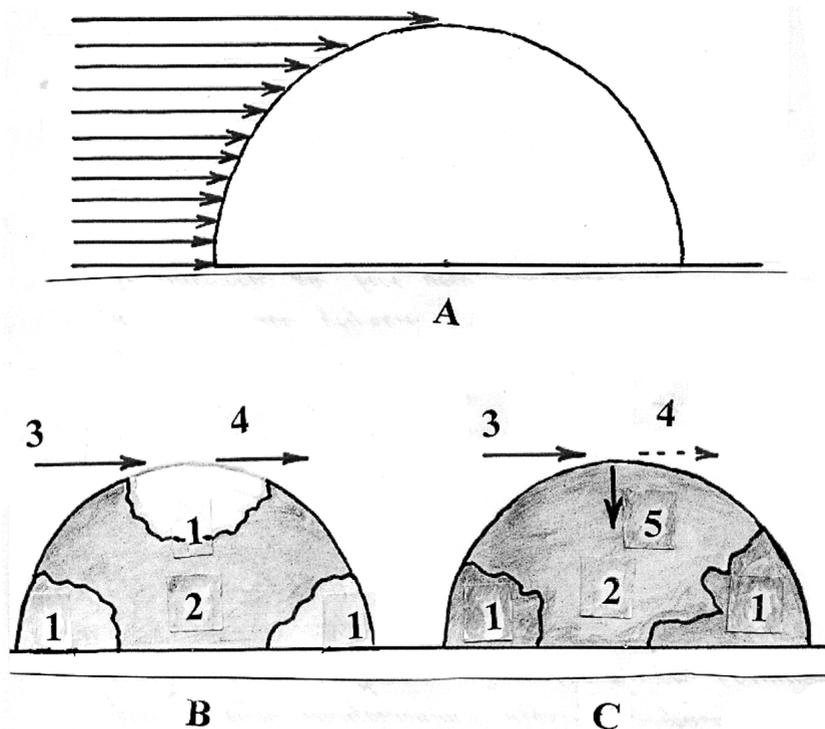
океана углубляется, уровень его падает, а площадь уменьшается. При расползании континентальных плит дно поднимается, уровень океана тоже поднимается, а площадь его увеличивается.

При существовании единого суперконтинента, в силу низкого уровня океана, усиливается сток и попадание в океан ионов кальция. В воде они соединяются с ионами угольной кислоты (от растворенного в ней углекислого газа) и выпадают в осадок в виде углекислого кальция. При этом содержание углекислоты в атмосфере падает. Происходит снижение парникового эффекта и наступает похолодание, образование полярных «шапок» и за счет этого еще более сильное снижение уровня океана. Но при этом увеличивается площадь мелководий, которые более продуктивны, чем глубинные воды, и за счет дыхания мелководных экосистем увеличивается поступление углекислого газа, сначала в воду, а потом и в атмосферу.

Увеличение поступления углекислого газа в атмосферу особенно усиливается при расколах суперконтинента как за счет усиления вулканической деятельности, так и за счет дальнейшего увеличения площади мелководий. Парниковый эффект усиливается, лед на полюсах тает, уровень моря поднимается, при этом ослабевает сток, и уменьшается поступление кальция в океан. Во время последнего цикла появилась наземная растительность, что существенно усилило поступление углекислого газа в атмосферу.

Влияние суперконтинентального цикла на климат Земли зависит также и от того, каково положение континентов и океанов относительно полюсов Земли.

Альbedo суши и воды резко различаются. Если альbedo континента в среднем равно 0,3, то альbedo океана менее 0,1. Следовательно, если у полюса находится водное пространство, почти вся (даже небольшая) энергия солнечного луча поглощается и, вследствие большой теплоемкости воды, сохраняется и передается в другие части гидросферы. Если же на полюсе континент, то значительная часть энергии будет отражаться и уходить в космос. Образование снега в результате похолодания еще больше увеличивает альbedo. Следовательно, океан на полюсе – «грелка», а континент – «холодильник» (рис. 21).



А – УГОЛ ПАДЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ЛУЧЕЙ НА ЗЕМЛЮ НА РАЗНЫХ ШИРОТАХ (ЭНЕРГИЯ ЛУЧЕЙ, ПОПАДАЮЩАЯ НА ЗЕМЛЮ, ПРЯМО ПРОПОРЦИОНАЛЬНА СИНУСУ УГЛА ПАДЕНИЯ: $\sin 90^{\circ} = 1$, $\sin 0^{\circ} = 0$).

В – НА ПОЛЮСЕ КОНТИНЕНТ.

С – НА ПОЛЮСЕ ОКЕАН.

1 – КОНТИНЕНТЫ; 2 – ОКЕАН; 3 – ПАДАЮЩИЕ ЛУЧИ СОЛНЦА; 4 – ОТРАЖЕННЫЕ ЛУЧИ СОЛНЦА; 5 – ЛУЧИ СОЛНЦА, ПОГЛОЩЕННЫЕ ОКЕАНОМ.

АЛЬБЕДО КОНТИНЕНТА 0,3;

АЛЬБЕДО ОКЕАНА МЕНЕЕ 0,01

Рис. 21. Влияние географической широты и положения континента относительно полюсов на климат Земли

В становлении климата велика роль парникового эффекта. Если в настоящее время содержание углекислого газа в атмосфере во многом определяется деятельностью живых организмов, то в отсутствие жизни оно определялось вулканической деятельностью и карбонатно-силикатным циклом.

Атмосферный углекислый газ, растворяясь в атмосферной влаге, выпадает на Землю в виде угольной кислоты. Она разрушает кальциево-силикатные минералы, высвобождая ионы кальция, поступающие в грунтовые воды и далее в подземный и поверхностный сток. Попадая в океаны, ионы кальция соединяются с карбонатными ионами и выпадают в осадок в виде извести (CaCO_3), что уменьшает количество углекислого газа в атмосфере.

При субдукции участки океанической коры подходят под континенты и соприкасаются с мантией. При этом происходят рифтовые разломы и усиление вулканической деятельности, приводящие к повышению поступления в атмосферу углекислого газа. Когда на Земле возникла жизнь, поступление углекислого газа в атмосферу увеличилось, но в принципе оно могло идти и в отсутствие жизни.

В этой связи интересно сравнить климат на планетах земной группы (Венере, Земле и Марсе). Средняя температура Земли $+14,5$ °С, Венеры $+460$ °С, Марса -60 °С. Разница возникла, по мнению некоторых планетологов, из-за различия в циркуляции углекислого газа в древнейшие эпохи существования этих планет, в которые, возможно, они имели сходное строение атмосферы и довольно близкий климат.

На Марсе была слабая тектоника плит, поэтому углекислый газ был «вымыт» из атмосферы, нового поступления было недостаточно, и Марс «замерз». На Венере вода быстро испарялась и почти не было осадков. Углекислый газ накапливался в атмосфере, парниковый эффект рос и Венера «разогревалась». На Земле же было более-менее оптимальное соотношение циркуляции углекислого газа между атмосферой, литосферой и гидросферой, возник умеренный парниковый эффект, что и привело к образованию климата, благоприятного для возникновения и развития жизни.

Климат на Земле появился лишь тогда, когда первичная парогазовая оболочка (пневмосфера) разделилась на атмосферу и гидросферу. Это разделение произошло около 4–3,8 млрд лет назад.

Первичная атмосфера была практически лишена кислорода. Она состояла из азота, водяного пара, водорода, метана, аммиака и паров сильных кислот. Около 3,5 млрд лет назад она стала преимущественно азотно-аммиачно-углекислой. Количество углекислого газа в ней достигало 60 % в основном за счет усилившейся вулканической деятельности. Свободный кислород, выделявшийся при некоторых геологических и химических процессах, полностью затрачивался на окисление аммиака, метана и сероводорода (из-за чего эти газы почти исчезли из атмосферы) и на окисление различных элементов в земной коре.

Около 3–2,5 млрд лет назад в Мировом океане возникли и широко распространились фотосинтезирующие синезеленые водоросли и началось насыщение гидросферы кислородом. Так как Мировой океан был значительно теплее современного (до +30 ... +35 °С у экватора), растворение кислорода в нем шло ограничено, и избыток кислорода выделялся в атмосферу.

Около 1,2 млрд лет назад количество кислорода в атмосфере достигло 0,1 % от современного его содержания («точка Юри»). Это важнейший этап в развитии нашей планеты: при таком содержании кислорода возможно появление организмов, потребляющих кислород из воздуха. С этого времени атмосфера начинает прогрессивно терять углекислый газ, а количество свободного кислорода растет.

Около 600 млн лет назад, на границе Кембрия и Докембрия, количество свободного кислорода в атмосфере достигло 1 % («первая точка Пастера»). На этом этапе происходит как бы «принудительное» превращение анаэробных организмов в аэробные. Особенности же кальциево-углеродного обмена привели к тому, что появились организмы с твердыми известковыми скелетами и раковинами, которые, в свою очередь, оказали большое влияние на развитие биосферы и на климат. Избыток ионов кальция привел к усилению извлечения углекислого газа из атмосферы.

В Протерозое, от 2,6 млрд до 600 млн лет назад, климат на Земле отличался непостоянством. Неоднократно температура Земли

понижалась настолько, что в полярных районах возникали мощные ледниковые покровы. И это при высоком парниковом эффекте – содержание углекислого газа в атмосфере составляло 2–5 % (в 50–130 раз больше современного). Следовательно, оледенения могли возникать только за счет перемещения континентальных плит в полярные области Земли. Одно из первых и самое мощное оледенение произошло около 2,5 млрд лет назад. Следы его найдены в Канаде, Карелии, Южной Америке, Южной Африке, Индии, Австралии. Последнее протерозойское оледенение произошло 650–700 млн лет назад.

В остальные эпохи Протерозоя климат на Земле был теплее современного. По карбонатным отложениям синезеленых водорослей определили, что температура морской воды была тогда +35 ... +40 °С.

Восстановление климатов давно прошедших эпох производится с учетом *принципа актуализма* (Ч. Лайель). Согласно этому принципу, факторы, действующие в настоящее время, точно так же действовали и в прошлом. Так, соли, гипсы, ангидриты накапливаются в условиях жаркого и сухого климата, а каменные угли и каолины – жаркого и влажного.

Следовательно, минеральный состав осадочных образований уже дает какие-то сведения, помогающие восстановить климатические условия прошлого. Еще в большей степени условия климата влияют на растительность. Тут также применим принцип актуализма. Если мы находим в слоях каменного угля остатки хвощей, плаунов и папоротников, то можем с уверенностью говорить о влажном и жарком климате того периода, когда образовался уголь. Но хорошо сохранившиеся отпечатки ископаемых растений встречаются редко. И палеоклиматологам, и палеонтологам очень помогает то, что семена, споры и пыльца древних растений хорошо сохраняются в осадочных породах и имеют высокую видовую специфичность (т. е. легко определяются). По ним довольно просто восстановить тип растительного покрова той или иной эпохи, а вместе с тем и климат.

При реконструкции климата помогают и сведения о видовом составе и распространении морских и сухопутных животных. Жизнь многих из них, особенно теплолюбивых морских живот-

ных (губки, кораллы, моллюски и др.) протекает в довольно узких диапазонах температуры и солености. Соотношение изотопов магния и кальция в раковинах моллюсков и в скелетах кораллов позволяет установить абсолютные значения температур воды в древних океанах.

Последний, протяженностью в 570 млн лет зон геологической истории, называется Фанерозой. На его протяжении климат существенно менялся. В начале Кембрия континентальные плиты были максимально раздвинуты и начался процесс их обратного движения. Видимо, при этих передвижениях какая-то плита «наехала» на один из полюсов (а может, и две плиты на оба полюса), что вызвало оледенение в конце следующего периода, Ордовика (450–435 млн лет назад). Затем продолжалось сближение плит, они «ушли» с полюсов и наступило время потепления (Силур и Девон). К началу Карбона все литосферные плиты слились в единый материк Пангею (рис. 22). В начале этого периода средняя температура Земли была +24 °С, а к концу его упала до +16 °С. Это было вызвано интенсивным ростом растительности, пожалуй, самым большим за всю историю Земли. Этот рост был вызван жарким и влажным климатом в сочетании с большим количеством углекислого газа в атмосфере (0,4 %, в десять раз больше современного). Но на Земле практически не было растительноядных животных. Из насекомых были только стрекозы (хищники), тараканы (сапрофаги) и поденки (взрослые вообще не питаются, а личинки живут в воде), а из позвоночных – земноводные, все хищники. И огромная биомасса растений «съела» большую часть углекислого газа атмосферы, что вызвало резкое снижение парникового эффекта. При этом еще и южная часть Пангеи «наехала» на южный полюс. Началось похолодание, вблизи южного полюса произошло вымораживание влаги из воздуха и образование полярной ледниковой шапки, что вызвало в тропическом поясе резкую аридизацию климата.

На грани Карбона и Перми произошел раскол Пангеи на два суперконтинента: южный, Гондвану, и северный, Лавразию. Находящееся между ними водное пространство получило название моря (океана) Тетис (рис. 23).

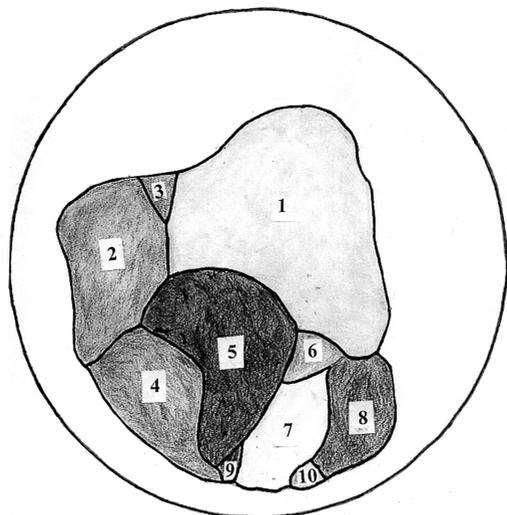


Рис. 22. Пангея континентальной плиты: 1 – Евразия; 2 – Северная Америка; 3 – Гренландия; 4 – Южная Америка; 5 – Африка; 6 – Индостан; 7 – Антарктида; 8 – Австралия; 9 – Мадагаскар; 10 – Новая Зеландия

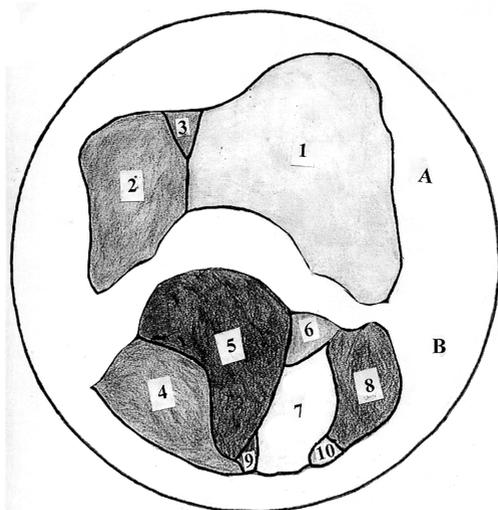


Рис. 23. Раскол Пангеи: 1 – Евразия; 2 – Северная Америка; 3 – Гренландия; 4 – Южная Америка; 5 – Африка; 6 – Индия; 7 – Антарктида; 8 – Австралия; 9 – Мадагаскар; 10 – Новая Зеландия

На всех южных материках и в Индии (все они происходят из частей Гондваны) обнаружены остатки большого оледенения, которое было в Пермском периоде (280–230 млн лет назад). Хорошо сохранились горизонты древних ледниковых морен – скопления валунов, гравия, песка, глины, перемещаемых ледником или отложенных при его таянии. Мощность этого слоя более 500 м, залегает он в одних и тех же геологических толщах и имеет один и тот же возраст на всех южных материках. Оледенение, конечно, не могло бы наступить в холодной Антарктиде и в жаркой Африке одновременно, если бы они занимали современное положение. Только при условии существования Гондваны, часть которой располагалась в холодном поясе, можно представить себе глобальный характер оледенения.

Предполагают, что к началу этого оледенения Гондвана представляла из себя платформу площадью в 75 млн км². В центре этой платформы возвышался гигантский купол высотой около 1 км, местами до 3 км. Он занимал почти половину континента. По краям этого купола лежали обширные низменности, частично занятые мелководными морями и солеными болотами. Мощное покровное оледенение занимало почти треть платформы в ее южной части. Центром оледенения была современная Восточная Антарктида. Отсюда и растекался на многие тысячи километров ледовый щит.

Только срединное между Африкой и Австралией положение Антарктиды в реконструкции Гондваны позволяет представить картину Пермского оледенения. Если предположить, что материки располагались тогда так же, как сейчас, то оледенение Африки должно было прийти с Индийского океана, что невозможно, так как ледовые щиты образуются только на континентах.

Сухой климат Пермского периода подтверждается резким сокращением обилия папоротников, хвощей и плаунов, для размножения которых постоянно требуется вода, и развитием большого количества голосеменных, для размножения которых вода не требуется. Также резко сократилось обилие амфибий, но повсеместно стали распространяться рептилии, более засухоустойчивые и холодоустойчивые. В целом произошедшее на грани Карбона и Перми резкое изменение климата и такая же резкая смена биот являются

ни чем иным, как экологическим кризисом, вероятно, самым большим в истории Земли.

Позднепермская флора характеризуется обилием глоссоптеридий, древесных и кустарниковых голосеменных растений, имевших ланцетовидные, языковидные, реже перистые листья с сетчатым жилкованием. Ископаемая флора глоссоптеридий всех южных материков, включая Антарктиду, удивительно сходна между собой. В то же время глоссоптеридиевая флора северных материков намного беднее и состоит совсем из других видов. Семена глоссоптеридий, найденные в пермских углях, позволяют предположить, что они не могли разноситься по воздуху и вряд ли выдерживали длительное пребывание в соленой воде. Следовательно, море Тетис было для них непреодолимой преградой, и северная и южная глоссоптеридиевые флоры развивались совершенно самостоятельно.

То же можно сказать и на примере древних териоморф (группа со смешанными признаками амфибий, рептилий и млекопитающих) листрозавров. Их остатки найдены в Антарктиде, в Индии, но больше всего их в Южной Африке. Это были водные животные (глаза и ноздри находились на одном уровне на возвышениях, как у крокодилов), размером со среднюю собаку. Поскольку вместе с ними находят большое количество остатков чисто сухопутных животных, они жили в небольших пресноводных водоемах. На северных материках их остатки не найдены, следовательно, листрозавры тоже не могли преодолеть море Тетис. Находки субтропических по своим потребностям к климату рептилий и голосеменных растений в Антарктиде свидетельствуют, что к концу Перми Гондвана сместилась с полюса, и климат ее значительно потеплел.

В Триасе расхождение Гондваны и Лавразии завершилось, а на грани Триаса и Юры произошел раскол Гондваны на два материковых блока: Афро – южноамериканский и Австрало – антарктический, и два меньших фрагмента – Мадагаскар и Индостан. Начался дрейф Афро – южноамериканского материка и обоих малых фрагментов к северу, что вызвало еще большее потепление климата как за счет дальнейшего отхода континентальных плит от южного полюса, так и за счет новых поступлений в атмосферу углекислого газа при рифтовых разломах (рис. 24). Климат был по-прежнему

сухой, растительности было мало и утилизация углекислого газа шла плохо.

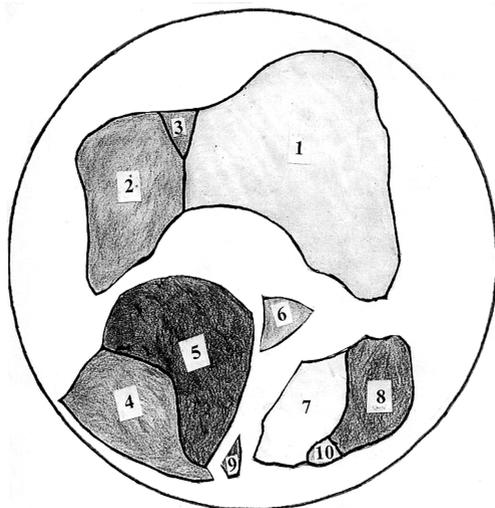


Рис. 24. Первый раскол Гондваны: 1 – Евразия; 2 – Северная Америка; 3 – Гренландия; 4 – Южная Америка; 5 – Африка; 6 – Индостан; 7 – Антарктида; 8 – Австралия; 9 – Мадагаскар; 10 – Новая Зеландия

На границе Юры и Мела (135–140 млн лет назад) произошел раскол Афро – южноамериканского материка на две плиты, и начался их медленный дрейф от хребта на оси разрастания дна Южной Атлантики. Продолжался отход на север Индостана, откололась от Австрало-антарктического материка Новая Зеландия. Активное разрастание дна в Индийском океане препятствовало дрейфу Африки на восток и отходу от нее Мадагаскара. Южная Америка дрейфовала на запад. Несколько позднее, уже в Меловом и Палеогеновом периодах, раскололся Австрало-антарктический материк и произошел раскол Лавразии (рис. 25).

Повышение содержания углекислого газа в атмосфере в Юрском и Меловом периодах (0,15–0,3 %, в 4–8 раз больше современного) привело к повышению парникового эффекта. В Мелу началось активное развитие цветковых растений, увеличение общей

массы растительности и некоторое снижение парникового эффекта. Но в целом в Мелу климат на Земле был очень теплый, поясов с отрицательными температурами не отмечалось. Некоторое похолодание на грани Мела и Палеогена не сопровождалось оледенениями: в это время мы находим по всей Земле остатки магнолий, пальм, гинкго, секвой, южных буков, вечнозеленых дубов, древовидных папоротников, саговников и другие тропические и субтропические виды.

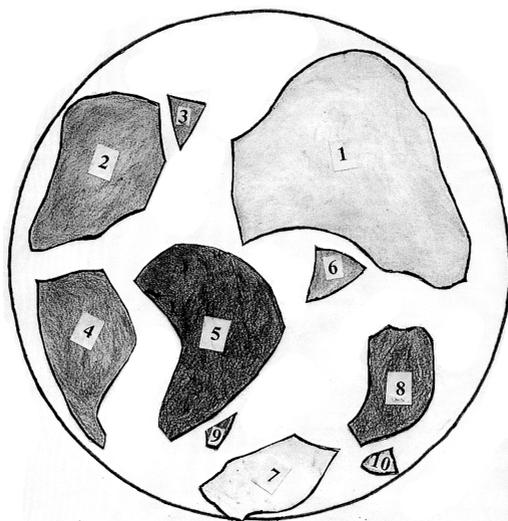


Рис. 25. Второй раскол Гондваны: 1 – Евразия; 2 – Северная Америка; 3 – Гренландия; 4 – Южная Америка; 5 – Африка; 6 – Индостан; 7 – Антарктида; 8 – Австралия; 9 – Мадагаскар; 10 – Новая Зеландия

На границе Мела и Палеогена Индия подошла к южному краю Лавразии. Это привело к поднятию края плиты и образованию Гималаев. В целом на Земле в это время преобладал теплый климат с достаточным увлажнением, на протяжении почти всего Палеогена большие территории были покрыты лесами. В Неогене наступает некоторое похолодание и сухость. Это вызвано продолжающимся дрейфом Антарктиды к южному полюсу и уменьшением количес-

тва углекислого газа как из-за мощного развития растительности, так и из-за ослабления вулканизма.

Палеогеновые теплолюбивые флоры и фауны были распространены и в приполярных областях. На о. Элсмир (Канадский архипелаг) найдены остатки аллигаторов, черепах и огромных носорогообразных копытных, бронтозавров. На Шпицбергене и Новой Земле найдена пыльца и отпечатки листьев пальм, вечнозеленых дубов и магнолий. Особенно поражает и до сих пор остается неразгаданным, как могли теплолюбивые растения расти за полярным кругом. Конечно, было очень тепло, но ведь Солнце в высоких широтах, как и сейчас, на долгие месяцы скрывается за горизонтом. Наступала теплая арктическая ночь. Пальмы, секвойи, древовидные папоротники по несколько месяцев стояли в полной темноте без фотосинтеза, но, поскольку было тепло, энергия на дыхание тратилась (!). Перемещение полюсов по поверхности Земли могло бы объяснить это явление, но при условии, что где-то на Земле должны были быть холодные области, но их не было.

Неогеновое похолодание наступает около 20 млн лет назад. Антарктида опять «наезжает» на южный полюс. К этому времени температура воды у ее берегов падает с +10... +12 °С до +7... +8 °С, а на берегах исчезают субтропические леса из южного бука, араукарий и саговников. В течение 10 млн лет ледники постепенно покрывали всю восточную Антарктиду, а поскольку похолодание у одного полюса усиливает атмосферную циркуляцию, то наступило похолодание и в северном полушарии. Около 4–5 млн лет назад покрылись ледниками Исландия, Скандинавия и Гренландия, а около 2 млн лет назад появился ледовый покров на Северном Ледовитом океане. Общее возрастание сухости климата в Неогене подтверждается находками в этот период множества остатков степных копытных и хоботных животных и степных травянистых растений. Кроме общего похолодания, причиной появления обширных территорий с сухим климатом были также процессы горообразования в основном в северном полушарии.

Субдукция дна Тихого океана под североамериканскую и южноамериканскую континентальные плиты привела к возникновению горной цепи Кордильеры – Анды, Панамского перешейка и около

5–10 млн лет назад крупного плато к востоку от Кордильер. Примерно в это же время шло и поднятие Тибета. Первоначально на этом месте находилось море Тетис, затем образовалась низменная суша, покрытая тропическими лесами. Но под напором индостанской плиты, поднимавшей Гималаи, за ними поднималось плато, тропические леса сменялись листопадными, затем степями, сухими степями и пустынями.

Система горных хребтов и плато северного полушария оказала сильное влияние на климат, так как изменила направление атмосферных течений и перенос ими крупных воздушных масс. На наветренных сторонах хребтов часто идут дожди и снега, развивается обильная влаголюбивая растительность. На подветренных – в «дождевой тени» – сухие степи, полупустыни и пустыни.

В начале Неогена произошла первая смычка материков Евразии и Северной Америки в районе современного Берингова моря (Берингия), затем она происходила еще дважды: в конце Неогена и в Плейстоцене. Первая Берингия возникла в тот период, когда в этих широтах преобладала субтропическая лесная и степная растительность. В это время происходил обмен фауной и флорой между Евразией и Северной Америкой. Длительная эволюция в изоляции биот степей и субтропиков Евразии и Америки привела к сильному различию их современных фаун и флор. Второй подъем Берингии произошел, когда здесь были развиты таежные формации, отчего фауна и флора тайги Евразии и Северной Америки имеют больше общих черт, чем степные и лесные широколиственные флоры и фауны. Последний мост возник в эпоху развития тундровых формаций, поэтому биоты тундр Северной Америки и Евразии практически не различаются. Изоляция их наступила недавно, и эволюция еще не успела «развести» недавних потомков общих предков.

В конце Неогена произошел последний рифтовый разлом, создавший цепь Африканских Великих озер, Красное море и Персидский залив. Тогда же произошло резкое уменьшение моря Тетис, которое превратилось в пять связанных с Мировым океаном морей (Средиземное, Эгейское, Мраморное, Черное и Азовское), и цепь бессточных водоемов (Каспий, Арал, Балхаш и ряд мелких озер).

К началу Антропогена (2–2,5 млн лет назад) все континенты и острова приняли свое современное положение. Общая климатическая характеристика Антропогена заключается в том, что особо быстро происходили смены ледниковых и межледниковых эпох. Это оказалось самым большим испытанием для всего органического мира, в том числе и для первобытных людей.

Начало Антропогена не предвещало никаких катастроф, было даже теплее, чем в настоящее время. Однако сравнительно быстро похолодало, среднегодовые температуры в высоких широтах понизились на 10–15 °С. Мощность ледового покрова постоянно нарастала. В высоких и средних широтах Евразии и Северной Америки ландшафт был примерно таким, как в современной Антарктиде. В центральной части ледникового щита среднегодовая температура была –20 ... –30 °С. Периферия ледника покрывалась лессовыми золовыми (надувными) почвами, и здесь развивалась очень своеобразная формация – тундростепь. При средней температуре января –30, а июля 0 ... –5 °С постоянно высокое атмосферное давление приводило к тому, что в летнее время возникал положительный радиационный баланс, развивалась травянистая ксерофитная и криофильная растительность, а на ее базе – огромные стада копытных и хоботных, сравнимые с населяющими современные африканские саванны (мамонтная фауна).

В тропической зоне было влажно и тепло. По обеим сторонам этой зоны в поясах высокого давления стали развиваться пустыни. В южном полушарии оледенение Антарктиды не привело к сильным изменениям климата, так как океанические воды между Антарктидой и южными частями Африки, Австралии и Южной Америки послужили «температурным буфером», сглаживающим влияние антарктического ледового щита.

Холодные ледниковые эпохи сменялись теплыми межледниковыми. Количество ледниковых и межледниковых эпох, сроки их наступления и окончания, протяженность ледников с севера на юг были различны в разных регионах Северного полушария. Если в Северной Америке наибольшее оледенение продвинулось на юг до 37° с. ш., то в Западной Европе оно дошло до 45° с. ш., в восточной Европе – до 50° с. ш., в Западной Сибири – до 61° с. ш.,

а в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке сплошного оледенения не было – лишь отдельные ледовые щиты на Алтае, Саянах и других горных массивах. В целом в период наибольшего распространения оледенения оно напоминало в северном полушарии шапку, сдвинутую набекрень.

Раньше всего началось оледенение в Западной Европе – 2,5 млн лет назад и окончилось 1540 тыс. лет назад (Дунайское оледенение). В Северной Америке, Восточной Европе и Западной Сибири еще продолжался Плиоцен, а в Западной Европе наступил Нижний Плейстоцен. Потепление длилось 520 тыс. лет и кончилось 1020 тыс. лет назад (Дунай – Гюнцкое межледниковье). Следующее оледенение – Гюнцкое – уже имело аналог в Северной Америке – Небрасское оледенение, хотя по времени они не совсем соответствовали (1020–700 тыс. лет назад в Европе, 920–750 тыс. лет назад в Северной Америке). Межледниковье Гюнц – Миндель в Европе и Афтонское в Северной Америке длилось 100 тыс. лет в Европе и 40 тыс. лет в Америке и закончилось 600 тыс. лет назад.

Далее наступает Миндельское оледенение в Европе и Канзасское в Америке, с 600 до 337,5 тыс. лет назад, но теперь оледенение наступает и в Восточной Европе (Березинское), но оно было короче Минделя и Канзаса, длилось около 100 тыс. лет и закончилось 500 тыс. лет назад. В Западной Сибири заканчивается Плиоцен, но оледенение пока не наступает, здесь длится предледниковое похолодание и заканчивается 450 тыс. лет назад. В Восточной Европе в это время происходит небольшое Беловежское потепление, длившееся около 50 тыс. лет и наступает Окское оледенение (450–250 тыс. лет назад). В Западной Сибири ему соответствует Демьяновское оледенение (450–280 тыс. лет назад). Этими оледенениями оканчивается Нижний Плейстоцен.

Средний Плейстоцен наступает на фоне повсеместного потепления: Миндель – Рисское межледниковье в Западной Европе, Ярмутское в Америке (337,5–250 тыс. лет назад). В Восточной Европе и Западной Сибири потепление наступает несколько позже – 250–210 тыс. лет назад (соответственно Лихвинское и Тобольское). После этого наступает самое холодное и самое большое по площади оледенение: Рисское в Европе и Иллинойское в Америке

(250–75 тыс. лет назад). В Восточной Европе и в Западной Сибири это оледенение началось позже (210 тыс. лет назад) и состояло из двух отдельных оледенений: Самаровского в Западной Сибири и Днепровского в Восточной Европе, далее, соответственно, Тазовское и Московское. Их разделяли межледниковья Мессовское и Одинцовское длительностью около 40 тыс. лет.

Окончание этих оледенений знаменует собой начало Верхнего Плейстоцена. Это межледниковье было значительно теплее предыдущих, но и короче их (Сангамонское в Америке и Рисс-Вюрмское в Западной Европе длились всего по 5 тыс. лет, Микулинское и Казанцевское в Восточной Европе и в Западной Сибири – 15 тыс. лет). Далее наступает последнее оледенение – наименьшее по площади и не такое холодное, как предыдущие (Висконсинское в Америке, окончилось 8 тыс. лет назад, Вюрмское в Западной Европе, окончилось 16 тыс. лет назад). В Восточной Европе и в Западной Сибири это оледенение состояло из двух отдельных: Калинское (Зыряновское) – 60–45 тыс. лет назад и Осташковское (Сартанское) – 25–10 тыс. лет назад. Их разделяло Молого-Шекснинское (Каргинское) межледниковье, самое теплое за весь Антропоген (45–25 тыс. лет назад)

Итак, Голоцен начался 8 тыс. лет назад в Америке, 16 тыс. лет назад в Западной Европе и 10 тыс. лет назад в Восточной Европе и Западной Сибири. Климатические характеристики за всю историю Земли схематично представлены на рис. 26.

Изменения климата в Неогене и Антропогене можно хорошо проследить на примере Западной Сибири. Длительное время Западная Сибирь была дном неглубокого моря, и лишь самый юг ее представлял собой пенеплен – сильно денудированные остатки палеозойских гор (Алтай возник позднее, в период Альпийского горообразования, на месте этого пенеплена). Образование суши на месте Западно-Сибирской равнины относится к концу Неогена. В это время здесь были развиты хвойно-широколиственные леса маньчжурского типа. Юг региона занимали экосистемы саванного типа. Лишь на северо-востоке Сибири формировалась тайга. Тундра как отдельный биом еще не существовала, но под пологом тайги формировались будущие тундровые ассоциации: лишайниковые под пологом сосновых лесов и моховые под пологом еловых.



Рис. 26. Климатические характеристики прошедших геологических эпох

Сравнительно небольшое Демьяновское и очень крупное Самаровское оледенения характеризовались сплошными ледовыми щитами с хорошим развитием лессовых эоловых почв по их краям и развитием тундростепных формаций. Тобольское межледниковье характеризовалось восстановлением таежных лесов и зарождением тундры. Самаровское оледенение опускалось на юг до 61° с. ш.

(на этой широте сейчас расположен Хантымансийск). Южнее находилась территория, где скапливались талые воды и образовывались озера. Тундростепь переходила в настоящие, но более холодные, чем теперь, степи. Леса сохранялись кое-где в горных долинах Алтая и Южного Урала.

Мессовское межледниковье было теплее Тобольского, и леса распространялись по большей части равнины. Мамонтовая фауна частично сохранялась в лесах, но в основном была распространена в степях на юге и в зарождающихся тундрах на севере региона.

Последующие оледенения были меньше предыдущих, а Сартанское вообще представляло собой несколько разобренных небольших ледовых щитов. Климат был более влажным, чем в Самаровское и Демьяновское оледенения, и тундростепи по периферии ледников не развивались, на севере были уже настоящие тундры, а на самом юге региона – степи.

Казанцевское и особенно Каргинское межледниковья были очень теплыми. Сильное таяние льдов привело к подъему уровня Мирового океана, и северная часть Западной Сибири была затоплена, а Таймыр стал островом. Леса доходили до нового морского берега, а к югу от современного Тобольска тянулись степи и формации саванного типа (саванноиды). Тундра практически исчезла, лишь небольшие ее участки сохранялись в горах Таймыра и Восточной Сибири.

Надо отметить, что у большинства современных ученых нет полной уверенности по поводу того, окончился ледниковый период или нет. Даже самое последнее межледниковье, Каргинское, длилось 20 тыс. лет, а со времени последнего оледенения прошло максимум 16 тыс. лет. Так что, возможно, мы живем во время очередного межледниковья.

Итак, в истории Земли происходили изменения климата различного масштаба, захватывающие периоды от нескольких миллионов до нескольких тысяч лет. Ряд ученых связывает их с факторами космического масштаба (изменения угла наклона земной оси, формы земной орбиты, светимости Солнца, прохождения через зоны повышенной радиоактивности и т. п.), однако многие астрономы и космологи подвергают сомнению сам факт подобных явлений.

В то же время геологические и геофизические процессы связаны с климатом напрямую. Влаго- и теплообмен происходят через атмосферу, гидросферу, литосферу и биосферу. При этом атмосфера ответственна за изменчивость климата в течение нескольких столетий, гидросфера – нескольких тысячелетий, а под влиянием литосферы и биосферы происходят изменения климата порядка миллионов лет.

ГЛАВА 14

Изменения климата в историческое время. Тенденции изменения климата в будущем

При отступлении на север последнего ледника в Европе, Сибири и Северной Америке леса продвигались на север, образовав подзоны тайги, смешанных и лиственных лесов. Около 6 тыс. лет назад наступил так называемый большой климатический оптимум. Среднегодовая температура в умеренных широтах поднялась, по сравнению с современной, на 2–3 градуса. Арктика освободилась от льдов. Таежная растительность проникла на север до берегов Ледовитого океана, вплоть до мыса Челюскин. Степи протянулись на север на 200–300 км севернее их современных границ. Пустыни и полупустыни северного полушария (даже Сахара) представляли из себя саванны с богатой флорой и фауной. К этому времени относится расцвет древних цивилизаций Северной Африки, Ближнего и Среднего Востока, Индии, Китая.

Около 4,5 тыс. лет назад началось похолодание, сопровождавшееся аридизацией климата. Гигантские территории опустынивались и многие древние цивилизации погибли. Необходимо, однако, отметить, что их гибель была вызвана не только изменениями климата. Выжигание степей и саванн при загонных охотах, перевыпас домашнего скота при переходе от кочевого скотоводства к оседлому, засоление почв при поливном земледелии и вырубка лесов при подсечном могли еще какое-то время преодолеваться при сохранении теплого и влажного климата, но в сочетании с похолоданием и сухостью они ускорили гибель огромного числа городов и сел, миграцию населения в другие регионы, что сопровождалось войнами, массовым истреблением людей и в итоге общим упадком и деградацией высоких культур древнейших времен – неолита и ранней бронзы.

Похолодание длилось примерно до 500 г. до н. э., после чего началось новое потепление, на которое приходится расцвет античной

цивилизации, время существования Римской империи, возникновение варварских королевств в Европе, начало и расцвет Киевской Руси, Арабский халифат, Византия, Китай эпохи Цинь и др. Период потепления закончился в XI веке н. э. и его называют малым климатическим оптимумом.

Такие периоды похолоданий и потеплений не были однородны. И если от времен большого климатического оптимума почти не осталось письменных памятников, и мы строим свои реконструкции лишь на археологических данных, то во времена малого климатического оптимума климатические аномалии уже фиксировались в анналах, хрониках, летописях и пр.

Так, в I веке н. э. температура и влажность в средних широтах были примерно на современном уровне, а в IV–V веках намного теплей. Но на этом фоне выделяются климатические катастрофы. В I веке н. э. наводнения на Тибре семь раз затопляли Рим. Необычайно суровая зима 208 г. вызвала неурожай и голод во всем Средиземноморье, захватив и Эфиопию. Зима 355 г. на юге Восточной Европы была необычайно холодна: снег выпал слоем в 3 м. В такую же холодную зиму 365 г. замерз Рейн.

На рубеже IV и V столетний, на фоне в общем-то теплого климата сильные холода вызвали замерзание Черного моря, и в Византию из Причерноморья ездили на санях.

Шесть чрезвычайно холодных лет поразили Европу в VI столетии, а лето 586 г. стояло такое холодное и дождливое, что напоминало осень. Все реки Италии вышли из берегов. Но лето в 591, 593, 594 и 598 г. было необычайно знойным, зной перешел и на начало VII века.

А в VIII веке опять отмечают жестокие зимы. В 739 г. замерз Босфор, а в Константинополе 3 месяца лежал снег. Зимой 741–742 и 763–764 гг. снова замерзло Черное море и снова установился санный путь «из варяг в греки». В конце этого века Европу поразили сильные засухи: в 761 г. в Чехии сильный зной без дождей длился 8 месяцев. Затем засухи повторились в 772 и 776 г.

В конце малого климатического оптимума сильно потеплело в Арктике. Границы плавучих льдов отступили далеко на север. К этому времени относится расцвет цивилизации норманнов («ви-

кингов»). На своих весьма утлых суденышках они плавали в Исландию, Гренландию, а на рубеже X и XI веков проникли в Северную Америку. Гренландия тогда вполне оправдывала свое имя «Зеленая страна»; как показывают археологические находки, на ее берегах пахали землю, сеяли рожь и ячмень, пасли стада.

Некоторое похолодание в XII веке сменилось коротким теплым периодом в начале XIII века. На Руси сильные засухи в 1230–1231 гг. вызвали сильный голод: почти весь Смоленск вымер. Считают, что во многом эти засухи предопределили поражения русских княжеств во время нашествия Батыя. Но зима 1241–1242 гг. была настолько холодной, что 5 апреля лед Чудского озера выдержал конные бронированные рати Ливонского ордена и новгородцев во время Ледового побоища.

Наиболее сильно изменился климат в северном полушарии в XIV веке. Этот век считают началом малого ледникового периода, который длился до начала XIX века. Гренландия и частично Исландия снова покрылись льдами, линия плавучих льдов сместилась на юг, что вызвало отрыв от метрополии и в конечном счете гибель колоний норманнов в Гренландии и Северной Америке под ударами эскимосов и индейцев. Появились ледники в Скандинавии. Сильно снизился уровень снеговой линии в Альпах и на Кавказе. В начале XIV века несколько раз замерзло Адриатическое море. Отмечалась переувлажненность, частые возвраты холодов летом. XV век считается самым холодным в этом периоде. Самый продолжительный голод на Руси в 1420–1422 гг. вызван тем, что лето в эти годы было очень коротким и хлеб на большей части страны не успевал вызреть.

XVI век был немного теплее, но в конце его и в начале XVII века наступило еще одно резкое похолодание. На 1600 год приходится максимум оледенения в Альпах. В России в 1601–1610 гг. летом отмечались необычно обильные дожди, ранние наступления морозов и глубокие снега. «Годуновский голод» в 1601 г. вызван дождливым летом, морозами в июле и в августе и установлением постоянного снегового покрова в сентябре. В 1602 г. мороз в июне погубил яровые хлеба. В 1603 г. мороз в начале лета сменился в июле жарой и засухой. В 1604 г. опять были сильные морозы в начале лета.

Наступивший XVIII век не принес заметного потепления. На его протяжении насчитывают 40 необычайно суровых зим, 10 случаев возврата холодов в начале лета, 7 случаев необычайно раннего наступления зимы и 20 очень дождливых лет.

Наиболее холодными были зимы 1708–1709 и 1739–1740 гг. В 1718 г. в России зима наступила... 8 сентября*. Но в 1745 и 1747 гг. в России отмечались очень жаркие годы с сильными засухами.

В феврале 1709 г. покрылось льдом Адриатическое море вблизи Венеции. В Италии почва промерзла на 180 см. Замерзла река Эбро в Испании, Сена, не говоря уже о Темзе. Лед на реке Маас в Голландии имел толщину 150 см. 20 января 1709 г. в Петербурге отмечена температура -40°C .

Аномальные климатические показатели сопровождалась не только неурожаями (что понятно), но и эпидемиями. Это понятно, если вспомнить работы А. Л. Чижевского, объяснявшего связь этих явлений с изменениями активности Солнца. Всего в XVIII веке совпадения аномальных климатических показателей с эпидемиями и неурожаями наблюдались в России в 1721–1724, 1732–1736, 1747–1750, 1757–1759, 1766–1767, 1780–1781 и 1785–1789 гг.

На конец XVIII – **первые годы XIX века приходится также** и наибольшее за всю историю Исландии количество недель в году с дрейфующими у ее побережья льдами.

В первой половине XIX века Россия и Западная Европе пережили 35 засух, 25 дождливых лет, 31 холодную и 11 мягких зим, 23 возврата холодов в конце весны и 21 ранний мороз осенью.

В 1802 г. весь юг России был охвачен страшной засухой, которая в следующем году охватила большую часть России и Западной Европы до Франции включительно. В Причерноморье, кроме того, отмечалось нашествие саранчи. Зима 1803–1804 гг. отличалась жестокими морозами: в Пензе зафиксирован минимум в -40°C . Летом 1804–1806 гг. шли непрерывные дожди, от России до Франции и от Греции до Дании.

Необычайно холодными были зимы 1808–1814 гг. В зиму 1808–1809 гг. лед настолько прочно сковал Ботнический залив, что во

* Все даты по новому стилю.

время русско-шведской войны русская армия перешла его по льду в двух местах: в Квакерне (самая узкая часть залива) и через Аландские острова на Стокгольм.

Лето 1812 г. в Средней России было необычайно жарким, а в ноябре ударили сильные морозы, что очень осложнило отступление наполеоновской армии из Москвы. Постоянный снеговой покров установился 6 ноября, морозы были от -20 до -30 °С. Но самая холодная зима за два столетия была в 1813–1814 гг.

После этого начался период потепления. Очень теплой была зима 1816–1817 гг., а лето 1817 было небывало засушливым. Но зима 1818–1819 гг. снова была суровой, только в Астраханской губернии погибло от морозов и глубокого снега 334 тыс. овец, 67 тыс. лошадей, 28 тыс. голов крупного рогатого скота и 3,5 тыс. верблюдов. А лето 1819 г. было столь теплым, что во многих странах Западной Европы и в западных губерниях России в ноябре вновь зацвели фруктовые деревья. Очень мягкая зима 1823–1824 гг. сменилась в России засушливым и знойным летом, а зима 1824–1825 гг. началась знаменитым Петербургским наводнением*. Наступившая после этого зима на севере России была очень мягкой, а снег выпал только 15 января (3 января по старому стилю, см. А. С. Пушкин, «Евгений Онегин», гл. V. ст. I).

Во второй половине XIX века все явственней ощущается потепление климата. С того времени до наших дней сократилась почти на 1 млн км² площадь льдов в Арктике, граница вечных снегов в Альпах повысилась почти на 1 км, площадь ледников Кавказа и Памира уменьшилась на 10 %, границы вечной мерзлоты отступили на север почти на 300 км. За это время заметно изменились сроки прилета и отлета многих птиц, некоторые относительно теплолюбивые морские животные расселились в полярных морях. Так, сельдь и морской окунь в Баренцевом море были малочисленны

* В Петербурге снесло два моста через Неву, большую часть города затопило до уровня 2-го этажа. Погибло 569 человек, полностью разрушено 462 дома, 3681 дом поврежден; погибло 3600 голов скота, на складах уничтожено 14,4 тыс. т продовольствия. Общий ущерб оценен в 20 млн рублей серебром в тогдашнем масштабе цен.

в начале XIX века, а в конце его их уже промышляли в большом количестве.

Во второй половине XIX века резко уменьшилось по сравнению с первой половиной количество необычно морозных зим, но все же, например, зима 1854–1855 гг. была так холодна, что замерзла Сена. Буря 14 ноября 1854 г. прошла от Алжира до Курска, разрушив много построек и потопив массу судов*. Холодной была и зима 1859–1860 гг., когда во время сильных метелей с морозами в Прикаспии погибло 87 тыс. голов крупного и мелкого рогатого скота, несколько тысяч лошадей и 700 верблюдов. Но гораздо холоднее была зима 1894–1895 гг., когда замерзло Азовское море и выпал снег в Каннах и в Ницце.

Запыление атмосферы в результате извержений вулканов вызывало снижение среднегодовой температуры на 1 °C в 1837 г. (извержение вулкана Тамбор; в Северной Америке в конце августа установился постоянный снежный покров) и в 1883 г. на 0,5 °C (после извержения вулкана Кракатау).

Но чаще в этот период отмечают аномально теплые годы. Сильная жара была летом 1862–1863 гг., когда от засухи погиб почти весь урожай в Центральной и Южной России. В третьей четверти века наблюдалось сильное потепление в Арктике, что позволило экспедиции А. Норденшельда на судне «Вега» пройти впервые северным морским путем (правда, с одной зимовкой). Январь 1882 г. в Петербурге имел среднюю температуру –1,4 °C. Лето 1882–1883 гг. отличалось жарой и засушливостью, а самая сильная засуха столетия была летом 1885 г. В 1897 г. рожь во многих губерниях России заколосилась 18 мая, а летом снова была засуха.

* Сильно пострадала от этой бури англо-французская эскадра, осаждавшая Севастополь и укрывшаяся в Балаклавской бухте. При этом потонул английский фрегат «Черный принц», на котором, по слухам, была привезена крупная сумма денег в золотой монете, предназначенная для выплаты жалованья английским солдатам. Водолазные экспедиции многих стран неоднократно пытались поднять этот таинственный груз, но фрегат лег на сильно илистое дно и в течение нескольких лет полностью погрузился в ил.

XX век начался сильной засухой 1901 г. Потепления были зафиксированы в 30-х и 60-х годах, а похолодания в 40-х и 50-х. Теплые 30-е годы ознаменовались интенсификацией арктических экспедиций. К этому периоду относятся экспедиции на ледоколах «Сибиряков», «Челюскин», «Литке», «Седов», высадка полярной станции на северном полюсе, трансарктические перелеты из СССР в Америку и многие другие. Очень холодной была зима 1941–1942 гг. Балтийское море сковало льдом, что почти прекратило действия как советского Балтийского флота, так и немецко-фашистского.

В 1972 г. сильная засуха и лесные пожары отмечались в восточной Европе. Горели торфяные болота в Подмосковье, в Москве с июля по сентябрь стояла дымка и ощущался запах гари. В 1972, 1975 и 1976 гг. от сильных засух страдали страны Западной и Южной Африки, Южной Америки. Летом 1980 г. в Далласе, штат Техас, США, температура длительное время держалась выше +36 °С. От перегрева погибали люди и скот, большой ущерб был нанесен посевам. Зимой 1980–1981 гг. на северо-востоке США температура падала до –45 °С. Аномально холодной была зима 1977–1978 гг. в Средней Азии, когда замерзло Каспийское море у берегов Туркмении, в частности Красноводский залив, где постоянно зимуют в огромном количестве водоплавающие птицы. В Европейской части СССР аномально холодной была зима 1978–1979 гг., в Сибири – 1968–1969 гг.

От жестокой засухи 1982 г. пострадал ряд африканских государств от Нигерии до ЮАР, в то же время в Японии шли сильные дожди, в Токио за двое суток выпало 350 мм осадков.

В течение 1980–1983 гг. стояла необычайно сильная засуха в Австралии. В январе 1983 г. в центральных и восточных штатах температура воздуха превысила норму на 12–14 градусов и достигала +42 ... +48 °С. А в апреле прошли сильнейшие дожди, вызвавшие катастрофические наводнения.

Очень сильно проявились аномальные климатические явления летом 1987 г. Сильные бури с градом прошли над Молдавией и Узбекистаном, сильные ливни в горах Азербайджана вызвали селевые потоки. В Греции в это же лето сильная жара (до +43 °С) держалась две недели, погибло 900 человек. В Иране лили сильные дожди,

погибло до тысячи человек. На Корсике в сильную засуху лесные пожары уничтожили до половины лесов острова.

В Омской области можно отметить во второй половине XX века поздние снегопады 7 июня 1961 г и 18 мая 1998 г., необычайно холодные зимы 1968–1969 и 2009–2010 гг., когда 2–3 месяца температура редко была выше -30°C . Летом 1978 г. дожди лили почти без перерыва с середины мая до середины августа. В конце апреля 1996 г. на несколько дней замерзла Птичья гавань. В конце июля – начале августа 1989 г. стояла жаркая и полностью безветренная погода. Осенью 1994 и 1997 гг. с середины сентября до конца октября стояла теплая и сухая погода. Лето 1998 г. было аномально жарким, с июня по август почти все время стояла 30-градусная жара.

Начало XXI века отметилось небольшим снижением среднегодовых температур, обильными снегопадами и ливнями. Зима 2009–2010 гг. характеризовалась обильными снегопадами (в южных широтах дождями) в Северной Америке и в Европе, включая Европейскую Россию.

Одной из наиболее серьезных проблем современности является проблема изменений климата под влиянием антропоической деятельности, в частности промышленных выбросов парниковых газов, в первую очередь углекислого газа.

На протяжении 600 млн лет количество углекислого газа в атмосфере неуклонно снижалось, от 4–5 % в Девоне и Карбоне до 0,15–0,3 % в Юре и в Меле, до 0,037 % в настоящее время (во время Ордовикского и Пермского оледенений содержание углекислого газа в атмосфере падало до 0,005 %). Но за последнее столетие содержание углекислого газа в атмосфере постоянно повышается в результате промышленных выбросов. В 1950 г. антропоический выброс углекислого газа (в пересчете на чистый углерод) составил 1,6 млрд т, а в 1980 г. уже 5,2 млрд т.

Связь изменений климата с изменениями величины парникового эффекта впервые предположил С. Аррениус в 1901 г., впоследствии эту теорию развивали В. И. Вернадский (1927), М. И. Будыко (1952) и многие другие ученые. В настоящее время процессы изменения климата и предсказание возможных его последствий изучаются межправительственной группой экспертов по изменениям

климата (МГЭИК), которая включает в свой состав сотни известных ученых из всех наиболее развитых в промышленном и научном отношении стран мира.

По наиболее распространенному сейчас мнению многих ученых, главной причиной возможных антропогенных изменений климата является накопление парниковых газов в атмосфере (углекислого газа, метана, тропосферного озона, закиси азота, фреонов, аммиака и др.). Содержание в атмосфере такого важного парникового газа, как водяной пар, еще не подвергалось значительным антропогенным изменениям в глобальном масштабе, но его количество в атмосфере сильно меняется по годам.

Могут вносить свой вклад в изменение климата и другие антропогенные эффекты: запыление атмосферы (снижает поступление солнечной радиации), изменения альбедо земной поверхности (замена лесов агроценозами повышает альбедо, а на больших площадях городов-мегаполисов альбедо снижается). Среди природных процессов, оказывающих влияние на изменения климата, заметную роль играют запыления атмосферы и повышение выбросов парниковых газов при извержениях вулканов.

Согласно данным, полученным МГЭИК в последние годы, с 1750 г. до настоящего времени количество углекислого газа в атмосфере увеличилось на 28 %, закиси азота на 13 %, метана в 2,5 раза. В 1990-е гг. в год в атмосферу в среднем выбрасывалось, в пересчете на чистый углерод, $6 \pm 0,5$ млрд т, а усиление дыхания почвенных микроорганизмов в результате распашки почв добавляло еще $1,6 \pm 1,0$ млрд т. В общем объеме промышленных выбросов углекислого газа доля США составляет 22 %, России 17 %, Китая 10 %, Германии 4,8 % и Японии 4,4 %. В целом эти пять стран дают свыше половины (58,9 %) всех выбросов углекислого газа в мире. Только половина всех выбросов углекислого газа накапливается в атмосфере. Остальной углекислый газ поглощается растениями при фотосинтезе (отмечено в последние годы возрастание продуктивности как естественной растительности, так и сельскохозяйственных культур) или переходит в Мировой океан.

Россия в 1990 г. выбрасывала в атмосферу 651 млн т углекислого газа, 27 млн т метана и 820 тыс. т закиси азота. В 1994 г., в связи

со спадом производства, выбросы составили 74 % от 1990 г., в 2000 г. – 78 %, а в 2010 г. – 85 %. Стоит отметить, что растительность и территориальные воды России ежегодно поглощают только 200 млн т углекислого газа.

За последние 200 лет среднегодовая прибавка тепла составила 0,2 %, а повышение среднегодовых температур составило в отдельные десятилетия 0,2–0,5 °С, и может к 2100 г. достичь 1–3,5 °С.

МГЭИК разработала несколько прогнозов развития климата в зависимости от антропоического воздействия, самые умеренные из них сориентированы на упорядочение выбросов и стабилизацию роста населения, а самые экстремальные – на развитие современных негативных тенденций, но любой из них предполагает продолжение роста концентрации парниковых газов в атмосфере.

В целом регионы с нестабильным содержанием влаги станут суше, в них усилится деградация земель и увеличатся потери урожая. Влажные районы еще более насытятся влагой. Увеличится частота и интенсивность тропических ураганов. Но в ряде регионов увеличится продолжительность теплого периода, что приведет к росту продуктивности сельского хозяйства за счет возделывания растений, имеющих более позднее созревание и дающих более высокие урожаи.

Снижение производства сельскохозяйственной продукции из-за изменений климата произойдет в регионах с традиционно высоким уровнем производства зерновых (Украина, Южная Россия, США, Аргентина). С другой стороны, возрастет сельскохозяйственное производство в Северной Европе (включая север России), в Северном Казахстане и Южной Сибири. Предполагается, что климатические границы сельскохозяйственных угодий в некоторых регионах сдвинутся на север на 200–300 км.

Оценки МГЭИК подтверждают, что в глобальном масштабе сельскохозяйственное производство может сохраниться на уровне, достаточном для того, чтобы удовлетворить мировую потребность в продовольствии, однако неясно, во что обойдется достижение этой цели.

Таяние полярных льдов в результате глобального потепления вызовет подъем уровня Мирового океана и затопление низ-

менных морских побережий. В наше время около 45 млн человек живут в регионах, страдающих от наводнений при штормовых нагонах воды и при цунами. При повышении уровня моря на 50 см это количество увеличится вдвое и составит 92 млн человек, а при повышении уровня моря на 1 м (такой подъем может произойти к 2100 г.) – до 118 млн человек. Наиболее пострадают жители низменных протяженных побережий в таких странах, как Нидерланды, Бангладеш, Египет (дельта Нила), острова Тихого океана и Карибского моря.

Зона вечной мерзлоты на северо-востоке Сибири сдвинется на 500–700 км к северу. При этом появятся условия для расширения земледельческой зоны, но катастрофически возрастут расходы на содержание зданий, дорог, промышленных объектов, построенных на мерзлоте с применением особых высокоспецифичных технологий. Многие из этих объектов могут просто провалиться в тающую землю. Таяние вечной мерзлоты увеличит поступление в атмосферу метана, что еще более увеличит парниковый эффект. Уже в начале 2000-х годов произошло разрушение береговой линии полярных морей там, где у берегов мерзлота протаяла; местами береговая линия отступила на 30–100 м.

Таким образом, можно сделать следующий основной вывод: исследования показали важное значение проблемы изменения климата для будущего развития человечества и экономики и определили основные направления и области опасных изменений и ущерба. Все это требует координированных международных действий.

Вместе с тем большое значение имеет изучение процессов адаптации различных компонентов биосферы к изменяющимся климатическим условиям. Следует помнить, что в прошлые геологические эпохи биосфера хорошо адаптировалась к постепенным изменениям климата и успешно переживала экологические кризисы, возникавшие при резких сменах климата.

Чисто природная адаптация, нерегулируемая человеком, происходит в естественных экосистемах. Она выражается в изменениях видового состава и количественных показателей населения различных видов в тех или иных экосистемах, в изменении конфигурации природных зон, перемещении их границ, изменениях

стока рек и уровня Мирового океана, перераспределении при этом зон разного уровня биологической продуктивности, изменениях процессов почвообразования и пр.

Но человек может стимулировать или усиливать процессы адаптации, широко используя полученные знания об изменениях климата и его последствиях. В этом плане важно производить работы по сохранению особо охраняемых природных территорий, максимально возможного сохранения уникального генофонда Земли, сохранения и приумножения водных ресурсов, переориентации сельскохозяйственного производства на новые культуры и на новые территории, сохранения и приумножения лесов путем искусственного лесоразведения в зонах, аридность климата в которых уменьшится.

Наконец, следует применять и технические меры, социальные решения. Они наиболее эффективны в энергетике, промышленности, транспорте и строительстве, а также в здравоохранении и коммунальном хозяйстве. Здесь имеется в виду переход на альтернативные источники энергии, снижение загрязнений внешней среды, разумная демографическая политика и пр.

Такие отрасли хозяйства, как сельское, лесное, морские промыслы будут использовать все три группы адаптаций (естественные, стимулированные человеком и технические). Необходимо также иметь систему контроля, предупреждения и действий в чрезвычайных ситуациях в планетарном масштабе.

Протокол по защите климата, подписанный в Киото в 1997 г. определил поворотную точку в долгосрочных усилиях, предпринимаемых в защиту человечества от климатических перемен. Однако этот документ носит рамочный (рекомендательный) характер. Он лишь ставит задачи, определяет временные графики, предлагает ввести обязательную отчетность и торговые механизмы, которые могут быть приняты во избежание дальнейших изменений климата. Основную ответственность за принятие конкретных решений, которые позволили бы на практике достичь поставленных целей, этот документ возлагает на национальные правительства. Успех будет зависеть в огромной степени от усилий, предпринимаемых конкретными странами для снижения выброса парниковых газов.

Кстати, США. «автор» наибольшего количества выбрасываемых парниковых газов, вышли из Киотского протокола в 2003 г., мотивируя это тем, что он «противоречит экономическим интересам США». Россия ратифицировала этот протокол 22 октября 2004 г.

Следующей попыткой ограничить выбросы парниковых газов стало Парижское соглашение по климату 2016 г. Но не успели еще, как говорится, «высохнуть чернила» подписей ведущих мировых лидеров под этим соглашением, как США вышли из него (менее чем через год).

Отмечено, что быстрее всего к заметным результатам приводит отмена государственных субсидий для тепловой энергетики и, наоборот, финансовые льготы для использования альтернативных и комбинированных источников энергии. Наиболее действенные программы в этом плане предложены правительствами Дании, Нидерландов и Германии. В Германии уже ясно видны результаты: снижение выбросов с 1989 по 1996 г. составило 5 % и тенденция эта стойкая. В Дании, Нидерландах, Финляндии, Норвегии и Швеции установлен налог на углеродные энергоносители, этот налог не распространяется на возобновляемые виды энергии. Дания и Нидерланды ежегодно снижают выбросы на 2 %. В Великобритании субсидии угольной отрасли, составлявшие в 1989 г. 7 млрд фунтов, в 1995 г. отменены. В Китае с 1994 по 1999 г. субсидии угольной промышленности сокращены с \$24 млрд до \$10 млрд, произошло сокращение выбросов на 20 %. Отменены субсидии в Бразилии, в России они сокращены на 23 %, в странах Восточной Европы – в среднем на 19 %, в Индии – на 15 %, в Мексике – на 12 %.

В США очень низкие налоги на энергоносители так и не были увеличены. Что касается стандартов повышения экономичности автомобилей, то их фактически игнорируют (у автомобилей европейского и японского производства 1 л бензина тратится в среднем на 10 км пути, у американских – на 7 км). Льготы на развитие возобновляемых источников энергии слишком незначительны, чтобы покрыть негативные последствия реконструкции коммунальных энергетических служб. Промышленные программы, принятые в добровольном порядке, оказались неэффективными. Но в США существуют, пожалуй, самые жесткие в мире требования

к экономической эффективности бытовых приборов, кроме того, в ряде штатов местные власти разрабатывают свои программы поддержки возобновляемых источников энергии (в частности, в южных и юго-западных штатах – солнечной энергии, в центральных – ветровой, и т. д.). И тем не менее усилия, предпринимаемые в США для снижения промышленных выбросов в 1990-е гг., значительно ослабли по сравнению с 1980-ми.

В целом в промышленно развитых странах наметился некоторый положительный сдвиг в сторону снижения выбросов, но целый ряд развивающихся стран в последние годы увеличил выбросы на 125–150 %.

Существуют механизмы, несколько сглаживающие влияние парникового эффекта. Это прежде всего термостабилизирующее влияние Мирового океана. Он поглощает большое количество углекислого газа и переводит его в углекислый кальций (известь), который скапливается в донных отложениях. Кроме того, большая теплоемкость и тепловая инерция воды также не способствуют быстрому потеплению климата. Нивелирует парниковый эффект и индустриальное запыление атмосферы. Некоторые специалисты даже считают, что в скором времени снижение солнечной радиации из-за запыления полностью нейтрализует парниковый эффект, и можно будет говорить об индустриальном понижении температуры Земли.

Следует сказать, что далеко не все ученые – климатологи, геофизики и экологи – связывают потепление конца XX века с нарастанием парникового эффекта. В истории Земли, как мы видели, были периоды и более теплого, и более холодного климата, притом что антропоическая деятельность или вообще отсутствовала, или была неизмеримо меньше, чем в наше время, поэтому ряд ученых предпочитает говорить не об изменениях климата, а об его колебаниях.

Оригинальную теорию парникового эффекта выдвинули О. Г. Сорохтин и С. А. Ушаков. Согласно этой теории величина парникового эффекта зависит не от газового состава атмосферы, а от величины атмосферного давления при повышении массы атмосферы. Масса газов, выбрасываемых при сгорании ископаемого топлива, по сравнению с массой атмосферы, невелика. Даже при удвоении количества углекислого газа в промышленных выбро-

сах, которое ожидается к 2100 г., атмосферное давление увеличится всего на 0,146 миллибар, что вызовет увеличение среднегодовой температуры на 0,01 °С.

Если же окажется, что повышение среднегодовой температуры все же имеет место, то причину надо искать в другом: в увеличении солнечной активности или, что более вероятно, в изменении циркуляции океанических течений. Но вот интересные факты: изучение содержания углекислого газа в воздушных пузырьках ископаемого льда в Антарктиде показало, что в межледниковые потепления содержание углекислого газа в атмосфере повышалось почти в два раза по сравнению с эпохами оледенений.

О. Г. Сорохтин и С. А. Ушаков считают, что в данном случае перепутаны причина и следствие. Не повышение концентрации углекислого газа вызывает потепление, а потепление вызывает увеличение концентрации углекислого газа.

Согласно закону Генри (при нормальном атмосферном давлении и постоянной температуре растворимость газа в жидкости прямо пропорционально парциальному давлению газа над раствором), имеется динамическое равновесие между парциальным давлением газа в атмосфере и его содержанием в гидросфере. А в гидросфере углекислого газа содержится в 60 раз больше, чем в атмосфере. При похолодании климата (и, соответственно, снижении температуры Мирового океана) растворимость углекислого газа повышается и его в атмосфере становится меньше. При потеплении климата растворимость углекислого газа снижается, и он снова начинает поступать в атмосферу.

Так, в Меловом периоде температура Мирового океана была на 15° выше современной, и парциальное давление углекислого газа превысило современное в два раза, но это было не причиной потепления, а его следствием, а причиной был дрейф континентов, которые располагались в низких широтах, и теплые течения проникали далеко на север. В результате среднегодовая температура на Земле была на 2,5–3 °С выше современной, а сам климат был более ровным, без четкой широтной зональности и без полярных льдов.

Другая теория изменений климата (Х. Абусаматов) придает основное значение изменениям активности Солнца. Анализ ее

изменений за последние 300 лет показывает, что наиболее холодные годы за это время приходится на минимум солнечной активности, а наиболее теплые – на максимумы. Имея в виду, что длительные циклы солнечной активности (столетние, трехсотлетние и тысячелетние) довольно четко совпадают с такой же длины изменениями климата, автор делает вывод о скором прекращении периода потепления XIX–XX веков и наступления очередного периода длительного похолодания и не связывает эти потепления-похолодания с изменениями концентрации парниковых газов.

Н. Н. Моисеев указывает, что человек появился на Земле в эпоху умирания биосферы. Снижение вулканической деятельности снижало поступление углекислого газа в атмосферу, а при биогенном круговороте какая-то часть углерода все время выводится из активного обмена и захороняется в виде гумуса, торфа и т. п. Человек, сжигая ископаемое топливо, расконсервировал часть этих захоронений углерода, следовательно, в какой-то мере оказал положительное влияние на биосферу.

ГЛАВА 15

Периодический закон географической зональности

Географическую зональность люди наблюдали еще с античных времен, когда начали совершать далекие путешествия за пределы Ойкумены – довольно хорошо известной им ограниченной области обитания «цивилизованного» человечества.

Первую попытку связать географическую зональность с геофизическими и астрономическими факторами сделал греческий астроном и географ Гиппарх из Никеи (II век до н. э.). Он ввел понятие «климат», но не в современном смысле этого слова, а как пояса земного шара, в котором наклон лучей Солнца примерно одинаков на всем протяжении данного пояса.

Впоследствии учение о «климатах» (а точнее, о географических зонах) развили арабские географы в VIII–XI веках н. э. Они выделили семь «климатов», что примерно соответствовало тропическим лесам, саваннам, пустыням, субтропикам, степям, лесам умеренного пояса и холодным приполярным районам.

Много сделал для развития учения о географических зонах немецкий ученый А. Гумбольдт (начало XIX века), приняв за основу для выделения природной зоны характер растительного покрова.

Приближенное к современному понятие о природных зонах на рубеже XIX и XX веков приводит В. В. Докучаев. Он обратил внимание на то, что в пределах обширных территорий (географических зон) природные условия сохраняют многие общие черты, заметно меняясь от зоны к зоне. Он отметил, что под влиянием шарообразности Земли «климат, растения и животные распределяются на земной поверхности по направлению с севера на юг в строго определенном порядке». А раз агенты-почвообразователи в своем распространении подчинены известным законам и распределяются по поясам, то и их

результат – почва – должна распределяться по земному шару в виде определенных зон, идущих более или менее (лишь с некоторыми отклонениями) параллельно широтным кругам.

В. В. Докучаев выделил следующие главные природные зоны: бореальную (тундровую), северную лесную, лесостепную, степную, сухих степей, пустынь и латеритную зону. За основу зонирования им взят тип почвы. Система В. В. Докучаева детально рассматривает степную и пустынную области, но мало дифференцирует умеренную лесную зону и совсем схематично дает тропическую область.

А. А. Григорьев уже в XX веке выделил четыре типа географической среды, относящиеся к разным широтным поясам, в основу деления им были положены особенности климата.

Первый пояс – экваториальный, в котором в течение всего года наблюдается положительный радиационный баланс системы «земля – атмосфера», высокие температуры воздуха и обилие выпадающих осадков. Для этого пояса характерны развитие дождевых тропических лесов, высокий коэффициент стока, интенсивная эрозия.

Второй пояс – тропический, расположен в широтах, где при высоком положении Солнца летом высота его в зимние месяцы заметно понижается, что создает отчетливый годовой ход температуры воздуха. В этом поясе, как и в предыдущем, радиационный баланс системы «земля – атмосфера» положительный. Количество осадков в тропическом поясе изменяется в широких пределах, что способствует формированию трех различных зон.

Во внешнетропической зоне сумма осадков мала, в связи с чем здесь размещены пустыни и полупустыни со скудной ксероморфной растительностью, ничтожным коэффициентом стока, интенсивным физическим выветриванием. В приэкваториальной зоне, примыкающей к экваториальному поясу, природные условия в летнее время сходны с условиями экваториального пояса, а в зимнее время они приближаются к условиям внешнетропической зоны. В соответствии с этим для указанной зоны характерно резкое изменение условий увлажнения в течение года, причем в ряде районов в середине летнего полугодия наблюдается второй, менее выраженный, сухой сезон.

Растительный покров приэкваториальной зоны разнообразен, в его состав входят листопадные тропические леса и саванны,

включающие как вечнозеленые, так и листопадные породы деревьев. Речной сток в приэкваториальной зоне в течение года изменяется в соответствии с изменениями количества осадков, процесс выветривания имеет сезонный характер, причем в дождливые сезоны главную роль играет химическое выветривание, а в сухие сезоны – физическое.

Третья зона – промежуточная, характеризуется преобладанием в течение года засушливых условий со сравнительно коротким влажным периодом, когда выпадает ограниченное количество осадков. Эта зона в ряде отношений сходна с внешнетропической, хотя условия для развития растительности здесь значительно более благоприятны.

Третий широтный пояс включает умеренные и субтропические широты, где годовые величины радиационного баланса системы «земля – атмосфера» отрицательны, но температура воздуха в наиболее теплые месяцы не опускается ниже +5 °С. Количество осадков, выпадающих в этом широтном поясе, из-за различий условий атмосферной циркуляции изменяется от очень значительных до близких к нулю величин. Этот пояс делится на субарктику и пояс умеренных широт, состоящий из нескольких зон.

Разнообразие сочетаний режимов тепла и влажности в этом широтном поясе соответствует различным типам растительного покрова: тундре, лесотундре, хвойным, смешанным и лиственным лесам, лесостепи, степи, полупустыне, пустыне, субтропикам. Величина коэффициента стока, в зависимости от условий увлажнения, изменяется от значений, близких к единице, до нуля. Процесс выветривания в течение года сильно изменяется под влиянием годового хода температуры.

Четвертый пояс суши северного полушария – арктический, расположен в высоких широтах, где в течение всего года преобладают низкие температуры. В этой зоне скудная растительность встречается только в периферийных районах, окружающих область постоянного снега и льда, ледяную пустыню. На пространствах, свободных от снега и льда, преобладают условия избыточного увлажнения с высоким коэффициентом стока, радиационный баланс системы «земля – атмосфера» здесь отрицательный.

Система А. А. Григорьева детально разрабатывает зонирование экваториального и тропического поясов земного шара, но умеренный широтный пояс выглядит несколько громоздко, соединяя в себе очень разнообразные природные комплексы – от тундры до субтропиков.

Ряд ученых, начиная с В. В. Докучаева, пытались разработать соотношения различных климатических индексов, при помощи которых можно было бы охарактеризовать отдельные географические зоны именно в экологическом плане: с точки зрения существования в них тех или иных экосистем. Одной из наиболее простых и наглядных может быть названа схема Р. Уиттеккера (рис. 27). Простота и наглядность этой схемы связаны с тем, что она использует только два легко получаемых показателя: среднегодовую температуру и среднегодовую сумму осадков. Однако для точных расчетов экологических закономерностей тех или иных регионов земного шара она малоприменима именно в силу своей простоты.

Более сложна схема Э. Холдриджа. Она учитывает среднегодовые температуры, среднегодовое количество осадков, а также отношение испаряемости к осадкам. На этом основании выделяются шесть температурных поясов (полярный, субполярный,бореальный, умеренный, субтропический и тропический) и восемь провинций влажности (супераридная, пераридная, аридная, семиаридная, семигумидная, гумидная, пергумидная и супергумидная) (рис. 28).

Недостаток схемы Э. Холдриджа в ее некоторой искусственности. Так, все температурные пояса выделены на основании удвоения среднегодовых температур, а провинции влажности – также на основании удвоения отношения испаряемости к осадкам и среднегодовых сумм осадков. Получается некое идеальное соотношение разных типов экосистем, не вполне отвечающее реальности.

Простой и четкий способ установления географической зональности предложили российские ученые А. А. Григорьев и М. И. Будыко. За основу ими взяты два показателя: годовой радиационный баланс (R) и радиационный индекс сухости (отношение радиационного баланса к произведению скрытой теплоты испарения на сумму осадков, R/Lr).

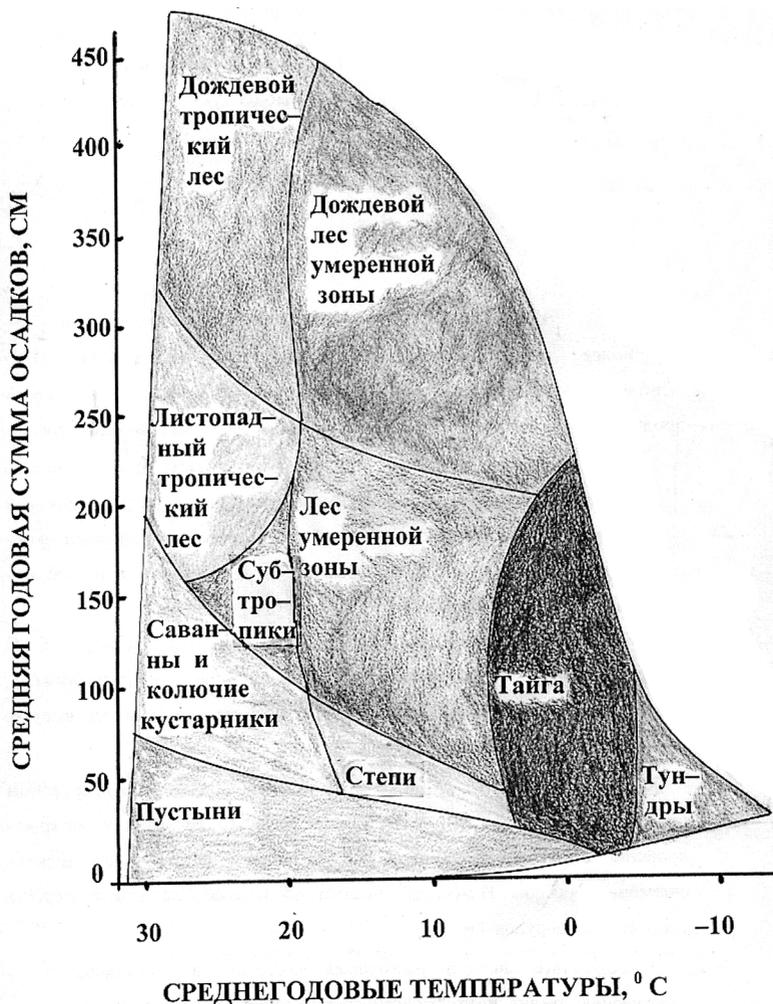


Рис. 27. Классификация экосистем по Р. Уиттеккру (из Рифлекса, 1979)

Радиационный баланс в условиях суши может принимать значения от 100 ккал (419 кдж)/см² в год до отрицательных показателей. Радиационный индекс сухости теоретически может принимать значения от нуля до бесконечности. В реальных условиях Земли он укладывается в параметры от 0 до 4, но в некоторых случаях может быть ниже 0.

При нанесении на карту мира изолиний индекса сухости видно, что на каждом континенте наблюдается сильная его изменчивость. Наиболее влажные условия, соответствующие наименьшей величине индекса сухости, отмечаются главным образом в высоких широтах, где испаряемость очень мала. Наибольшие его величины относятся к условиям полупустынь и пустынь.

Сравнивая карту индекса сухости с геоботаническими и почвенными картами, мы видим, что расположение изолиний индекса сухости хорошо согласуется с размещением основных природных зон. Наименьшая величина индекса сухости соответствует тундре (до 0,3), от 0,3 до 1,0 – леса разных типов, от 1,0 до 2,0 – степи и саванны, от 2,0 до 3,0 – полупустыни, свыше 3,0 – пустыни.

Таким образом, радиационный индекс сухости, определяющий относительное значение теплового и водного баланса, хорошо согласуется с расположением основных природных зон. При этом очевидно, что на разных широтах в пределах одних и тех же значений индекса сухости наблюдаются существенно различные условия развития природных процессов. Эти различия связаны с тем, что энергетическая база природных процессов, которую можно охарактеризовать величиной радиационного баланса, на различных широтах неодинакова.

Следовательно, если для характеристики общих зональных условий природных процессов достаточно использовать один параметр – индекс сухости, определяющий относительные величины теплового и водного балансов, то для характеристики абсолютных значений активности природных процессов необходимо использовать два параметра: кроме индекса сухости еще и значение радиационного баланса.

Связь геоботанических условий с указанными параметрами можно изобразить в виде графика, на оси абсцисс которого отложены значения радиационного индекса сухости, а на оси ординат – значения радиационного баланса. Кривая на графике ограничивает

область реально встречающихся на Земле значений данных параметров, в пределах которых соотношения параметров, изображенные вертикальными и горизонтальными линиями, разграничивают основные геоботанические зоны (рис. 29).

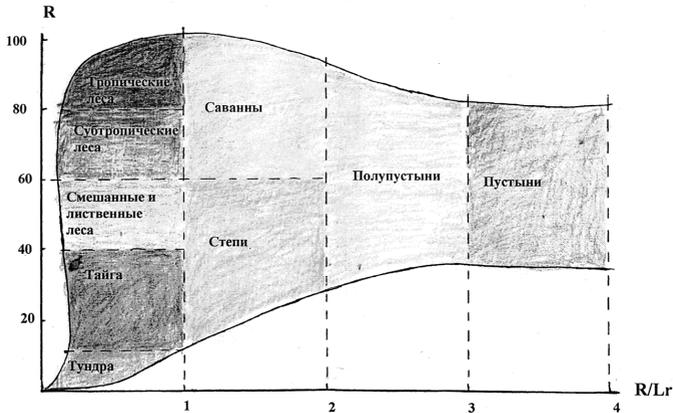


Рис. 29. Периодический закон географической зональности.
Природные зоны. R – радиационный баланс, ккал/см² в год;
R/Lr – радиационный индекс сухости

Так как зональность почв тесно связана с зональностью растительности, то полученные выводы о связи растительных зон с определенными значениями радиационного баланса и радиационного индекса сухости могут быть полностью отнесены и к почвенным зонам (рис. 30). В соответствии с этим можно установить, что при увеличении параметров индекса сухости почвы меняются в такой последовательности: а) тундровые, б) подзолы, бурые и серые лесные почвы, желтоземы, красноземы, в) саванные почвы, черноземы, г) каштановые почвы, д) сероземы и другие пустынные почвы.

Связь зональности и гидрологического режима суши со значениями параметров радиационного баланса и радиационного индекса сухости может быть установлена не только качественно, но и количественно.

Из самого смысла индекса сухости следует, что каждой его градации соответствует определенное значение коэффициента стока. Вследствие этого для условий тундры, где индекс сухости менее 0,3, коэффициент стока должен быть больше 0,7; в лесной зоне при ин-

декс сухости от 0,3 до 1,0 коэффициент стока должен иметь значения от 0,3 до 0,7; в степной зоне при индексе сухости от 1,0 до 2,0 – от 0,1 до 0,3; в полупустынной и пустынной зонах, при индексе сухости более 2,0 – меньше 0,1 и стремится к нулю (рис. 31) Таким образом, учет влияния энергетических факторов позволяет объяснить и абсолютные величины сумм стока.

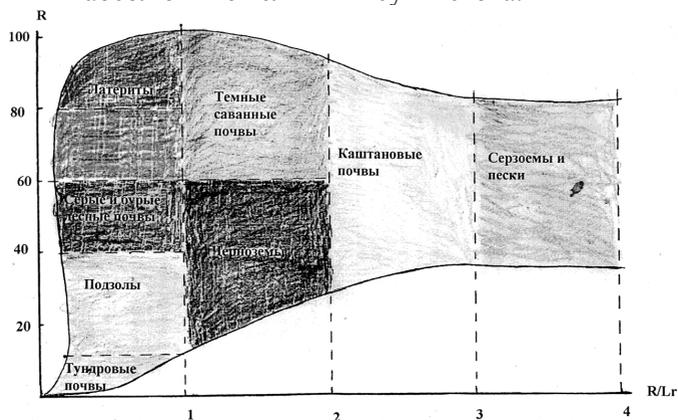


Рис. 30. Периодический закон географической зональности.

Почвы. R – радиационный баланс, ккал/см² в год;
R/Lr – радиационный индекс сухости

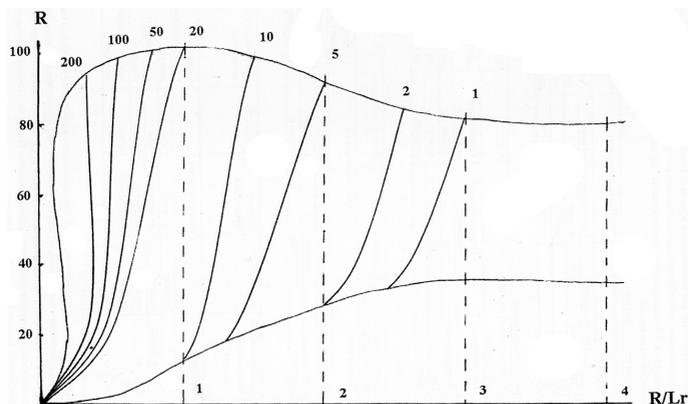


Рис. 31. Периодический закон географической зональности.

Почвы. R – радиационный баланс, ккал/см² в год;
R/Lr – радиационный индекс сухости

Из вышесказанного следует, что существует тесная связь географических зон с вышеупомянутыми климатическими параметрами. А. А. Григорьев и М. И. Будыко назвали эту закономерность *периодическим законом географической зональности*. Согласно этому закону, внутри каждого широтного пояса существует определенное соответствие границ природных зон тем или иным значениям радиационного индекса сухости. При этом в различных широтах одним и тем же значениям индекса сухости соответствуют природные зоны, сходные по ряду существенных признаков. Таким образом, при переходе от одного широтного пояса к другому (что приводит к изменению значений радиационного баланса) в ряде природных зон, соответствующих изменениям условий увлажнения, повторяются признаки сходства наряду с различиями, обусловленными изменениями тепловых условий.

Общая схема этой закономерности представлена на таблице 13. Каждой графе таблицы, характеризующей градации условий увлаженности, соответствует определенное значение коэффициента стока. Наряду с этим в каждой из граф годовая норма стока увеличивается с ростом радиационного баланса, т. е. с уменьшением широты (но это не относится к пустыням, где сток и в низких широтах близок к нулю).

Каждой графе таблицы соответствуют сходные типы растительного покрова. При этом в условиях избыточного увлажнения на всех широтах преобладает лесная растительность, кроме условий резкого избытка влаги (индекс сухости меньше 0,4). В этом случае лесная растительность сменяется для высоких широт тундрой, а для более низких – болотами. Но поскольку индекс сухости меньше 0,4 на больших пространствах наблюдается только в высоких широтах, болотные области низких широт не могут рассматриваться как самостоятельные географические зоны, а являются интразональными образованиями.

Для каждой градации характерен не только тип, но и значения продуктивности растительного покрова. Предполагается, что продуктивность естественного растительного покрова возрастает при приближении условий увлажнения к оптимальным (при одинаковом радиационном балансе), а при фиксированных условиях увлажнения продуктивность растет по мере увеличения радиационного баланса.

Таблица 13
Периодический закон географической зональности (по Будыло, 1975, с дополнениями)

R ккал/см ² в год	Условия увлажнения – радиационных индексе сухости R/Lg								
	<0 Крайне избы- точное	От 0 до 1 Избыточное увлажнение 0–0,2	0,2–0,4			1–2 Умеренно не- достаточное увлажнение	2–3 Недостаточ- ное увлажне- ние	3 и выше Крайне не- доста- точное увлажне- ние	
			0,4–0,6	0,6–0,8	Оптимальное увлажнение 0,8–1				
76–100	Леса Карбона?	Леса Карбона?	Эквато- риальные болота, мангры	Сильно заволо- ченные дождевые тропичес- кие леса	Обычные дождевые тропичес- кие леса	Лиственные тропический лес, влажная саванна	Листопадный тропический лес, обычная саванна	Сухая саванна, тропическая полупустыня (сахель)	Тропи- ческая пустыня
51–75	–	–	Субтро- пическая гемипилея, сильно забол- оченная	Влажные субтропические леса			Жестколист- венные суб- тропические леса и кустар- ники	Субтропичес- кие полупус- тыни	Субтро- пические пустыни
21–50	–	Болота лесной зоны умеренного пояса	Средняя тайга	Южная тайга и смешан- ные леса	Лиственные леса	Степи	Полупустыни умеренного пояса	Пустыни умеренно- го пояса	–
0–20	–	Аркти- ческая пустыня	Тундра и лесотун- дра	Северная тайга	–	–	–	–	–
<0	Вечные снега и ледники	–	–	–	–	Тундростепи?	Тундростепи?	Тундростепи?	–

На самом деле все гораздо сложнее. Растительное сообщество всегда многовидовое, особенно сообщества низких широт (самые продуктивные), и у разных видов растений разные требования к внешним условиям. Более старые климаксовые экосистемы, хотя и велики по биомассе, имеют гораздо меньшую удельную продуктивность, чем молодые серии.

Особое место в таблице занимает не имеющая аналогов область вечных снегов и ледников, характеризующаяся отрицательным радиационным балансом, отрицательным значением индекса сухости, практическим отсутствием растительности и почвенного покрова, а также зона арктических пустынь с ничтожной величиной радиационного баланса и с крайне большим увлажнением.

В пределах каждой зоны радиационного баланса (кроме зоны вечных снегов и ледников) наблюдаются разные условия увлажнения: от избыточного до крайне недостаточного. Если мы будем последовательно сравнивать между собой районы двух различных по радиационному балансу широтных поясов с возрастающим увлажнением (или с возрастающей сухостью), то их свойства будут периодически повторяться.

По аналогии с периодической таблицей химических элементов Д. И. Менделеева можно предположить, что пустые клетки нашей таблицы соответствуют таким условиям, которые в настоящее время на Земле не встречаются, но могли существовать в прошлые геологические эпохи. Так, клетки, соответствующие отрицательному радиационному балансу и недостаточной увлажненности, могут соответствовать тундростепи – сухой холодной области, существовавшей в Плейстоцене на периферии ледников и на их поверхности на эоловых (ветровых, надувных) лессовых почвах. Клетки, соответствующие радиационному балансу от 50 ккал/см² в год и выше и избыточному увлажнению могут соответствовать переувлажненным лесам Каменноугольного периода.

ГЛАВА 16

Климатические режимы

Закон периодической зональности устанавливает связь природных зон со средними значениями элементов климатического режима. Но по сезонам года, особенно в умеренных и высоких широтах, показатели климатического режима в одной и той же местности существенно меняются.

Известно пять основных типов климатического режима.

1. Арктический. Характеризуется наличием снегового покрова, отрицательными температурами воздуха, отрицательным или близким к нулю радиационным балансом. Испарение равно испаряемости.

2. Тундровый. Средние месячные температуры от 0 до +5 °С, радиационный баланс положительный или близкий к нулю, испарение близко к испаряемости.

3. Лесной. Средние месячные температуры выше +10 °С, радиационный баланс положительный, испарение не менее половины испаряемости.

4. Засушливый. Средние месячные температуры выше +10 °С, радиационный баланс положительный, испарение от 0,1 до 0,5 испаряемости.

5. Пустынный. Средние месячные температуры выше +10 °С, радиационный баланс положительный, испарение составляет менее 0,1 испаряемости.

Если бы какой-нибудь из перечисленных здесь типов климатического режима наблюдался бы в течение всего года, то при этом имело бы место соответствие типа климатических условий каждого месяца природной зональности. Однако в большинстве географических областей в течение года наблюдается смена нескольких типов климатического режима. Так, в лесостепи Западной Сибири в течение года наблюдается смена четырех типов климатического

режима: арктический режим зимой, тундровый в начале весны, лесной в конце весны – начале лета, и засушливый в середине – конце лета. Далее смена режимов идет в обратном порядке.

В большинстве районов Земли значительную часть года наблюдаются или условия недостаточного увлажнения (режимы 4 и 5), или условия недостатка тепла (режимы 1 и 2). Только в узкой полосе вблизи экватора в течение всего года наблюдаются стабильные условия, соответствующие режиму 3.

Очевидно, что при режимах 2 и 4, а особенно при режимах 1 и 5 продуктивность естественного растительного покрова снижена. При этом наблюдается следующая закономерность: в условиях недостатка тепла тип географической зоны определяется климатическим режимом того периода, когда продуктивность естественного растительного покрова наибольшая, даже если этот период сравнительно непродолжителен. Так, зональный ландшафт тундры определяется условиями теплого периода (режим 2), который длится не более 2,5–3 месяцев. В этом случае климатический режим холодного сезона (режим 1), охватывающий большую часть года, не определяет зонального характера ландшафта.

Аналогичным образом отмечаются также и условия недостатка влаги, когда определяющим для зоны оказывается более влажный период, хотя он зачастую короче периода с недостатком влаги. Примером может служить дождливый период в саваннах и листопадных тропических лесах (режим 3). Но в пустынях в период максимального увлажнения территории типичный облик ландшафта пустыни теряется.

Периодический закон географической зональности во многом определяет распространение растительного и животного мира нашей планеты и отвечает на ряд вопросов, один из которых: почему органический мир Земли распределен по ее поверхности так, а не иначе.

Но если мы начнем более детально анализировать распределение органического мира по поверхности земного шара, мы сразу же наткнемся на ряд «почему?», на которые закон периодической зональности ответов не дает: почему в сходных природно-климатических условиях, при одинаковых значениях баланса тепла и влаги подчас развиваются совершенно отличные друг от друга био-

ты? Почему растительный и животный мир пустынь Средней Азии и Сахары отличается между собой не очень значительно, а биоты пустынь Намиб и Калахари сильно отличаются от биоты Средней Азии, но не так сильно от биоты пустынь Сахары. Биота пустынь Мексики сильно отличается от всех вышеперечисленных, а биота пустынь Австралии вообще непохожа ни на одну из них? Почему в Южной Америке не водятся слоны и человекообразные обезьяны? Почему аллигаторы водятся в бассейнах только двух рек, и очень далеко отстоящих друг от друга Миссисипи и Янцзы? И в этих же реках встречается примитивная и очень древняя рыба веслонос? Почему в прериях Северной Америки не водились лошади, но лошади, завезенные европейцами, одичали и хорошо прижились? Почему очень многие виды сумчатых живут в Австралии, несколько видов в Южной Америке, один вид в Северной Америке и ни одного – в Африке? Почему в Северной Америке тайга образована деревьями тех же родов, что и в Евразии, хотя и разными видами, а в зонах смешанных и лиственных лесов такого близкого родства нет, большинство деревьев представлены разными родами на обоих континентах?

На эти и многие другие вопросы периодический закон географической зональности ответов не дает. Дело в особенностях исторического развития нашей планеты, в основном в изменениях климата в разные геологические периоды и в особенностях изменений конфигурации континентов, их соединений и разъединений, в сочетании с особенностями экологии как различных видов животных и растений, населявших Землю в разные эпохи, так и с особенностями существовавших в разные эпохи экосистем.

ГЛАВА 17

Мировой океан как стабилизирующая система биосферы

Мировой океан является самым большим биотопом планеты, сосредоточившим в себе большую часть биосферы.

В физическом пространстве биосфера есть взаимодействующая целостность двух подсистем: морской (океанической) и наземной. Морская подсистема гораздо старше наземной, так как жизнь возникла и существовала около 3 млрд лет исключительно в водной среде. Даже современная эукариотно-кислородная биосфера на первом этапе своего развития существовала только в первичном Мировом океане.

Это говорит о том, что жизнь в море могла и, по видимому, может существовать независимо. В то же время жизнь на суше вряд ли могла бы возникнуть и существовать без Мирового океана, так как океаны и моря дают необходимую влагу и биогенные элементы для биосферы суши (террабиосферы). Подобные соображения позволяют считать, что морская подсистема занимает центральное положение в биосфере.

Вероятно, оценивать значимость различных биосферных блоков правильнее всего по той части солнечной энергии, которая превращается в них в химическую энергию связей органических веществ. Последние оценки, полученные разными независимыми методами, показывают, что величина первичной продукции Мирового океана составляет от 30×10^9 до 100×10^9 т, а первичная продукция суши – от 31×10^9 до 115×10^9 т, т. е. Мировой океан дает, по крайней мере, около половины всей первичной продукции биосферы.

Каждое живое существо – частица гидросферы и более того, если судить по солевому составу, – маринобиосферы (океаносферы). Таким образом, биосфера и гидросфера – это не только необы-

чайно тесно связанные друг с другом, но и частично перекрывающиеся понятия. Важнейшим компонентом, общим для этих двух глобальных систем, является Мировой океан, и наземные организмы, в том числе и люди, – частички океана, своего рода брызги на поверхности суши.

В океанах и морях сосредоточено 1340 млн км³ воды, 96,5 % всего мирового ее количества (1388,6 км³). Если отбросить ледники и подземные воды, не используемые биосферой (48,5 млн км³; 2,78 %), то на долю озер, рек, атмосферы и живых существ приходится не более 0,1 млн км³, 0,72 % ее количества на Земле (табл. 1). Причем наличие этой воды зависит от Мирового океана, обеспечивающего ее глобальный круговорот. Но океан обеспечивает не только его.

Необходимые для жизни биогенные элементы передаются по пищевым цепям, в той или иной степени связанным с Мировым океаном. Сложность пищевых связей способна замедлить этот процесс, но не повернуть его вспять. Попадают биогены на сушу двумя путями: более короткий – из океана в атмосферу с каплями влаги, срываемой ветром с гребней волн, затем выносящейся на сушу, и более длительным – накапливаются в осадках на дне океана, переходят на сушу при подъемах океанского дна и далее в процессе эрозии попадают в пресноводные водоемы и почву. Таким образом, все биогеохимические циклы биосферы замыкаются через Мировой океан.

Мировой океан, в отличие от суши, содержит небольшое количество косного (неживого) вещества. Практически вся вода океана биокосное тело. Ведь за 2 млн лет она полностью проходит через биотический круговорот, а если говорить о верхнем, продукционном слое, то за несколько месяцев. Косной в океане является терригенная взвесь (пыль, занесенная с континентов или частички грунта, принесенные реками), вещества вулканического или гидротермического происхождения и космическая пыль. Остальные вещества океана либо растворенные газы атмосферы, либо живое вещество и продукты его жизнедеятельности.

Как мы видим, Мировой океан является не только колыбелью и источником жизни, но ее центром, ее средоточием, без которого

биосфера не могла бы существовать, во всяком случае в ее современном виде. Лишь в одном гидросфера уступает суше: в биоразнообразии. Неподвижные и потому особенно разнообразные биотопы суши обеспечивают существование массы экологических ниш, занятых разными видами и группами видов. Особенно большое разнообразие биотопов связано с огромной массой наземной древесной растительности. Главным образом на ее базе достиг фантастического разнообразия класс насекомых (свыше 1,5 млн видов), которые, за редчайшими исключениями, не смогли повторно поселиться в океане, как, например, млекопитающие.

Наоборот, пищевые цепи океана, особенно в пелагиали, занимающей львиную долю его площади, базируются на мельчайших одноклеточных водорослях и сравнительно однотипны. К тому же благодаря подвижности воды океан относительно более гомогенен, и число возможных экологических ниш в нем не может быть очень большим, что ведет к снижению биоразнообразия. Только в пограничных областях «вода – дно» и «вода – суша» биоразнообразие резко увеличивается.

Но, говоря о биоразнообразии на суше, нельзя забывать, что заметный вклад в его становление вносит само существование океана – непреодолимой преграды для биот различных континентов и островов, из-за чего в процессе эволюции в изоляции и возникают их уникальные черты.

Функциональные особенности океана, способствующие сохранению и развитию биосферы, следующие.

1. Гомеостатическая роль океана в сохранении пригодных для жизни условий.

2. Роль океана как глобального климатического фактора во влагообмене и в стабилизации газового состава атмосферы.

3. Роль океана как отстойника антропогенных загрязнений.

Океан обладает механизмами сохранения своей температуры, химического состава и живых сообществ. Вода океана от северного полюса до берегов Антарктиды и от поверхности до дна глубочайших впадин одина по своему солево-му составу: 88,6 % хлориды, 10,8 % сульфаты, 0,34 % карбонаты, 0,26 % остальные растворенные вещества (рис. 32).

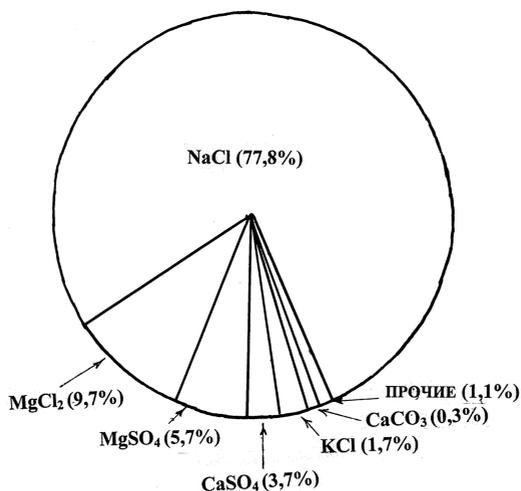


Рис. 32. Солевой состав воды Мирового океана

Имеется целый цикл гомеостатических химических реакций, так называемая буферная система океана, которая позволяет даже при значительном внешнем воздействии сохранить эти пропорции за счет выведения тех или иных компонентов в осадок или, наоборот, их повторного растворения. Поэтому, несмотря на то, что в океан ежегодно вливается масса пресных вод с совершенно иным солевым составом, пропорции между содержанием различных ионов в морской воде остаются неизменными. 60 % солей, поступающих в океан с речной водой, относятся к карбонатам (главным образом углекислый кальций), плохо растворяющимся в морской воде. В верхних слоях наблюдается его перенасыщение, и он легко выводится в осадок или используется на построение скелетов и раковин различных гидробионтов. За время своего существования океан выделил в осадок во много раз большую массу различных солей, чем та масса, которая растворена в нем одновременно. В результате уровень его солености остается неизменным сотни миллионов лет.

Теплоемкость воды очень велика, примерно в 3200 раз больше, чем теплоемкость воздуха. Теплоемкость всей земной атмосферы равна теплоемкости трех верхних метров океана. Еще более внушительно количество тепла, выделяющегося при замерзании воды

и поглощающегося при испарении. При замерзании 1 м³ воды от нее отнимается тепло, достаточное для нагревания на 1 °С 250 тыс. м³ воздуха, а на испарение 1 м³ воды затрачивается тепло, способное нагреть на 1 °С 1,8 млн м³ воздуха. В результате океан реагирует на изменение количества солнечной радиации, в том числе на ее годовые колебания, совсем иначе, чем твердая суша. Поглощая или отдавая большое количество тепловой энергии, он мало изменяет свою температуру. Одновременно благодаря горизонтальным и вертикальным течениям постоянно происходит перемешивание вод. Поэтому, несмотря на то, что поток солнечной радиации резко уменьшается от экватора к полюсам, средняя температура всей толщи вод на экваторе (+4,9 °С) мало отличается от средней температуры всего океана (+3,5 °С) и даже от средней температуры воды на северном полюсе (+0,3 °С). В то же время среднегодовая температура воздуха +14,5 °С для планеты в целом, -10 °С на Таймыре и +30 °С в некоторых районах Сахары (рис. 33).

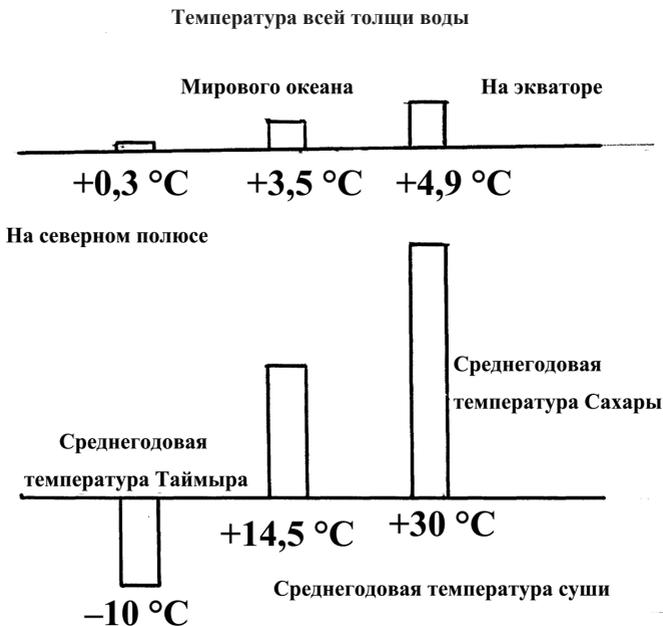


Рис. 33. Сравнительные температуры Мирового океана и суши

Другим инерционным телом на Земле являются ледниковые щиты, которые аккумулируют не только влагу, но и холод. Взаимодействие двух инерционных звеньев, Мирового океана и ледовых щитов, имеет чрезвычайно важные климатические последствия и влияние на биосферу. Показано, что если такая система будет выведена из состояния температурного равновесия, она войдет в режим долгопериодических колебаний, когда холодные ледниковые эпохи будут чередоваться с теплыми межледниковьями.

Очевидно, именно с этим связано чередования ледниковых и межледниковых состояний в течение Плейстоцена. Предполагается, что до него средняя температура Мирового океана была значительно выше современной (около $+10^{\circ}\text{C}$). Следствие – высокое испарение и осадки. Повышение суши в районе южного полюса и изменение направления течений дало толчок к образованию полярных льдов.

Велика роль океана в стабилизации состава атмосферы, особенно в регуляции циклов кислорода и углекислого газа. Выделение кислорода и поглощение углекислого газа при фотосинтезе и поглощение кислорода и выделение углекислого газа при дыхании, брожении и гниении – циклы эти были бы замкнуты, если бы часть углерода не захоранивалась бы в органических остатках и навсегда (либо на длительное геологическое время) не удалялась бы из круговорота. В то же время новые порции углекислого газа, выходящие из недр Земли при вулканической и гидротермальной деятельности, в настоящее время не покрывают биогенной убыли углекислого газа.

На суше захоронение (сток) углерода происходит в основном в тундрах и таежных районах (образуются торфы и бурые угли). А если захоранивается углерод, то в атмосфере остается дополнительное количество кислорода. Наоборот, тропические леса, где продукционные и деструктивные процессы четко сбалансированы, не дают существенного обогащения атмосферы ни кислородом, ни углекислым газом.

Основная масса углекислого газа (98 %) растворена в океане. Совершенно очевидно, что интенсивность обменных процессов между океаном и атмосферой в значительной степени обеспечивает ее гомеостаз. На кривой содержания углекислого газа в атмосфере

отражаются и незначительные изменения температуры воды. В годы Эль-Ниньо (резкого потепления поверхностных вод Тихого океана у берегов Южной Америки) и интенсивных засух количество углекислого газа в атмосфере увеличивается на 1 млрд т. Океан является источником углекислого газа в экваториальных водах и его поглотителем в холодных северных водах.

Увеличение количества углекислого газа в атмосфере из-за изменений океанической циркуляции может приобретать масштабы, не сравнимые (пока!) с антропоической его «прибавкой». В прошлые геологические эпохи колебания эти были очень существенны. В Меловом периоде при содержании углекислого газа в атмосфере в 5,7 раза выше современной, средняя температура Земли была выше нынешней на 11,2 °С, в Эоцене соответственно в 3,3 раза и на 8,2 °С, в Миоцене в 2,2 раза и на 6 °С, в Плиоцене в 1,3 раза и на 4,8 °С.

Важное значение имеет переход растворенных форм углерода в виде карбонат-ионов в нерастворимые углекислый кальций и углекислый магний. Эти процессы идут в результате деятельности организмов, строящих из нерастворимых соединений кальция свои раковины и скелеты в основном в прогретых Солнцем водах тропического пояса, где вода перенасыщена карбонатами, и осуществляются как донными (кораллы, моллюски, иглокожие, ряд водорослей), так и пелагическими (фораминиферы, птероподы, кокколитофориды) организмами. После отмирания их скелеты частично захораниваются в осадках, частично растворяются.

Еще более важным оказывается включение углерода углекислого газа во вновь образуемое при фотосинтезе органическое вещество. Это составляет ежегодно (по разным подсчетам) от 11×10^{10} до 37×10^{10} т углекислого газа. Органическое вещество, переходящее в детрит и уносимое в глубинные слои океана, частично захоранивается в осадках. Этот поток тем интенсивнее, чем больше продукции создается в продуцируемом слое той или иной части океана: от 800 ккал/м² в приполярных водах до менее чем 100 ккал/м² в экваториальных.

Таким образом, Мировой океан является мощным «насосом», откачивающим углекислый газ из атмосферы и препятствующий увеличению парникового эффекта.

Структуры экосистем суши и океана имеют принципиальное различие. Прежде всего это касается развития биокосного вещества. На суше оно представлено только слоем почвы (в среднем 1 м). Нижняя часть атмосферы заполнена живыми существами на несколько сотен метров от поверхности почвы, но все эти организмы так или иначе связаны с почвой и прожить без нее не могут.

В океане вся толща вод, в среднем 4 км, является биокосным телом. Только этим двум средам – почве и океану – присущи свойства, обеспечивающие процессы продуцирования. Но различия заключаются не только в толщине продуцирующего слоя. В океане плодородие верхнего продуцирующего слоя (30–150 м) обеспечивается вертикальным перемешиванием, выносящим в продуцирующий слой биогенные соли из глубинных вод, где их запасы почти неисчерпаемы и в тысячи раз превосходят их годовой расход. Иначе обстоит дело в почве. Здесь общие запасы биогенных веществ лишь не намного превосходят их годовой расход или равны ему.

Основная особенность сообщества пелагиали заключается в том, что создаваемое фитопланктоном первичное органическое вещество, за счет которого в конечном счете существует все население толщи вод, продуцируется лишь в узком поверхностном слое. Животное население только этого слоя постоянно обитает совместно с растительностью («работающим» сообществом). Население же всей остальной толщи вод океана, хотя и существует практически за счет органического вещества, созданного в верхней зоне, но использует его, только поедая остатки отмерших животных и растений поверхностных слоев. Характернейшей особенностью сообщества пелагиали следует считать разобщенность зон первичного продуцирования органики и значительной части его потребления. Именно эта разобщенность определяет основу процессов трансформации вещества и циклов отдельных элементов в толще вод Мирового океана.

Сообщества Мирового океана делятся на два класса: сообщества поверхностного слоя, использующего солнечную энергию для создания первичного органического вещества, и сообщества остальной толщи вод, вплоть до самых глубоких и дна, которые целиком зависят от поверхностных сообществ, так как используют

созданное на поверхности органическое вещество и в принципе не могут существовать без него.

Таким образом, если на суше основная масса консументов и редуцентов обитает совместно с продуцентами в единых сообществах, то в Мировом океане основная масса консументов и редуцентов отделена от продуцентов, и основное направление их эволюции состоит в том, чтобы лучше использовать органику, идущую их поверхностных продуцирующих сообществ.

Распределение антропогенных загрязнений между сушей и морем имеет четко выраженную асимметрию. Непрерывно действующие источники загрязнений почти все находятся на суше или в непосредственно примыкающих к ней водах. В свою очередь, морская среда является местом захоронения различных отходов, в том числе токсических и радиационных. В океан рано или поздно со стоком рек, ливневыми стоками, выпадениями из атмосферы и другими путями попадают почти все отходы, загрязняющие как сушу, так и атмосферу, не считая непосредственных загрязнений водной среды.

Учитывая способность большинства гидробионтов накапливать многие химические элементы, такие как кадмий, свинец, ртуть, мышьяк, радиоактивные изотопы, а также пестициды, полифениламины, нефтепродукты и пр., воздействие загрязнений на морские сообщества чрезвычайно велико. Особо надо отметить загрязнение Мирового океана нефтью и нефтепродуктами. Эти вещества легче воды и способны образовывать на ее поверхности очень тонкие пленки (тонна нефти покрывает пленкой водную поверхность в 12 км²). Эти пленки совершенно непроницаемы для газов. Учитывая сказанное о роли океана в стабилизации состава атмосферы, понятно, какую опасность несет этот вид загрязнения.

Загрязнения изменяют структуру и функциональные характеристики экосистем, нарушая те эволюционно установившиеся регуляторные механизмы, которые позволяют Мировому океану выполнять практически все его регуляторные функций.

ГЛАВА 18

Леса и почвы как стабилизирующие системы биосферы

Важнейшей составляющей биосферы являются леса. Им принадлежит ведущее место в стабилизации природной среды. Они обладают максимальной абсолютной биологической продуктивностью, оказывают глобальное воздействие на газовый, гидрологический и тепловой режимы атмосферы, пресных вод и почвы, сохраняют плодородие почв, оберегают чистоту воздуха и воды. Они также являются возобновляемым источником биологических ресурсов (древесины, съедобных и лекарственных растений, охотничье-промысловых животных и пр.).

Леса относятся к высокопродуктивным экосистемам, представленным в основном долгоживущими деревьями, поэтому значительная часть их годичной продукции поступает в длительное депонирование.

По некоторым оценкам, запас фитомассы наземных и пресноводных экосистем составляет $1236,9 \times 10^9$ т, из которых 804×10^9 т (65 %) приходится на сомкнутые леса, а $272,1 \times 10^9$ т (22 %) – на разреженные (лесотундры, лесостепи, саванны и т. п.), $166,8 \times 10^9$ т (13 %) – на все прочие экосистемы суши и пресных вод.

Годичная первичная продукция суши и пресных вод составляет $133,6 \times 10^9$ т, из которых $81,8 \times 10^9$ т (62 %) приходится на сомкнутые, $30,7 \times 10^9$ т (23 %) – на разреженные леса, $20,5 \times 10^9$ т (15 %) – на прочие экосистемы (рис. 34). При этом леса ежегодно освобождают при фотосинтезе 150×10^9 т кислорода, что составляет около 40 % его ежегодного поступления в атмосферу (еще 40 % дает Мировой океан, и 20 % – все остальные экосистемы Земли, включая агроценозы).

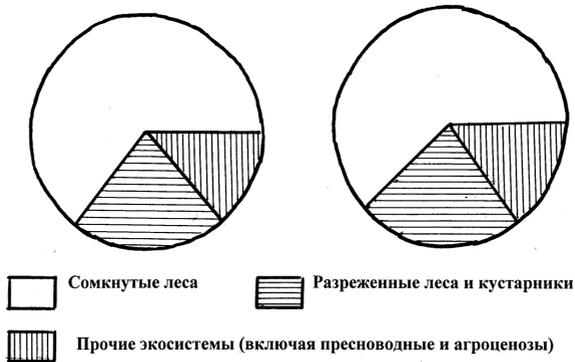


Рис. 34. Фитомасса (слева) и продуктивность (справа) основных экосистем земного шара

Вместе с тем леса – огромное хранилище углерода, аккумулярованного в растениях, их остатках, почве, торфе и др. Общая масса углерода в лесных экосистемах оценивается в 500×10^9 т при общем его количестве в биомассе суши и пресных вод 650×10^9 т (77 %). Ежегодно леса депонируют до 110×10^9 т (18–22 %) углерода, созданного в процессе фотосинтеза.

В зависимости от экологической ситуации, состава, структуры и состояния лесов, они могут быть как хранилищами углерода, так и источниками его выброса в атмосферу. Баланс углерода в лесных экосистемах приобретает особое значение в последние десятилетия в связи с увеличением антропогенских выбросов углекислого газа, возможностью роста парникового эффекта и глобального потепления. Поэтому, наряду с возможными ограничениями промышленных выбросов, важной задачей является расширение площади лесов и повышения их продуктивности с целью увеличения объемов консервации углерода.

В конце Неолита (около 6 тыс. лет назад) сомкнутые леса занимали от 50 до 70 % всей территории суши. Сейчас они покрывают лишь немногим более четверти (26,6 %) этой площади. Разреженные леса, занимавшие от 10 до 30 % площади суши, сейчас составляют около 13 %. Средний запас древесины в мире составляет $112 \text{ м}^3/\text{га}$ (от 14 до $266 \text{ м}^3/\text{га}$ в разных типах леса). Лесистость территории суши составляет 18 % в Африке, 19 % в Азии (без Рос-

сии), 5 % в Австралии, 48 % в Южной Америке, 20 % в Северной Америке, 27 % в Европе (без России) и 45 % в России (рис. 35).

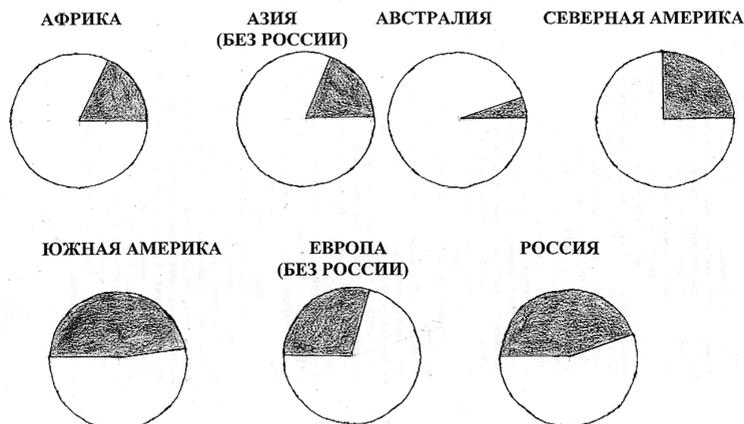


Рис. 35. Лесопокрытая площадь, %

В промышленно развитых странах умеренного пояса находится 42 % площади всех сомкнутых лесов и 43 % запаса древесины. На долю развивающихся стран – 58 % площади и 57 % запаса древесины. Площадь леса на душу населения составляет в развитых странах 1,1 га, а в развивающихся – 0,5 га. Из разреженных лесов 67 % приходится на развивающиеся страны, 33 % – на развитые. 52 % площади сомкнутых тропических лесов приходится на Южную Америку, а 59,2 % площади разреженных лесов тропической зоны – на Африку.

87 % всех хвойных лесов сосредоточено в умеренной зоне северного полушария. 67 % общего прироста древесины приходится на эту зону, хотя здесь находится лишь 50 % лесопокрытой площади мира. На душу населения здесь приходится 2,2 м³ годовичного прироста, в то время как в остальной части Земли – 0,25 м³. В Европе (без России) на душу населения приходится 0,95 м³ годовичного прироста, в Северной Америке – 3,4, в Южной Америке – 6,3, в Африке – 2,1, в Азии (без России) – 0,25, в России – 5,0.

Крупнейшие резервы хвойных лесов в настоящее время сохраняются в России и Канаде, а тропических лесов – в Бразилии и Конго (Заире).

Среди всех стран мира Россия занимает первое место по площади лесов, запасам древесины и их приросту.

В настоящее время ежегодные объемы лесозаготовок составляют 3,2–3,5 млрд м³ и сравнялись с естественным приростом. Но эксплуатируются только продуктивные леса, доля которых не превышает $\frac{2}{3}$ лесопокрытой площади, значит, во многих регионах мира идет истощительная рубка, преимущественно наиболее ценных хвойных и твердолиственных пород. Леса и заготовленную древесину во многих случаях используют нерационально. Коэффициент использования древесины достигает в промышленно развитых странах 80 %, в России 30–40 %, а во многих развивающихся странах около 20 %. Почти 80 % заготовленной древесины здесь используется на топливо.

Хотя в последние десятилетия много сделано для расширения площадей лесов, это не компенсирует потери для природы в целом. Статистические данные порой свидетельствуют о стабильном состоянии лесного фонда и даже в ряде стран об его увеличении, но эти данные часто обманчивы. На тихоокеанском побережье США вместо вырубленных лесов твердолиственных пород (дубы, клены, орех, бук) созданы монокультурные (в основном сосновые) леса, с сильно обедненной биотой. Эта тенденция характерна и для России, и для ряда стран Западной и Центральной Европы. Хотя во многих из этих стран площадь лесов стабилизировалась и даже возросла, искусственно посаженные вторичные леса во многом уступают сведенным коренным лесам по биологическому разнообразию, структуре насаждений и их продуктивности.

Большое значение имеет деградация лесных экосистем под влиянием промышленных выбросов. Токсичные вещества накапливаются во всех компонентах лесных экосистем: в самих растениях, в растительном опаде, в подстилке, в почве, в грибах, в животных. Концентрация токсикантов во многих случаях такова, что существование этих лесов без мер рекультивации становится невозможным, что чревато серьезными экологическими последствиями, особенно в горных местностях.

За последние 100 лет площади лесов на Земле сократились на 29,3 %, что приводит к существенным изменениям климата вследствие резкого нарушения соотношения основных элементов водно-

го баланса: испарения, осадков и стока. На безлесной территории сток составляет 65 % от годовой суммы осадков, при лесистости 10 % величина стока 25 %, при лесистости 30 % сток уменьшается до 14 %, при лесистости 40 % сток – 8–9 %, а при 100 % лесистости – 5 % (табл. 14). Поэтому на равнинах лесистость не должна быть меньше 25 %, а в горах – 50 %.

Таблица 14

**Величина поверхностного стока (в % от количества осадков)
в зависимости от лесистости территории**

Лесистость территории	70,0
Полностью обезлесенная территория	65
Лесистость 10 %	25
Лесистость 40 %	9
Лесистость 100 %	5

Один гектар леса поглощает в год в среднем 10 т углекислого газа. Для поглощения 1 млрд т углекислого газа в год необходимы леса площадью 1 млн га. Увеличение лесопокрытой площади Земли на эту величину было бы равноценно снижению промышленных выбросов на 10 %.

Наряду с работами по лесоразведению, лесовосстановлению и реконструкции насаждений, необходимо проведение комплексных мероприятий по улучшению использования, охране и воспроизводству лесов. Для этого нужна постоянная, объективная и возобновляющаяся информация о статике и динамике лесов на глобальном, национальном и региональном уровнях. При этом можно полагать, что в наступившем столетии будет приостановлено снижение лесистости и начнется ее постепенный рост.

Но несмотря на важность проблемы и принимаемые на разных уровнях решения, мировому сообществу пока не удастся прекратить деградацию лесного покрова Земли. Площади лесов, особенно тропических, продолжают уменьшаться. Имеются различные прогнозы, по которым количественные оценки сокращения площадей лесов существенно расходятся. Но все прогнозы сходятся на том, что площади лесов будут уменьшаться, а качество – ухудшаться.

И минимальная величина, на которую может уменьшиться их площадь, это сотни миллионов га. Угроза самому существованию лесов, особенно в тропическом и аридном поясах, сохраняется.

Особой стабилизирующей системой биосферы является почвенный покров. Современное почвоведение рассматривает почвы Земли не только как результат многовекового почвообразовательного процесса, но и как полифункциональную биокосную систему, играющую независимую роль в наземных экосистемах.

Многочисленные функции почвы могут быть подразделены на экосистемные и биосферные. К первым относятся роль почвы как среды обитания, связующего звена биологических круговоротов, плодородие, аккумуляция биогеохимической энергии и депонирование семян, цист, спор и т. п. Ко вторым – регуляция газового состава атмосферы, перемещение веществ и аккумулированной биогеохимической энергии между атмосферой, литосферой и гидросферой, сохранение биологического разнообразия, роль почвы как одного из факторов эволюции.

Функция почвы как среды обитания организмов проявляется в том, что с почвой связан весь растительный покров суши, в почве обитает почти вся масса сухопутных беспозвоночных животных (кроме насекомых) и микроорганизмов. Количество микроорганизмов в почве может достигать многих миллиардов в 1 г, а общий вес их сухой массы до 60 т/га.

Почва в экосистемах и в биосфере в целом играет роль связующего звена между биологическим и геологическим круговоротами вещества. В ней осуществляется аккумуляция и деструкция органического вещества, создаваемого в процессе фотосинтеза. Одновременно в минеральной части почвы накапливаются биофильные элементы, извлекаемые из почвы и горных пород в процессе корневого питания растений. В результате геохимические кларки (числовые соотношения элементов) живых организмов ближе к геохимическим кларкам почвы, нежели атмосферы, гидросферы и литосферы.

Ежегодная величина биогеохимического круговорота в системе «почва – растение» значительно превышает величину ежегодного геологического стока этих элементов в реки и моря.

В этом ярко проявляется огромная роль функций почвы как центрального звена в круговороте веществ между наземными организмами и поверхностными слоями литосферы. Но наиболее известной и реально ощутимой человеком функцией почвы является ее биологическая продуктивность (плодородие), т. е. способность обеспечивать растения влагой и элементами минерального питания. Первичная годовая продуктивность растительности на почвенном покрове суши в два-три раза превышает таковую же в океане, а общая биомасса суши по большинству расчетов больше биомассы Мирового океана, несмотря на то, что площадь суши составляет 29,2 % всей поверхности Земли, а Мирового океана 70,8 %, т. е. в 2,4 раза больше. Следовательно, жизнь на суше продвинулась в своем эволюционном развитии значительно дальше, чем в Мировом океане.

Плодородие является важнейшей экологической функцией почвы в жизни биосферы в целом и человека в частности. 98 % продуктов питания человек получает в результате использования почв в земледелии и скотоводстве.

Почвенный покров непосредственно влияет на поглощение и отражение солнечной радиации (через альбедо почв и покрывающей их растительности, зависящей от типа почвы). Объем дыхания почвенных организмов в 5 раз превышает объем антропогенских выбросов углекислого газа. В почве осуществляется трансформация атмосферной влаги в грунтовые, поверхностные и подземные воды, формирование их химического состава, а следовательно, и влияние на продуктивность биоты пресноводных водоемов. По мнению В. И. Вернадского, химический состав не только пресных вод, но даже в известной степени и морской воды, обусловлен в значительной мере химической работой почвы.

Протекающие в толще почв разнообразные химические и биологические процессы непосредственно влияют на преобразование верхних слоев литосферы и превращение их в кору выветривания (гипергенез литосферы).

По современным данным, 36 % площади суши не производит биологической продукции, так как заняты ледниками, сыпучими песками, скалами, а также постройками и дорогами. Пахотные

земли занимают 11 % площади суши, пастбища 24 %. Наиболее сильно распаханы земли Европы (30 %), наименее – Австралии (5 %). На одного жителя планеты приходится 0,3 га пахотной земли. Не так уж много в мире осталось неосвоенных земель, пригодных для пахоты. При продолжающемся экстенсивном ведении сельского хозяйства удвоение площадей пахотных земель вызовет уничтожение 59,3 % существующих лесов.

В результате стихийного, научно не обоснованного использования земельных ресурсов человечество уже потеряло около 2 млрд га некогда плодородных почв (12 % от ныне используемой площади), превратив их в пустоши и заросли бурьяна – антропогенские пустыни. И процесс деградации почвенного покрова продолжается. Скорость эрозии за вторую половину XX века выросла по сравнению со среднеисторической в 30 раз. Ежегодно из-за эрозии теряется 7–9 млн га пахоты и 13–14 млн га пастбищ (рис. 36).

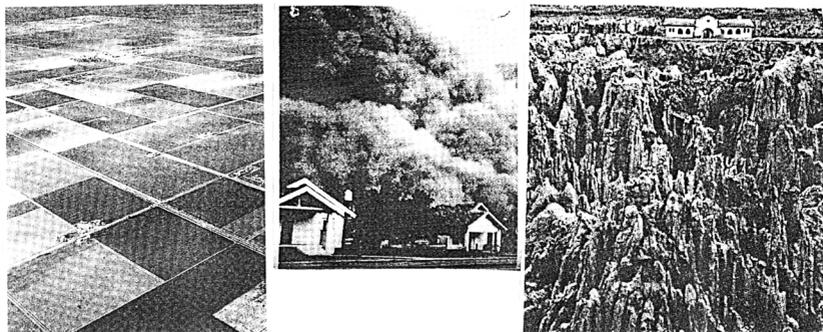


Рис. 36. Современные агроценозы. Слева современный агроландшафт, полное изменение природной среды. В центре: пыльная буря, разрушение и снос плодородного слоя почвы. Справа: необратимая эрозия почвы

Учитывая незаменимое экологическое значение почв для всех наземных живых существ, включая человека, следует признать, что разрушение и глобальная деградация почвенного покрова все в большей степени угрожает устойчивому функционированию биосферы. Эрозию называют «тихим кризисом планеты», так как она не так заметна, как сведение лесов, пересыхание рек, гибель редких видов животных и растений, но не менее губительна по своим последствиям.

ГЛАВА 19

Экологические факторы макроэволюции. Экологические кризисы

Закономерность возникновения жизни и биосферы – одна из важнейших проблем современной науки, которая еще далеко не решена. Предполагается, что жизнь возникла из преджизни – эволюции органических химических веществ с постепенным их усложнением, вплоть до появления аминокислот и нуклеотидов – «кирпичиков», из которых строились белки и нуклеиновые кислоты. Однако время и место перехода преджизни в жизнь, а химической эволюции – в биологическую, представляет собой загадку, к решению которой мы только подходим в последнее время. Возможно даже, что Земля и Жизнь – почти ровесники, и длительного периода «безжизненной Земли» просто не было. Так, по современным воззрениям возраст Земли 4,5 млрд лет, а возраст жизни предполагается в 4–4,25 млрд лет, следовательно, безжизненный период в истории Земли длился «всего» 250–500 млн лет, или 5,6–11,2 % всего времени ее существования.

Для решения данного вопроса необходимо учитывать последние данные палеонтологии и палеогеохимии, отражающие наличие жизнедеятельности организмов в прошлые геологические времена.

Наши знания о ранее живших организмах представляются довольно жалкими. Миллиарды особей предков современных растений и животных безвозвратно исчезли в прошлом, не оставив после себя остатков в виде тех или иных форм ископаемых. По оценкам ведущих палеонтологов, в геологической летописи сохранилось всего лишь около 0,01 % от числа вдов, некогда населявших поверхность Земли в течение ее истории. Это связано с плохой сохранностью тел организмов (особенно многих беспозвоночных животных и травянистых растений) после их гибели.

Следы существования, которые оставляют после гибели организмы прошлых эпох, подразделяются на морфологические и геохимические. Морфологические следы наиболее очевидны. Они встречаются в виде естественных мумификаций, окаменелостей и отпечатков. При естественной мумификации организм сохраняется наиболее полно. Однако естественные мумии образуются редко, в основном при замерзании трупов животных в вечной мерзлоте (находки трупов мамонтов и других животных в Сибири и Канаде).

Окаменелостями часто оказываются твердые части тела – раковины моллюсков, скелеты губок и кораллов, кости позвоночных животных, стволы деревьев. Реже и мягкие ткани могут подвергнуться процессу окаменения (фоссилизации). При этом различные минеральные вещества, растворенные в природных водах, проникают в тело погибшего организма и замещают его ткани и даже отдельные клетки. Это пирит, соли железа, кремния и т. п. Процессу фоссилизации подвержены не только остатки растений и животных, но даже и микроорганизмы. Фоссилизация микроорганизмов происходит в условиях, когда их остатки захораниваются в исключительно тонкозернистых осадках либо в коллоидных отложениях кремнезема. В таких условиях находят отдельные клетки, строение которых сходно со строением современных микроорганизмов. Наиболее древние из таких находок имеют возраст 3–3,5 млрд лет.

Отпечатки представляют собой окаменелые формы организма, которые зафиксировали свою структуру на поверхности тонкозернистого осадка. Впоследствии этот осадок превращается в камень. Отпечатываются чаще всего листья растений, следы животных, иногда мягкие ткани.

Фоссилизированные остатки встречаются в основном в отложениях последнего этапа (эона) геологической истории, охватывающего 570 млн лет. Этот эон назван американским палеонтологом Ч. Шухертом Фанерозоем, зоном явной жизни. Он подразделяется на три эры: Палеозой (эра древней жизни), Мезозой (эра средней жизни) и Кайнозой (эра новой жизни). Предыдущий, более продолжительный эон назван Криптозоом (зоном скрытой жизни). К нему относятся две эры: Архей, или Археозой (эра древнейшей жизни), и Протерозой (эра первичной жизни).

Криптозой охватывает период с 570 млн до 4,25 млрд лет назад. Криптозойские организмы еще не имели твердых скелетов или раковин и представлены в геологической летописи в виде микрофоссилий или в виде различных выделений и построек, преимущественно в форме строматолитов.

Строматолиты – шаровидные, полушаровидные и конические образования со сложной слоистостью, состоят в основном из карбоната кальция. «Строителями» их были в основном бактерии и синезеленые водоросли, обитающие на мелководьях. Древнейшие строматолиты найдены в Австралии, в формации Варравуна, их возраст около 3,5 млрд лет.

Геохимические следы существования древних организмов остаются в виде органических соединений в осадочных породах. Они широко распространены по Земле и состоят в разных пропорциях из углеводов, жиров, аминокислот преимущественно растительного происхождения и возникли из одноклеточных водорослей, слагавших фитопланктон древних водоемов. Наиболее древние следы деятельности фотосинтезирующих организмов в виде таких остатков найдены в сланцах системы Онвервахт в Южной Африке, их возраст 3,44 млрд лет.

Важное место в современной геохимии занимают изотопные методы исследования, позволяющие установить следы жизнедеятельности в самых древних метаморфизированных породах земной коры. В процессе жизнедеятельности при обмене веществ с внешней средой происходит фракционирование изотопного состава некоторых элементов, в частности углерода и серы. Особенно показательными являются данные по изотопному составу углерода – главного элемента жизни. В древнейшем известном геологам участке земной коры – комплексе пород Исуа в Западной Гренландии, возрастом в 3,8 млрд лет, найдены соединения углерода, которые по изотопному составу могут считаться фотосинтетического происхождения, что подтверждается также наличием окисленного железа осадочного происхождения, окислить которое мог кислород, выделявшийся при фотосинтезе. Вероятнее всего, это следы деятельности наиболее примитивных синезеленых водорослей, первых автотрофов на Земле.

Но появлению автотрофов должны предшествовать гетеротрофы, так как их способ преобразования энергии более примитивен и должен был развиваться раньше автотрофного, тем более что, по мнению многих планетологов и космологов, атмосфера Земли на ранних этапах ее развития была непрозрачна для солнечных лучей.

Таким образом, сочетание новейших данных микропалеонтологии, биохимии и химии изотопов упорно свидетельствуют о том, что возникновение жизни на Земле произошло ранее 4 млрд лет и становится сопоставимым с временем образования Земли как планеты. В. И. Вернадский указывает: «Для нашей планеты эмпирически установлено существование жизни в самых древних доступных нам отложениях, на нашей планете известных. С другой стороны, нигде мы не нашли в биосфере горных пород, которые указывали бы на их образование в течение геологического времени в отсутствие живого вещества. Даже массивные породы, как вулканические, так и плутонические, носят в себе несомненные следы существования живого вещества в условиях их образования. Эмпирически, таким образом, мы не нашли никаких указаний на время, когда живого вещества на нашей планете не было. Жизнь на ней геологически вечна».

В свете новых данных неизбежно следует вывод о раннем зарождении жизни в пределах Солнечной системы: химическая эволюция вещества Земли и других планет должна была завершиться еще в космических условиях, в период, предшествующий (или совпадающий) с их образованием. Возникает новая проблема – выяснение способов возникновения ближайших предшественников жизни – органических веществ – в процессе планетогенеза.

По всем данным космохимии, наиболее обильным газом первичной атмосферы Земли был углекислый газ. Но он не способен самопроизвольно превращаться в органические соединения. Скудность водорода и его быстрая потеря в условиях ранней Земли также снижала возможность образования органических веществ в атмосфере.

Известно, что органические вещества довольно высокой сложности содержатся в метеоритах, особенно в так называемых углистых хондритах. Впервые органические вещества в их составе

обнаружил еще в 1834 г. И. Берцелиус (подробнее об этом говорилось в главе 4).

На той стадии планетогенеза, когда основные тугоплавкие вещества уже образовали пылевые частицы, начался процесс образования органических веществ. Эти процессы протекали при снижении температуры планеты ниже 5000 °К, при этом совершались реакции между водородом, угарным газом и простейшими соединениями азота. Такие реакции идут очень медленно, но они резко ускоряются в присутствии неорганических катализаторов – магнетита и гидратированных силикатов, которые возникли ранее, в ходе эволюции вещества околосолнечной туманности, из которого впоследствии конденсировалось вещество планет. Структура некоторых хондритов определенно указывает на то, что органические соединения были синтезированы на поверхности силикатных зерен и магнетита, которые позже вошли в состав углистых хондритов. Органические вещества в них имеют вид округленных частиц диаметром от 1 до 3 мкм, в центре которых имеются ядрышки магнетита или гидратированных силикатов.

Первоначально возникали простейшие соединения (аммиак, метан), в связи с этим возникла водородно-метано-аммиачная первичная атмосфера. В 1950–1960-е гг. было установлено работами Г. Юри, С. Миллера и др., что при ионизации такой атмосферы под влиянием грозových разрядов и различных излучений происходят реакции органического синтеза, в результате получают более сложные органические вещества, включая аминокислоты и нуклеотиды. Попадание первичных органических веществ в водную среду с растворенными в ней многочисленными солями, содержащими такие важные биогенные элементы, как азот, натрий, калий, фосфор, магний, железо, кальций и др., дало мощный толчок, ускоривший химическую эволюцию и превративший ее в биологическую.

Астероиды и метеориты, видимо, остатки планетного материала, не прошедшего стадию образования гидросферы, – показатель того, что в их родоначальных телах химическая эволюция прекратилась на весьма ранних стадиях, не перейдя в биологическую. Последние исследования вещества верхних слоев мантии Земли

показали, что по ряду геохимических и изотопных данных его состав близок к углистым хондритам.

Вышеприведенные данные и предположения позволяют сделать двоякий вывод: первые «зародыши» жизни могли сформироваться в первичной околосолнечной туманности еще до формирования планеты Земля и попасть на нее с частичками межпланетного вещества («космического газа») или с метеоритами (гипотеза панспермии С. Аррениуса – В. И. Вернадского) или они возникли непосредственно на Земле в процессах взаимодействия веществ сильно ионизированной атмосферы и недавно возникшей гидросферы с веществом верхних слоев мантии (что возможно, так как кора возникла позднее) (гипотезы А. И. Опарина, Г. Юри и др.). В любом случае космический синтез создал неограниченную кормовую базу для предков первых гетеротрофных организмов, которые потребляли углеродсодержащие вещества, накопившиеся в Первичном океане в эпоху «преджизни» – химической эволюции. В наше время, если такие вещества и появляются, они немедленно утилизируются, а в те времена их попросту некому было есть.

Следовательно, первая биосфера Земли носила гетеротрофный, восстановительный характер. В дальнейшем, в ходе геологической истории, эволюция биосферы происходила и происходит как решение противоречия между безграничной способностью организмов к размножению и ограниченностью ресурсов, которые могут быть использованы в каждую определенную эпоху. Это противоречие разрешается путем овладения новыми источниками вещества и энергии и приобретением новых качеств и приспособлений живых организмов. При этом наследственная (мутационная) изменчивость выступает существенной предпосылкой к развитию, а естественный отбор – механизмом закрепления новых качеств.

Хотя обитание на ранних стадиях эволюции в среде, содержащей повышенное количество радиоактивных изотопов, чем в наше время, и, следовательно, с более высоким радиационным фоном, способствовало большей, чем теперь, частоте мутаций, можно предположить, что наряду с мутационным процессом в эволюции происходил и другой процесс, симбиотический.

Впервые взгляды на симбиоз микроорганизмов, как на возможный фактор эволюции, указал русский биолог К. С. Мережковский в 1911 г. Он обратил внимание на большое сходство в строении хлоропластов высших растений с синезелеными водорослями, и сходство строения некоторых бактерий с митохондриями клеток эукариотных организмов. В конце XX века Л. Маргулис (США) сформулировала стройную теорию симбиотической эволюции: симбиоз нескольких бактерий приводит к тому, что одна из них начинает играть роль ядра, спирохетоподобные организмы становятся жгутиками, сине-зеленые водоросли не перевариваются, а остаются в протоплазме в виде хлоропластов и т. п. Сейчас уже известно, что митохондрии и хлоропласты могут размножаться в клетках, как настоящие бактерии. В экспериментах хлоропласты трехцветной фиалки размножались в клетках куриного эмбриона.

Большую часть геологического времени эволюция происходила в воде Первичного океана. Это связано не только с большей легкостью усвоения первичными гетеротрофами растворенных в воде питательных веществ («первичного бульона» по А. И. Опарину), но и с тем, что ставшая прозрачной для солнечных лучей атмосфера была все еще лишена кислорода, поэтому ультрафиолетовые лучи с длиной волны менее 0,29 мкм свободно проникали к твердой поверхности Земли, но задерживались даже сравнительно тонким слоем воды.

Можно предполагать, что первые формы настоящей жизни на Земле представляли собой биохимически простые прокариотные одноклеточные структуры, вероятно, округлой формы и гетеротрофные по способу питания («коацерваты» по А. И. Опарину). Важнейшим переломным моментом в эволюции биосферы был переход от гетеротрофного питания к автотрофному, основанному на фотосинтезе. Восстановительная гетеротрофная биосфера сменилась автотрофной окислительной. Сначала наличие свободного кислорода фотосинтетического происхождения ограничивалось верхними слоями Первичного океана, в эуфотической зоне. В связи с массовым размножением синезеленых (а позднее и зеленых) водорослей количество свободного кислорода в воде стало возрастать, а когда его объем превысил возможности его растворения, он стал выделяться

в атмосферу и его накопление в ней привело к появлению аэробных организмов, а далее и к образованию защитного озонового экрана в атмосфере. После этого стал возможен выход из воды живых организмов сначала в почву, а потом и на поверхность суши.

Взаимодействие организмов с комплексом экологических факторов, создавшихся на Земле параллельно с развитием и совершенствованием жизни, привело к созданию экосистем, сначала нестойких, легко разрушающихся, но со временем все более и более гомеостатичных и приспособленных к широкому диапазону изменчивости основных экологических факторов.

Так, если в какой-то экосистеме появляется хищник, более крупный, более агрессивный и более подвижный, чем хищники, обитавшие здесь раньше, то может произойти уничтожение их жертв, что в итоге приведет к вымиранию самого хищника. С другой стороны, развитие у жертв эффективных способов защиты может привести к вымиранию хищников и такому росту численности жертв, что они уничтожат все свои ресурсы пищи и вымрут от голода.

Следовательно, результаты эволюции, способствующие процветанию того или иного вида, не обязательно приводят к увеличению численности его популяций, а только тогда, когда увеличение численности не снижает устойчивость экосистемы в целом.

Поскольку каждый вид существует лишь в пределах своей экосистемы и по законам ее существования, он в процессе эволюции не должен ее разрушить. Но это возможно лишь тогда, когда эволюция всех составляющих экосистему видов идет координированно, т. е. когда эволюционируют не виды сами по себе, а экосистема в целом.

Экосистемы находятся в условиях постоянных колебаний численности входящих в их состав популяций растений, животных, грибов и микроорганизмов. Такие колебания могут происходить как из-за изменчивости внешних факторов, так и при стабильных внешних условиях из-за внутривидовых взаимодействий, в значительной степени связанных с генетической неоднородностью популяций (автоколебательные процессы). При этом малокомпонентные, неустойчивые экосистемы имеют существенные шансы так нарушить эту стабильность, что экосистема распадется

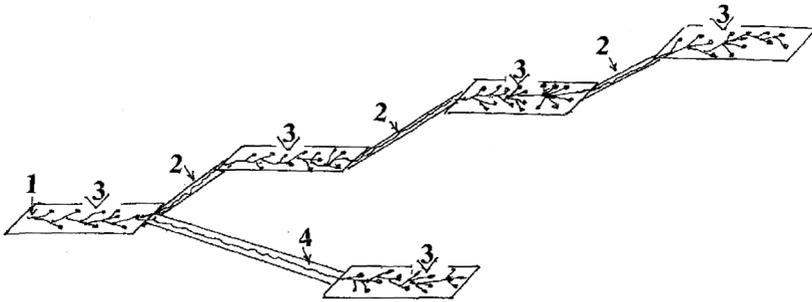
и входящие в нее популяции окажутся на грани вымирания (или за гранью – как получится!). Многокомпонентные, устойчивые экосистемы имеют больше шансов сохранить входящие в них популяции длительное время.

Значит, если эволюция какого-либо организма ведет к тому, что он повышает устойчивость экосистемы, то отбор его сохраняет. В целом отбор элиминирует менее устойчивые экосистемы, которые в данном случае играют роль «надорганизмов», участвующих в борьбе за существование.

Если какая-то экосистема достигла устойчивости на ранних стадиях своего развития, то стимулы для ее дальнейшего развития оказываются сильно ограниченными, особенно если она существует в стабильных условиях среды. Особенно много таких экосистем с древними, устойчивыми биоценозическими связями, включающими очень древние формы организмов, существуют в морях, особенно в глубинных водах, а также в тропических лесах, на некоторых островах, где внешние условия мало изменились по сравнению с очень древними геологическими периодами и эпохами. Так, кораллы известны с нижнего Кембрия, акулы – с Девона; до сих пор живет в Мировом океане кистеперая рыба латимерия и примитивный моллюск неопилина, очень похожие на своих предков, которые жили в Девоне и в Кембрии.

Эволюционный процесс в таких стабильных экосистемах идет медленно и по типу идиогенезов, т. е. бесконечного варьирования некоей единой схемы, с увеличением числа экологических ниш и их одновременного сужения. Взаимодействие организмов между собой в таких экосистемах приводит к известной согласованности их изменений, что значительно понижает вероятность закрепления мутаций, изменяющих их, и повышает вероятность закрепления исходного типа.

Эволюционный процесс в таких стабильных экосистемах идет с минимальной скоростью, преобладают процессы микроэволюции (возникновение новых морф, разновидностей, подвидов и видов, реже родов и семейств). За очень долгое время могут возникать и более высокие таксоны, так как между микро- и макроэволюцией принципиальных различий нет (рис. 37).



1 – ИСХОДНЫЙ УРОВЕНЬ ОРГАНИЗАЦИИ; 2 – НОВЫЙ УРОВЕНЬ ОРГАНИЗАЦИИ, ВОЗНИКШИЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ АРОГЕНЕЗА; 3 – ИДИОГЕНЕЗЫ, ВОЗНИКНОВЕНИЕ МНОГОЧИСЛЕННЫХ ВАРИАНТОВ ОРГАНИЗАЦИИ, ВОЗНИКШЕЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ АРОГЕНЕЗА; 4 – ДОСТИЖЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА В РЕЗУЛЬТАТЕ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО РЕГРЕССА; КАТАГЕНЕЗ.

Рис. 37. Арогенез, идиогенез и катагенез

Существенное ускорение эволюционного процесса происходит при таких изменениях окружающей среды, при которых нарушается устойчивость экосистем. Если эти нарушения велики, происходит вымирание многих организмов, и их экологические ниши могут быть какое-то время не заняты. Нарушения стабильности экосистем приводят к активизации процессов отбора, так как элиминируются теперь как раз исходный, средний тип, а различные мутации, так или иначе приспособленные к изменившимся условиям, выходят «из-под гнета» прежнего доминанта. При этом скорость эволюционного процесса повышается, и он идет по преимуществу по типу арогенезов, т. е. резких изменений морфологии и физиологии, в результате чего организм переходит на новую стадию развития, при этом изменения таковы, что образуются таксоны высокого ранга – не ниже семейства.

Нарушение устойчивости экосистемы является экологическим кризисом (глобальным, региональным или локальным, в зависимости от величины территории, количества экосистем и таксонов, которые в него вовлечены и скорости, с которой он протекает). Такой кризис может быть вызван изменениями климата, возникновением или исчезновением межконтинентальных соединений, а в наше время – антропогенными воздействиями.

Чем крупнее экологический кризис, тем реже он встречается в истории Земли. Такие кризисы оказывают решающие воздействия на процессы макроэволюции. Они создают условия среды, неблагоприятные для одних таксонов, но благоприятные для других, и как следствия – крупномасштабные переселения и вымирания многих видов, резкое ускорение темпов эволюции и возникновение новых крупных таксонов.

Эволюция – не стихийный, как кажется на первый взгляд, процесс. Есть ряд законов, управляющих ею, и среди них важнейшие следующие.

1. Закон Копа. Новые таксоны происходят не от высокоспециализированных форм, а от малоспециализированных, сохранивших эволюционную пластичность. Так, высокоспециализированные двоякодышащие рыбы оказались эволюционным тупиком; они сохранились в специфических экологических нишах периодически пересыхающих водоемов аридных зон, и современные двоякодышащие рыбы мало отличаются от палеозойских. В то же время менее специализированные кистеперые рыбы, также приспособившиеся к дыханию атмосферным воздухом, дали начало земноводным, а через них – всем другим классам наземных позвоночных.

2. Первый закон Депере. Таксоны, вступившие в процессе эволюции на путь узкой специализации, неизбежно идут по этому пути и дальше. Так, семейство лошадей развивалось от малоспециализированных форм, питавшихся и древесной, и кустарниковой, и травяной растительностью, и населявших и леса, и открытые пространства, с 4-мя – 3-мя пальцами на ногах и имевших зубы с мягкой эмалью и низкими коронками, к современным формам, питающимся жесткой травяной растительностью степей и полупустынь, в морфологическом плане отличающиеся наличием всего одного пальца на каждой ноге и зубами с твердой эмалью и высокой коронкой.

3. Второй закон Депере. По мере хода геологического времени выживающие формы увеличивают свои размеры и массу и затем вымирают. В ходе эволюции динозавров в Мезозое и крупных плацентарных млекопитающих в Кайнозое можно неоднократно наблюдать проявление этого закона.

4. Закон Долло. Организм, популяция или вид не может вернуться к прежнему состоянию, уже осуществленному в ряду его предков, даже если он вернется в среду их обитания (закон необратимости эволюции). К примеру, дельфины и ихтиозавры, обитая в одной среде со своими предками рыбами, приобрели вторично их внешнюю форму, но по внутреннему строению тела и по физиологии первые остались млекопитающими, вторые – особым классом позвоночных, близким к рептилиям.

5. Закон Маркова. Чем сложнее организм, тем быстрее он эволюционирует по пути дальнейшего усложнения. Эволюция рыб, амфибий и рептилий шла гораздо медленнее, чем эволюция птиц и млекопитающих.

Формообразование в процессе эволюции далеко «разводит» генетически близкие формы, имеющие общее происхождение, вследствие их расхождения по отдаленным экологическим нишам и возникновения у них различных жизненных форм. Когда исследования скрытого родства внешне схожих видов осуществляется на анатомо-морфологическом уровне, удавалось фиксировать родство на уровне семейств, отрядов, классов. В настоящее время использование генетических методов привело к выяснению родства организмов, относящихся даже к разным царствам живой природы, в связи с чем возникает потребность пересмотра систематики наиболее высоких таксонов. Исследования О. Г. Кусакина и Я. И. Скоробогатова неожиданно показали, что бурые водоросли, многоклеточные животные (кроме губок) и грибы должны быть отнесены к единому высшему таксону. Таксон такого же ранга должны составлять губки, следующий таксон – высшие растения и водоросли, кроме бурых, далее – одноклеточные животные (протисты) и, наконец, последний таксон – прокариоты.

Количество энергии, необходимое для поддержания жизнедеятельности того или иного вида, очень часто определяется размерами, а размер – и следствие эволюции, и ее причина.

Роль размера в экологии наземных растений определяется преимуществом крупных форм в получении наибольшего количества солнечного света по сравнению с мелкими формами, которые часто бывают затенены крупными растениями, а также более длинными и объемными корневыми системами, что особенно существенно

в аридных зонах. Крупное растение получает больше солнечного света за счет высоты ствола, поднимающего раскидистую крону как можно выше, увеличения количества и величины листьев и подавляет конкурентов как своего, так и чужих видов. Интересно, что в безлесных сообществах точно так же ведут себя и травянистые растения. Среди них есть крупные и мелкие, и они так же конкурируют за свет Солнца, как и деревья. Есть разновысокие формы и у суккулентов, но здесь увеличение размеров связано с количеством запасаемой в тканях воды, так как суккуленты обычно не образуют плотных насаждений и не конкурируют из-за света. Как правило, крупные растения живут дольше, чем мелкие. В то же время есть приспособления, связанные с уменьшением размеров растений. Многие мелкие растения стали эпифитами. Поселяясь на стволах деревьев-гигантов, они «пробираются поближе к Солнцу».

В принципе размеры деревьев ограничены законом всемирного тяготения и прочностью древесины. Поэтому самые длинные растения не деревья, а опирающиеся на них вьющиеся лианы. Самые высокие деревья имеют высоту порядка 100 м, а лианы ротанги имеют длину до 200–300 м. Но наибольшую длину имеют водоросли, теряющие в воде вес по закону Архимеда (макроцистис – до 400 м).

Размеры животных связаны с особенностями их термического режима и прочностью опорных структур. У теплокровных, согласно правилу Бергманна, более крупные размеры способствуют экономии энергозатрат. Но по той же причине (при увеличении линейных размеров объем, а следовательно и вес, увеличиваются пропорционально кубу размеров) у крупных животных резко увеличивается нагрузка на скелет. Отсюда предел допустимых масс сухопутных животных 50–75 т (растительоядный ящер брахиозавр, Юрский период). В то же время морские животные (в силу закона Архимеда) достигают вдвое больших масс – наиболее крупный синий кит имел массу 136 т.

У большинства сухопутных теплокровных животных возникает дилемма. Они должны стать очень крупными, чтобы быть недоступными для хищников, но при этом страдать от перегрева (самые крупные тропические животные не имеют шерстного покрова, а самые крупные шерстистые животные живут на севере). Или, наоборот, стать очень мелкими, чтобы быть незаметными, прятаться

в незначительных укрытиях, но при этом терять с поверхности тела очень много энергии и постоянно ее восполнять (землеройки поедают в день массу корма в 3–4 раза больше собственной массы).

У членистоногих и иглокожих масса и размеры тела лимитируются особым строением опорного аппарата – помещением тела внутри скелета, что ограничивает возможности мышечной силы для перемещения крупного тела (хотя мышцы насекомых относительно в несколько раз сильнее мышц позвоночных). У беспозвоночных, не имеющих наружного скелета, размеры лимитируются силой тяжести – без опорных структур трудно поднять тело большого размера. Поэтому наземные и водные членистоногие и иглокожие сравнительно невелики (краб макрохейра имеет длину ног до 2,5 м и массу до 7 кг, офиура «голова Горгоны» – до 2 м в диаметре с расправленными щупальцами). В то же время бесскелетные беспозвоночные в воде достигают размеров, сравнимых с крупными позвоночными: медуза цианея полярная имеет диаметр колокола до 2 м и длину щупалец до 30 м, гигантский кальмар архитевтис – длину с расправленными щупальцами до 19 м и массу до 8 т. Сухопутные беспозвоночные неизмеримо меньше.

Все же большинство животных в процессе эволюции шло по пути миниатюризации. Так, самые прогрессивные, самые многочисленные и самые широко распространенные отряды теплокровных – грызуны и воробьинообразные – имеют наибольшее количество мелких форм, не говоря уже о классе насекомых – самом распространенном на суше и самом богатом видами вообще классе живых существ на Земле. Подавляющее большинство насекомых мелкие и очень мелкие, даже немногочисленные «гиганты» этого класса не более 20–30 см (бабочка серая агриппина имеет размах крыльев до 28 см, гигантский палочник достигает в длину 33 см).

Короткий срок жизни мелких животных и их высокая смертность в результате нападений хищников, аномальных изменений погоды и т. п. (для высокогорных яков выпадение снега летом и его таяние через день-два проходит незаметно, а для живущих там же снежных полевок это стихийное бедствие) компенсируется высокой плодовитостью и короткими сроками развития эмбрионов. При этом продуктивность популяций многочисленных мелких животных с высокой интенсивностью

метаболизма может быть намного выше продуктивности малочисленных и медленно развивающихся крупных животных.

Возрастание смертности, соответствующее потере биомассы у мелких и крупных животных на одну и ту же долю популяции, приводит к гораздо более быстрому вымиранию крупных животных, чем мелких. При этом у крупных животных остается гораздо меньше особей, поэтому меньше шансов на встречу самок с самцами и больше шансов, что встретятся близкородственные особи, что ухудшает качество потомства. Как пример приведем данные по бурым медведям и красным полевкам.

Популяция бурого медведя из 200 особей (120 детенышей, 60 самок, 20 самцов). Средняя масса 200 кг, срок жизни до 40 лет. Половая зрелость в 4 года. Спаривание раз в два года, количество детенышей на одну самку в среднем 2. Участок самца около 2 тыс. км², в его пределах 2–3 участка самок. Популяция занимает площадь в 40 тыс. км², масса ее 40 т.

Популяция красной полевки. Средняя масса 20 г, популяция массой в 40 т состоит из 2 млн особей. Срок жизни до 2-х лет, половая зрелость в возрасте 1 месяца, спаривание 3–4 раза в год, среднее количество детенышей на одну самку 6, в среднем за индивидуальную жизнь самка приносит 20 детенышей. Участок самца до 2 тыс. м², на нем располагаются 2–3 участка самок, площадь, занимаемая популяцией, около 800 км².

Если гибнет половина популяции медведей, остается 10 самцов, 30 самок, 60 детенышей. На следующий год размножается 15 самок, появляется 30 детенышей. Из 60 особей молодняка 15 становятся взрослыми, из взрослых погибает 10, остается 75 молодых, 35 самок, 10 самцов, итого 120. На второй год размножается 17 самок. Из 75 особей молодняка 25 станут взрослыми, из взрослых погибнет 10. Остается 85 молодых, 45 самок и 15 самцов, итого 145 и т. д. Полностью популяция восстановится на 4-й – 5-й год.

Если погибнет половина популяции красной полевки, остается 1 млн особей. 200 тыс. взрослых самок дадут за год 1200 тыс. детенышей, из них 600 тыс. молодых самок дадут еще 3600 тыс. потомства. Даже если $\frac{2}{3}$ их погибнет, остается 2 млн. Таким образом, популяция восстановится за один год (табл. 15).

Таблица 15

**Изменения численности животных и их последствия
в зависимости от размеров животных**

<i>Вид животного</i>	<i>Бурый медведь</i>	<i>Красная полевка</i>
Биомасса	40 т	40 т
Количество особей	200	2,5 млн
Территория, занятая популяцией	20–40 тыс. км ²	800 км ²
Величина индивидуального участка	100–200 км ²	320 км ²
Снижение биомассы вдвое	20 т	20 т
Количество особей	100	1,25 млн
Величина индивидуального участка	200–400 км ²	640 км ²
Сроки восстановления популяции	4 года	1 год

Поскольку возрастание смертности всегда бывает связано со снижением стабильности экосистем, то можно сказать, что в стабильной экосистеме крупные животные имеют преимущества перед мелкими, в условиях же потери такой стабильности преимущества имеют мелкие перед крупными. А поскольку именно среди мелких видов всегда больше малоспециализированных, экологически и эволюционно пластичных форм, то при исчезновении крупных высокоспециализированных форм и освобождения ими экологических ниш мелкие, малоспециализированные и быстро размножающиеся формы и дают тот самый всплеск формообразования, который и характеризует арогенезы, связанные с кризисными этапами в истории биосферы.

После экологического кризиса вновь наступает спокойный период, снова темпы эволюции снижаются, она идет преимущественно в форме идиогенезов; снова заполняются все свободные экологические ниши, снова появляются высокоспециализированные формы, в том числе и животные крупных размеров. Так, в Мезозое наиболее крупные формы мы видим среди рептилий, млекопитающие же в основном мелкие. В Кайнозое, когда рептилии крупных размеров вымерли, началось бурное развитие крупных млекопитающих, большинство из которых вымерло в эпоху плейстоценовых оледенений; к этому времени относится и массовое видообразование у грызунов.

ГЛАВА 20

Экологические предпосылки происхождения человека

Фоном для изучения эволюции любого вида, включая человека, является его экология. Вопрос о происхождении человека необходимо рассматривать на фоне определенной окружающей среды, как природной, так и социальной, в которой преимущества человеческого бытия превышали бы затраченные усилия.

Для выяснения происхождения человека большое значение имели труды Ч. Дарвина и А. Уоллеса о происхождении видов путем естественного отбора. Хотя в этих трудах проблема происхождения и эволюции человека прямо не ставилась, многим стала очевидна возможность решения данной проблемы именно на этом пути.

Идеи Ч. Дарвина были поддержаны такими крупными учеными XIX века, как Т. Хаксли и Дж. Гукер в Англии, Э. Геккель и К. Фогт в Германии, Н. А. Северцов, братья А. О. и В. О. Ковалевские и К. А. Тимирязев в России, О. Марш и А. Грей в США и др.

Сам Ч. Дарвин вернулся к вопросу о происхождении человека в 1871 г., в книге «Происхождение человека и половой отбор». В ней обобщены многочисленные собственные наблюдения и наблюдения других ученых за поведением высших обезьян, проведены многочисленные параллели между поведением маленьких детей и детенышей человекообразных обезьян, в частности, в выражениях эмоций, проанализированы анатомо-морфологические сходства между обезьяной и человеком и делается вывод о происхождении человека и высших обезьян от общих предков. Высказано предположение, что местом происхождения была, скорее всего, Африка, где обитает два (теперь мы знаем – три) вида человекообразных обезьян.

Ч. Дарвин не ставил знак равенства между человеком и животным, в чем обвиняли его критики, признавал качественное отличие человека, как носителя разума, от животных, но подчеркивал на основании «печати низкого происхождения» общность примитивных предков человека и животного.

Отметим, однако, что в те времена было еще очень мало палеонтологического материала (основные палеонтологические находки были сделаны уже в XX веке, причем во второй его половине, и в начале XXI века), очень мало исследований по этологии и зоопсихологии и совсем не было генетических данных.

Особенности эволюции человека связаны с двумя причинами: 1) принадлежность к млекопитающим, приматам, животным с наземным образом жизни; 2) среда, в которой мы существуем.

По современным воззрениям, общими предками как семейства Гоминиды (люди), так и семейств Гиббоны и Понгиды (человекообразные обезьяны) были олигоценовые парапитеки. Одновременно с ним были найдены и останки проплиопитека, явно родственное ему более совершенное существо, напоминающее современного гиббона, но более мелкое.

Проплиопитек считается непосредственным предком миоценового плиопитека, еще более похожего на современного гиббона, только более мелкого, современных гиббонов, а также очень интересной группы обезьян, именуемых (разные роды или подроды) дриопитеками, сивапитеками и проконсулами. Ископаемые останки этих обезьян найдены в достаточно большом количестве в Западной Европе, Южной Азии и Восточной Африке. Это прямоходящие существа, без надглазничных валиков, с верхними резцами, очень похожими на человеческие, и со слабо выраженными клыками.

Азиатские представители этой группы сивапитеки найдены в миоценовых отложениях Индии и Восточной Африки. По строению зубов близки к современным орангутанам. В Восточной Африке был найден другой представитель этой группы – проконсул. Его считают предком шимпанзе, гориллы и человека.

Хотя европейские собственно дриопитеки по строению зубов ближе к человеку, чем остальные представители группы, многие специалисты выводят предков человека все-таки от проконсула,

и вот почему. Поздние дриопитековые встречаются также в нижнем Плиоцене, где одновременно с ними встречены более совершенные формы обезьян – рамапитеки, впервые обнаруженные в Индии, а затем в Кении (кенияпитек). Возраст находок 12–14 млн лет. В Европе после дриопитека и в Азии после рамапитеков никаких ископаемых антропоидов больше не найдено, вплоть до уже довольно совершенных питекантропов. В Африке же проконсул дал три ветви: первая, тупиковая, ранее считавшаяся предком человека человекообразная обезьяна рамапитек (кенияпитек). У нее объем мозга составлял около 480 см^3 (меньше, чем у современных горилл и шимпанзе, но, так как она была по массе заметно меньше их, отношение массы мозга к массе тела – мозговой индекс – был у нее ближе к человеку, чем у гориллы или шимпанзе). Вторая ветвь дала современных африканских человекообразных обезьян, а третья – сахелантропов и их потомков ардипитеков, непосредственных предков австралопитеков, а через них людей.

Прямохождение, отмеченное у проконсула, рамапитека и ардипитека, может свидетельствовать об их обитании не в лесах, а в саваннах, тем более, что переход от Миоцена к Плиоцену ознаменовался дальнейшей аридизацией климата и уменьшением вследствие этого площадей лесов.

В целом родословное древо обезьяноподобных предков человека и высших обезьян выглядит следующим образом (рис. 38).

Австралопитеки – семейство человекообразных обезьян, имеющих больше сходства с гоминидами, чем с понгидами, включающее несколько видов, обитавших от Южной Африки до Танзании, Кении и Эфиопии. Возраст находок от 10 до 3 млн лет назад. Находки их многочисленны, но за пределами Африки они не встречены. Австралопитеки были прямоходящими, жили, скорее всего, в саваннах, имели слабо дифференцированную зубную систему, близкую к человеческой, и объем мозга $430\text{--}600 \text{ см}^3$. Вес их колебался от 20 до 70 кг.

В связи с этим необходимо заметить следующее. Сам по себе вес мозга мало о чем говорит. Большее значение имеет мозговой индекс, т. е. отношение веса мозга к весу тела (табл. 16). Средний вес мозга современного человека равен 1375 г. Вероятно, величина

мозга в некоторой степени определяет умственные способности человека. Так, Оливер Кромвель, Джордж Байрон, Иван Тургенев, Владимир Ленин имели вес мозга свыше 2000 г, Жорж Кювье – 1861 г. В то же время мозг Альберта Эйнштейна весил 1380 г, Анатоль Франса – 1100 г. Так что полной корреляции тут нет.

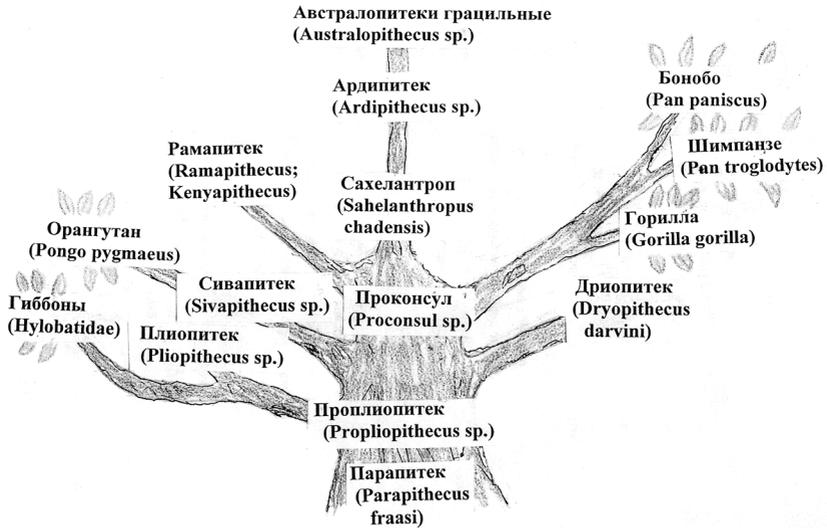


Рис. 38. Родословная человекообразных обезьян
(по: Лавджой, 1982, 1989; Фоули, 1990; Марков, 2012)

Австралопитеки представлены несколькими видами, которые разделяют на «грацильных» и «мощных». Первые – более древние, их рост составлял 100–125 см, вес – 20–40 кг, а вес мозга 430–600 г; вторые – более поздние, появились около 3,5 млн лет назад, их рост был до 150 см, вес колебался от 40 до 70 кг, а вес мозга 500–550 г. «Грацильные», с одной стороны, походили на ардипитеков, от которых и произошли, а с другой стороны, имели больше «человеческих» черт в строении скелета и зубной системы, чем более поздние «мощные», произошедшие, в свою очередь, от «грацильных». «Грацильные» имели довольно крупные клыки и резцы, несовершенное прямохождение, небольшой лоб. Их строение показывает, что они, скорее всего, обитали в саваннах, были всеядными, могли

использовать в качестве орудий камни и палки без их обработки (рис. 39). «Мощные» имели более массивный жевательный аппарат, прямохождение несовершенное, лоб почти отсутствовал, жили также в саваннах, орудий, скорее всего, не употребляли, питались преимущественно растительной пищей.

Таблица 6

**Соотношение веса мозга и веса тела у некоторых животных,
у современных и первобытных людей**

<i>Вид</i>	<i>Отношение веса мозга к весу тела</i>	<i>Вид</i>	<i>Отношение веса мозга к весу тела</i>
Вымершие рептилии		Собака	1 : 145
Брахизавр	1 : 333 000	Шимпанзе	1 : 125
Диплодок	1 : 20 000	Дельфин	1 : 118
Трицератопс	1 : 171 000	Вымершие антропиды и человек	
Стегозавр	1 : 133 000	Австралопитек «мощный»	1 : 117
Тираннозавр	1 : 30 000	Австралопитек «грацильный»	1 : 67
Струтиомим	1 : 1000	Человек умелый	1 : 62
Современные млекопитающие		Человек выпрямленный (питекантроп s. l.)	1 : 75
Кашалот	1 : 5900	Гейдельбергский человек	1 : 60
Слон	1 : 2200	Неандерталец классический	1 : 53
Горилла	1 : 500	Человек современный	1 : 58

«Грацильные» австралопитеки, кроме «мощных», дали начало еще одной эволюционной линии, приведшей в итоге к появлению современных людей. Первый представитель этой линии, названный человеком умелым имел рост 120–140 см, вес 30–50 кг, а вес мозга 500–800 г. Появились «умелые» около 3,7 млн лет назад (возможно и раньше), т. е. раньше «мощных», возможно, почти одновременно с ними. Доказательством происхождения «умелых» от австралопитеков стала находка так называемого «рудольфского

человека», зубы которого имеют промежуточный характер между зубами одного из видов австралопитеков, австралопитека афарского, и «умелого».

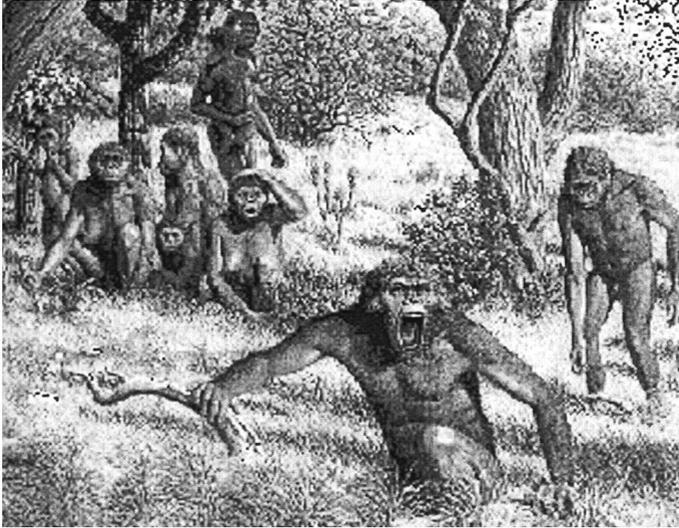


Рис. 39. Грацильные австралопитеки (<http://evolbiol.ru>)
(по Маркову, 2012)

«Умелые» имели довольно высокий лоб, были прямоходящими, обитали в саваннах, всеядны; возможно, умели строить примитивные жилища, но главное – умели изготавливать примитивные орудия (расщепы галек, рубила). Первые находки «умелых» и изготовленных ими орудий сделаны антропологом Л. Лики, его женой М. Лики и сыном Р. Лики, в Олдувайском ущелье, в Танзании, на территории национального парка Серенгети, начиная с 1959 г. (рис. 40).

Почему же «очеловечивание» австралопитеков происходило на весьма небольшой территории Восточной Африки? Недавно еще считалось, что сокращение площадей лесов в Плиоцене и Плейстоцене привело к тому, что обезьяны были вынуждены покинуть леса, при этом они переходили к прямохождению, а руки высвобождались для использования, а потом и для изготовления орудий. Но, по крайней мере, современные обезьяны очень неохотно покидают

свои территории и при резких изменениях климата, вызывающих преобразования их коренных биотопов, просто гибнут. Такая же, вероятно, была судьба многих неогеновых приматов при изменениях климата и сокращении площади влажных тропических лесов.

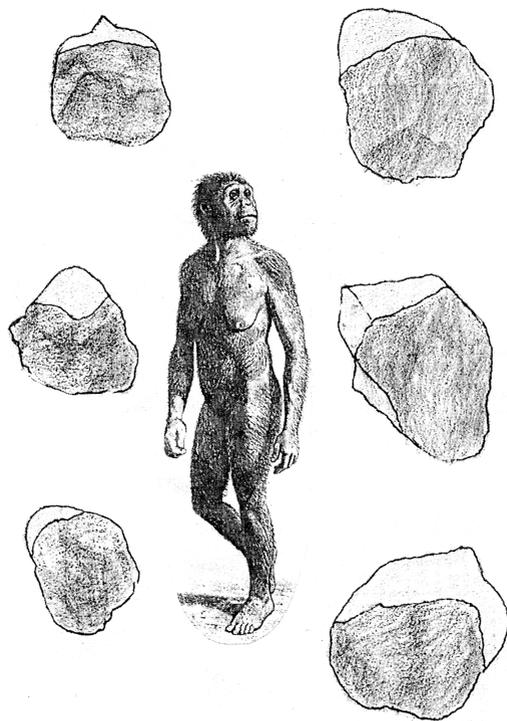


Рис. 40. Человек умелый (*Homo habilis*) и его наиболее примитивные каменные орудия; олдувайская культура

В то же время формы, имевшие некоторую преадаптацию (прямохождение, хотя бы и несовершенное, малодифференцированная зубная система, приспособленная к питанию разнообразной пищей), могли иметь в этих условиях значительным преимуществом. Поскольку находки человека умелого и мощных австралопитеков находят в одних и тех же слоях, то они жили в одних и тех же условиях,

и, следовательно, климатические изменения не стимулировали их эволюцию: в одних и тех же условиях сформировались от общего предка совершенно разные виды. Вряд ли смена зоны обитания (с леса на саванну) привела к изменению наших предков столь радикально. Трансформации внешней среды подобного рода были и раньше, и позже, но почему-то не давали подобных результатов.

Логично предположить, что в популяции «грацильных» возникли мутации, положившие начало этим двум ветвям. А толчком к возникновению мутаций именно в Восточной Африке были интенсивные рифтовые разломы, происходившие здесь как раз 3,5–5,0 млн лет назад. При этом обнажались выходы пород, содержащих радиоактивные элементы, повышался уровень естественного радиоактивного фона, что вызвало учащение мутаций.

Сейчас большинство специалистов считают, что человечество возникло один раз, в одном месте (Восточная Африка) и в одно время (3,5 млн лет назад).

В слоях, относящихся к 0,4–2 млн лет назад, находят остатки более совершенного человека, чем человек умелый. Первая находка была сделана на Яве в 1891–1892 гг. Э. Дюбуа. Вновь найденный антропоид был назван питекантропом, или обезьяночеловеком выпрямленным. Питекантропы обладали сильно развитыми надглазничными валиками, мощным затылком, сильно развитыми челюстями, лоб был довольно покатым, но прямохождение было ясно выражено. Вес головного мозга был от 700 до 900 г., мозговой индекс 1 : 75, что меньше, чем у человека умелого.

В 1927–1933 гг. вблизи Пекина, на холме Лунгушань, в пещере Чжоукоудян Д. Блэк, П. Тейяр де Шарден и Пэй Вэньчжун нашли большое количество костей существ, напоминающих питекантропов, их орудий, кухонных остатков, а главное – большой слой золы, свидетельствующий, что обитавшие в пещере люди пользовались огнем. Возраст находок 0,4–0,6 млн лет. Люди эти, названные синантропами («китайскими людьми»), в отличие от питекантропов имели несколько большую массу мозга (до 1050 г) и мозговой индекс (1 : 64).

В 1960 г. Л. Лики находит питекантропов и в Африке, выделив их в особый вид «человек работающий» Возраст их более древний, чем у азиатских питекантропов, около 1,9 млн лет. Человек умелый

дожил до этого времени и какой-то период (1,9–1,2 млн лет) «умелые» и питекантропы сосуществовали (мирно или нет – это другой вопрос).

Питекантропы пользовались еще достаточно примитивными орудиями, но все же более разнообразными, чем человек умелый. Человек умелый и человек выпрямленный составляют группу древнейших людей – архантропов.

Человек умелый – непосредственный потомок «грацильных» австралопитеков, какая-то часть его популяции, видоизменившись в результате мутации, дает начало человеку выпрямленному. Доказательством служит так называемый «череп № 1470», найденный в Кении. Это череп человека, имевшего рост около 160 см и массу мозга 752 г (что перекрывает нижний предел веса мозга питекантропа). Зубная система имеет смешанные признаки «умелого» и питекантропа. Похож на него «чадантроп» из Республики Чад, также со смешанными чертами «умелого» и «выпрявленного». Возраст этих находок около 1,8–1,9 млн лет.

Исключительный интерес представляют находки, сделанные в Грузии, в пещере Дманиси, начиная с 1991 г. «Человек из Дманиси» имел возраст около 1,77 млн лет, и это древнейшая находка человека за пределами Африки. Череп его имел примитивные признаки, характерные для «умелого», в частности: масса мозга была около 600–680 г. и по мозговому индексу, по строению рук и особенно плечевого сустава «человек из Дманиси» был ближе к «умелому», чем к «выпрявленному». Но строение ног и позвоночника сближают «человека из Дманиси» с человеком выпрямленным. Мы имеем, таким образом, переходную форму между «умелым» и «выпрявленным», что дало основание отнести его к особому виду «человек грузинский».

«Выпрявленные» вскоре заселяют тропическую Азию, которая была соединена с Африкой континентальным мостом (рифты Красного моря и Персидского залива еще не образовались). Заселяют они и Европу.

В 1991–1993 гг. испанские археологи обнаружили ряд стоянок гоминид возрастом 1,3–0,6 млн лет, названных ими человеком предшественником. Череп демонстрирует необычную смесь признаков

«выпрямленного», неандертальца и современного человека. Крупные надбровные дуги, длинная и низкая черепная коробка, массивная нижняя челюсть и крупные зубы сближают его с неандертальцем. Лицо же было относительно плоским и не выдавалось вперед, масса мозга около 1000 г, что скорее свойственно «выпрямленным». Найденные здесь же орудия – примитивные, похожие на орудия человека умелого.

Питекантропов, синантропов и человека работающего сейчас относят к одному виду – человек выпрямленный, а человека предшественника считают переходным видом к более высокоразвитым гоминоидам (рис. 41).

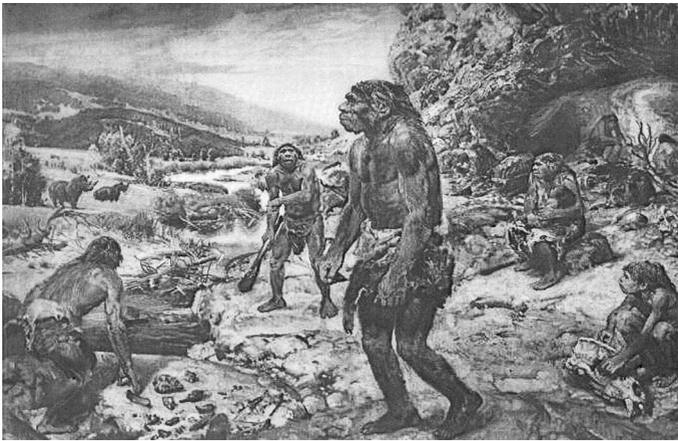


Рис. 41. Человек выпрямленный (питекантроп) (<http://evolbiol.ru>)

Яванский питекантроп и синантроп не были прямыми предками современного человека, в развитии гоминоид это тупиковая ветвь, но довольно далеко ушедшая в своем развитии: они изготовляли орудия и пользовались огнем.

Современный человек произошел от более продвинутой ветви «выпрямленных». В 1907 г. в Германии была найдена нижняя челюсть очень похожего на питекантропа гейдельбергского человека. Далее длительное время новых находок этого вида не было и предположили, что попавшие в Европу питекантропы погибли во время самого большого оледенения – Рисского. Но история

гейдельбергского человека оказалась «с продолжением». В 1923 г. в Южной Родезии (ныне Зимбабве) были найдены останки «Родезийского человека», которого первоначально отнесли к неандертальцам. Затем были еще находки в Африке, Южной Азии (в том числе на Яве). Возраст находок от 800 до 130 тыс. лет. Как сейчас стало ясно, все эти находки принадлежат к виду высокоразвитых «выпрямленных», который был по правилу приоритета назван гейдельбергским человеком. Средняя масса мозга у них была почти как у современных людей (1100–1400 г), но по строению конечностей это были все же «выпрямленные». Анатомическое строение гейдельбергских людей позволяет считать их прямыми предками как неандертальцев, так и современных людей (рис. 42).

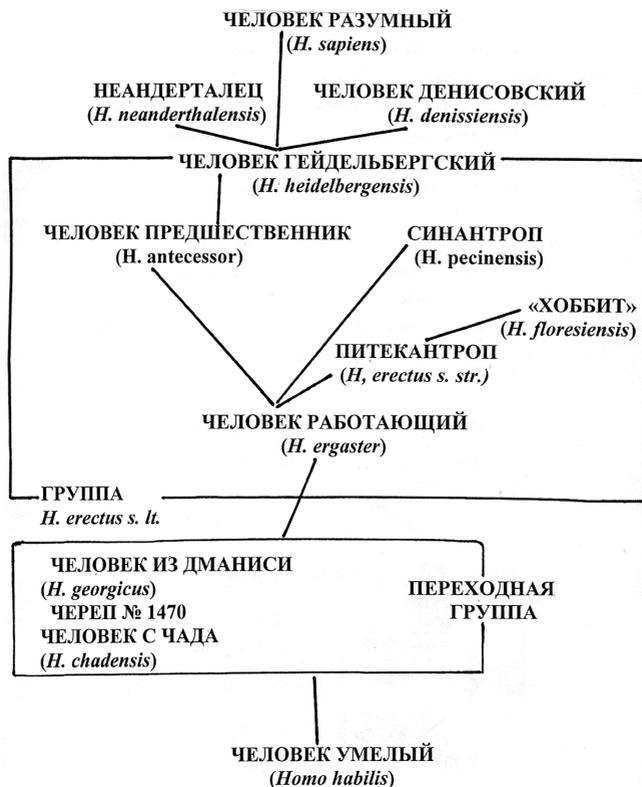


Рис. 42. Родословная человека (*Homo sp.*) (по Маркову, 2012)

Следовательно, складывается непрерывная линия от ранних «выпрямленных» (человека работающего) к человеку предшественнику, а от него к гейдельбергским людям. К периоду существования гейдельбергских людей относятся также находки первых неандертальцев в Европе и первых современных людей в Африке. Видимо, более суровые условия обитания на периферии ледника в Евразии способствовали формированию неандертальцев, а более комфортные условия в Африке – современных людей.

Неандертальцы, судя по строению подбородка и других костей черепа, обладали членораздельной речью. Некоторые находки – насыпанные красной охрой могилы, ограждения вокруг них из рогов диких козлов, пятна охры в определенном порядке, симметричные кучки камней – говорят о наличии каких-то обрядов. Словом, можно предположить, что перед нами наши предки – древние люди (палеоантропы) (рис. 43).

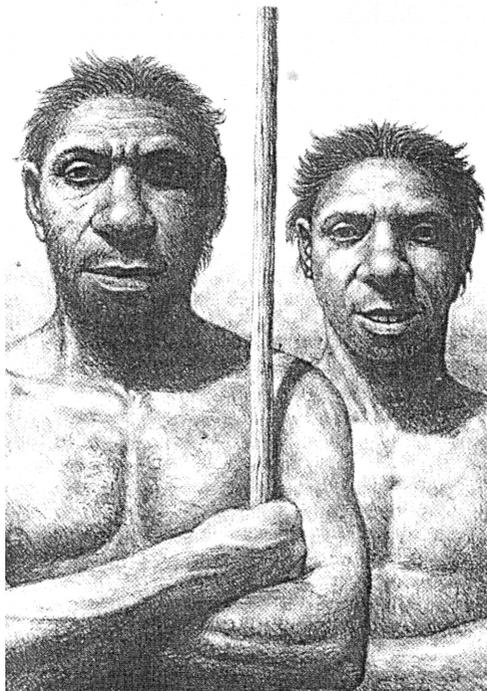


Рис. 43. Гейдельбергские люди (по Маркову, 2012)

Многочисленные останки неандертальцев, а также остатки их добычи, грубые, но довольно разнообразные орудия, кострища и пр. были обнаружены от Южной Англии до Северной Африки и Ближнего Востока и от Германии до Средней Азии и Алтая. Не найдены они в Америке, Австралии, на большей части Африки и в Северо-Восточной Азии.

Но вот некоторые несуразности. Гейдельбергские люди имели вес мозга около 1350 г., довольно крутой лоб, слабо выраженные надбровные валики, ходили, выпрямив спину. «Классические» неандертальцы сутулились, отчего их рост казался ниже, чем у гейдельбергцев, но они имели более развитую мускулатуру рук. Масса мозга у них доходил до 1600 г., мозговой индекс 1 : 53, больше чем у современных людей, но лоб был покатым и надглазничные валики лучше выражены. Мощный скелет свидетельствовал о большой физической силе. Получалось, что гейдельбергцы были больше похожи на современных людей, чем неандертальцы. Наиболее ранние находки неандертальцев сделаны 400–150 тыс. лет назад (сравнимо с находками последних гейдельбергцев), а поздние – до 24 тыс. лет назад в Европе, Средней Азии и Южной Сибири. Так что неандертальцы являются особой ветвью потомков гейдельбергских людей, развивавшейся параллельно и одновременно с современными людьми (рис. 44).



Рис. 44. Неандертальцы (по Маркову, 2012). (<http://evjbiol.ru>)

Гейдельбергцев и неандертальцев сейчас относят к древним людям (палеоатропам), но видимо были еще и другие палеоантропы.

В 1967 г. В Эфиопии у селения Кибиш Р. Лики (сын Л. Лики) нашел два черепа людей современного типа. Позднее возраст находки был определен в 290–200 тысяч лет (перекрывает существование гейдельбергского человека и ранних неандертальцев). Сейчас к находкам современных людей такого возраста применяют термин «анатомически современные люди» на том основании, что, хотя по строению черепа и скелета они соответствуют современным людям, но использование ими примитивных орудий, свойственных человеку выпрямленному и даже человеку умелому, отсутствие украшений, признаков искусства и религиозных обрядов свидетельствует о том, что по уровню культуры они еще «не дотягивали» до современных людей. Там же впоследствии были найдены черепа с более архаичными чертами, позволяющими предположить переход от гейдельбергских людей непосредственно к современному человеку. Постепенно формируется точка зрения, что африканские гоминиды не имеют между собой резких границ и все связаны между собой переходными формами.

Первыми людьми, которых можно уже с полной достоверностью отнести к современным (неоантропам), были кроманьонцы (названы по месту первой находки, в пещере Кро-Маньон во Франции). Они отличались высоким сводом черепа, хорошо развитым подбородочным выступом, прямым лбом и отсутствием надглазничных валиков, внешне фактически не отличались от современных людей. Они создали культуру позднего палеолита – разнообразные орудия из камня, кости и дерева, наскальную и пещерную живопись, что свидетельствует о прорыве в области умственной деятельности. Кроманьонцы обитали 80–35 тыс. лет назад, т. е. первые кроманьонцы – современники последних неандертальцев. Они дали начало современным расам (рис. 45).

Поворотным моментом в эволюции современного человека был процесс, изначально, видимо, случайный, в результате которого развитие мозга пошло не по пути дальнейшего увеличения его объема, а по пути его качественной перестройки.



Рис. 45. Кроманьонцы (современные люди) (<http://evoldiol.ru>)

Лобные доли больших полушарий – та часть мозга, которая ответственна за интеллект, контроль над поведением, сдерживание эмоций, подчинение, согласованное поведение. У современных людей лобные доли составляют по площади 24 % общей площади коры больших полушарий, у неандертальцев 18 %, а у шимпанзе и у архантропов до 14 %.

Неандертальцы жили группами, совместно охотились, но для сложного постоянного общения в коллективе они еще не годились, были во многом еще животными. Взрывы ярости, необузданных желаний или другие формы антагонизма раскалывали первобытные коллективы на небольшие группы, которым было трудно выжить в условиях тяжелой первобытной жизни. Те из неандертальцев, у кого интеллект был выше, и они могли изготавливать более совершенные орудия («мастера»), обычно по физической силе уступали «охотникам» и в борьбе за самку проигрывали им. В результате шел «отбор на тупость», интеллект вида в целом снижался.

Сознательное подчинение, самоограничение действий на пользу всего сообщества – вот чем отличался современный человек. Куда было устоять физически сильному, но эгоистичному неандертальцу против современного человека – дисциплинированного и организованного противника. Поговорка «сила есть – ума не надо» не оправдывалась и в те далекие времена.

Возможно, что вымирание последних неандертальцев не было вполне естественным и происходило при прямом участии

неоантропов, вытеснявших неандертальцев как конкурентов из их охотничьих угодий. Не исключено и прямое истребление. Копьем-талка с легким дротиком, а позднее лук и стрелы позволяли поражать цель с такого расстояния, на котором тяжелые копья и дубины неандертальцев были бесполезны. Как бы там ни было, на протяжении последних 24 тыс. лет ископаемые останки неандертальцев неизвестны. Возможно, какие-то жалкие остатки последних неандертальцев могли сохраниться в глубине малодоступных гор и лесов. Но там они деградировали, потеряли возможность изготовлять орудия, разучились добывать огонь и дали повод для легенд о «снежных людях» («йети», «алмасты», «чучуна», «патонах», «бигфутах» и пр.).

Экономической основой жизни архантропов было собирательство, поедание остатков добычи крупных хищников, в меньшей степени охота. Малодифференцированная зубная система как современного человека, так и его обезьяноподобных предков указывает, что они изначально были всеядными, что способствовало их переживанию в периоды, когда тот или иной корм был недоступен. Они могли легко перейти на другой. Изготовление орудий свидетельствовало, что все большую роль в их жизни стала играть охота, следовательно, они получали больше полноценной белковой пищи.

Палеоантропы уже освоили изготовление довольно разнообразных орудий из камня (нижний и средний палеолит), а неоантропы – орудий из хорошо обработанного камня (верхний палеолит), а затем и из отшлифованного (мезолит) и полированного (неолит) камня в сочетании с деревом и костью, а впоследствии перешли к выплавке металлов.

Культура верхнего палеолита закончилась крупным экологическим кризисом, охватившим огромные территории и связанным с уничтожением охотниками многих крупных животных. К слову заметим, что Африка – единственный континент, где деятельность первобытных охотников, по-видимому, не привела к значительному сокращению разнообразия крупных животных. Значительно большее негативное влияние оказали наши предки на фауну Евразии, где они ускорили вымирание мамонтовой фауны, а в Австралии и в обеих Америках приход человека и вовсе привел к катастрофическим последствиям.

Многие виды исчезали не от самой «большой охоты», а из-за изменений, вызванных человеком в окружающей среде. Г. Кранц приводит следующую схему для Северной Америки (рис. 46). Около 12 тыс. лет назад охота древних людей на мамонтов привела к тому, что стали исчезать саблезубы (смилодоны), охотившиеся преимущественно на них, а также и на бизонов. Бизоны размножились и вытеснили с пастбищ древних лошадей и лам. После этого исчезли охотившиеся на них ягуары (лошади, ламы и ягуары отступили в Южную Америку, где лошади были полностью истреблены последовавшими за ними людьми, так что, когда в XVI веке испанцы привезли в Америку лошадей, индейцы их не узнали). Человек не истреблял намеренно всех этих животных, но, выбив одно звено из сбалансированной экосистемы (мамонтов), он нарушил ее равновесие. П. Мартин указывает, что крупные животные в Плейстоцене исчезли тогда, когда ушел ледник и климат стал благоприятным. До этого они спокойно переживали смены ледников и теплых межледниковий. Другой причины их гибели, кроме истребления человеком, представить себе нельзя.

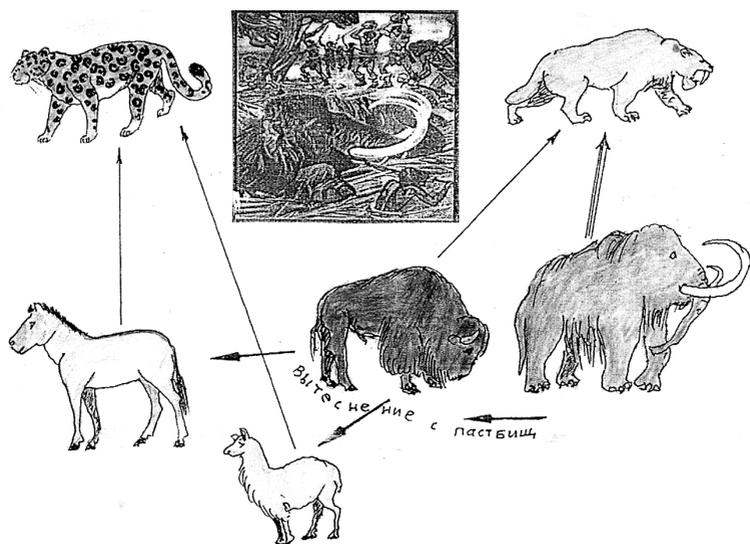


Рис. 46. Равновесная пищевая сеть верхнего плейстоцена Северной Америки и ее разрушение человеком

В Южной Америке переселенцы из Северной Америки быстро истребили лошадей, мастодонтов, гигантских броненосцев глиптодонтов и гигантских ленивцев мегатериев. В Австралии первобытные охотники уничтожили дипротодонтов, растительноядных сумчатых величиной с быка, но внешне похожих на морских свинок, гигантских кенгуру, отчего вымерли, лишившись своей привычной пищи, сумчатые львы и гигантские вараны мегалании, а завезенная человеком собака динго, одичав, вытеснила сумчатого волка. В Новой Зеландии уже в XVIII, а возможно, даже в XIX веке, маори истребили гигантских страусоподобных птиц моа (их было 27 видов, размерами от 0,5 до 3 м) и обитавшего на южном острове гигантского пингвина ростом до 2 м (рис. 47).

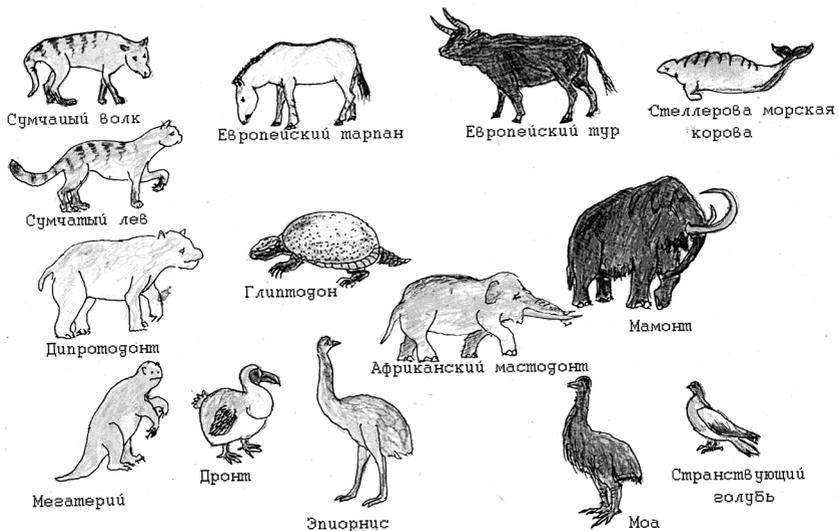


Рис. 47. Некоторые виды млекопитающих и птиц, истребленных человеком с конца палеолита до наших дней

Возможно, истребление мамонтов вызвало гибель неандертальцев, которые не сумели приспособиться к охоте на более мелких животных, а также на птиц и освоить ловлю рыбы, что быстро сделали кроманьонцы.

Почему древние люди почти никого не истребили на своем родном континенте? Может быть потому, что африканская фауна эволюционировала вместе с гоминидами на протяжении нескольких миллионов лет и африканские экосистемы имели достаточно времени, чтобы приспособиться к повадкам двуногих хищников. А истребление многих диких животных в Африке произошло после прихода европейцев с огнестрельным оружием.

Возникновение такого кризиса было необычным явлением в истории биосферы, поскольку в экосистемах, как правило, поддерживается более или менее стабильный уровень численности организмов, входящих в определенные цепи питания, что исключает возможность быстрого вымирания отдельных видов. Нарушение этой регуляции свидетельствует о том, что возникновение современного человека (или даже неандертальца) было определенным рубежом, перейдя который биологический вид перестал подчиняться в значительной степени действию биологических законов.

Итак, современный человек, вытеснивший в конкурентной борьбе других антропоидов, начал оказывать все большее и большее воздействие на биосферу, становясь, по выражению В. И. Вернадского, «мощнейшей геологической силой».

Хотя все виды исключительны, процессы, с помощью которых они эволюционировали, одинаковы для всех: естественный отбор ведет к адаптации, генетической изоляции и характерному набору поведенческих и морфологических особенностей. Если и существует новый эволюционный процесс, который можно обнаружить только у человека, то это культурная эволюция.

Культура – небиологические аспекты поведения человека, включая речь, изготовление орудий, возросшую пластичность поведения, способность к символическому мышлению и самовыражению с помощью символов. Культура передается не через систему генетических механизмов, а посредством обучения и усвоения. Естественный отбор по меньшей степени дополняется параллельным процессом культурного отбора, если не полностью заменяется им.

Но многие черты человеческой культуры, если рассматривать их в отдельности, можно обнаружить в рудиментарном виде и у других животных. Поведенческая, а не культурная эволюция –

вот адекватный термин, обладающий при минимальных допущениях максимальной гибкостью. Использование этого термина не устраняет характеристик, делающих людей уникальными, таких как растущие способности к обучению, изобретательство и подражание, сложная коммуникация и беспрецедентная пластичность поведения, но позволяет рассматривать их так, чтобы обеспечить возможность межвидовых сопоставлений.

Мы можем сильно отличаться даже от обезьян, но эти различия можно объяснить с помощью элементарных биологических принципов. Их три: 1) количественные изменения могут иметь последствия, которые будут носить качественный характер; 2) радикальная реконструкция не является необходимой предпосылкой основных функциональных изменений, а небольшие изменения могут иметь фундаментальные последствия; 3) освоение нового способа переработки информации может иметь революционные последствия. Способ, о котором идет речь – это язык. У человека его освоение связано с трансформацией и овладением новыми функциями, в первую очередь мыслительной деятельностью.

Но использование коммуникативных систем («языка» в широком смысле слова) не является прерогативой человека, а в значительной степени свойственно многим животным, преимущественно высшим млекопитающим. Также и орудийная деятельность имеет свои зачатки еще у животных, правда, здесь есть существенная разница: животные используют уже имеющиеся в природе предметы, или изготавливают простейшие орудия без использования других орудий. Человек же, даже самый примитивный, уже использует орудия для изготовления других орудий.

Создается впечатление, что на протяжении всей истории человека исключительные способности его мозга использовались мало, однако мозг от неиспользования не деградировал (как деградировали от неиспользования глаза крота и кишечник солитера). Есть основания полагать, что центральная нервная система современного человека с верхнего палеолита до наших дней изменилась мало. Как одно из доказательств этого приводят изображения животных в пещерах Западной Европы, которые до сих пор считаются высшим достижением анималистической живописи за всю историю искусств.

Объяснение этого несоответствия в рамках обычной концепции эволюции путем естественного отбора наиболее приспособленных организмов встречается с трудностями. Предположение, что такой сложный орган, как мозг человека, преадаптирован, явно несостоятельно. Для объяснения происхождения и эволюции человеческого сознания необходимо принять во внимание действия особых факторов, которые привели к качественному отличию человеческого сознания от сознания животных, и в значительной степени это относится к области экологии.

Одна из причин быстрого развития центральной нервной системы человека, возможно, заключается в критическом положении, в котором оказались многие гоминиды, когда в конце Плиоцена – начале Плейстоцена заметно изменился климат в связи с наступлением первого оледенения. Скорость передвижения у предковых антропоидов (австралопитеков) была ниже, чем у большинства четвероногих того времени, сходных с ними по размерам, отсутствовали мощные клыки и когти. Низкая рождаемость, вообще свойственная высшим приматам, и большая длительность развития детенышей, которые были легкой добычей хищников, также представляли существенную трудность для их обитания в сократившихся в связи с оледенением тропических и субтропических экосистемах, где возникли первые антропоиды.

Главными факторами, которые могли бы обеспечить выживание австралопитеков, было наличие сравнительно развитого головного мозга, наличие стадного образа жизни, способность к прямохождению, высвободившая руки, и довольно значительная полифагия. Попад в условия исключительно жесткого естественного отбора, да еще и при сравнительно низкой численности их популяций, австралопитеки смогли бы выжить лишь при ускорении темпов эволюции (мутирование при повышенной радиации в зонах рифтовых разломов!). В таких случаях обычно остается мало палеонтологических остатков и нужны были исключительно благоприятные совпадения внешних условий (что и произошло в Восточной Африке), чтобы до нас дошли столь многочисленные фрагменты проантропов и архантропов и их орудия.

Найденные орудия «умелых» показывают, что с их помощью предки человека могли нападать на крупных обезьян (павианов) и мелких копытных (дукеры, бородавчники), что и теперь делают шимпанзе. Есть данные, что «умелые» использовали в пищу и австралопитеков. Но даже группы «умелых», вооруженных камнями и палками, попадали в сложное положение при встрече с крупными хищниками (львы) и при попытках поймать быстро передвигающихся крупных животных (крупные антилопы, зебры, страусы). Их успех в борьбе за существование мог быть обеспечен лишь за счет усовершенствования орудий и способов их применения, т. е. за счет значительного превосходства умственных способностей по сравнению со всеми животными, включая и австралопитеков. Когда мы говорим, что отбор сохраняет самых приспособленных, мы иногда забываем, что самые приспособленные – это зачастую те, кто непохож на остальных. Чем уже экологическая ниша, чем меньше ее сходство с соседними, тем меньше конкурентов. Создавая себе отличную от многих животных экологическую нишу, «умелый» мог спастись от врагов и конкурентов, а ниша эта создавалась за счет большего развития умственных способностей архантропов (мозг их был в среднем достоверно больше, чем у проантропов – австралопитеков). Именно поэтому естественный отбор чаще способствовал дальнейшему развитию мозга, нежели развитию физической силы

Схожесть экологических ниш «умелых» и австралопитеков привела к ужесточению конкуренции между ними, а способность «умелых» к изготовлению орудий стала важным преимуществом, особенно при коллективных действиях. И австралопитеки были вытеснены «умелыми», а может быть, в известной степени и непосредственно уничтожены последними. «Умелые» процветали на протяжении примерно миллиона лет, и на последних этапах своего существования попали в аналогичную ситуацию, вступив в конкуренцию со своими потомками, «выпрямленными».

«Выпрямленные» s.l. (питекантропы, синантропы и др.) имели элементы социальной организации, охотились, имели начатки речи, изготавливали более сложные орудия и (по крайней мере синантропы) пользовались огнем. Это давало им большие преимущества перед

«умелыми». Но, обитая также в отдалении от ледников, в зонах мягкого климата, узко специализировались, попали в эволюционный тупик и не выдержали конкуренции с представителями уже своих потомков – палеоантропов (гейдельбержцы, неандертальцы) и неантропов (современные люди).

Начало этой группе дали «умелые», преадаптированные некоторыми прогрессивными чертами (в частности, с большим объемом мозга – пресловутый «череп № 1470» и другие находки), попавшие в зону измененной природной обстановки, связанной с оледенениями или с повышенной сухостью климата в окрестностях ледников. Возможно, такие условия сложились не только в Евразии, но и в Южной Африке: хотя оледенения там не было, но увеличение ледяного щита Антарктиды вполне могло вызвать здесь похолодание и сухость климата.

Изменения условий обитания поставили перед людьми новые, более сложные задачи по выживанию и ускорили, таким образом, их эволюцию. Примерно около 500 тыс. лет назад, а возможно и раньше, питекантропы начинают покидать африканские саванны и расселяться в Евразии. Происхождение гейдельбергских людей от более примитивных «выпрямленных» *s. str.* также, вероятно, африканское, между 400 и 150 тыс. лет назад. Они дали начало второй волне заселения Евразии, породившей неандертальцев, в то же время оставшиеся в Африке гейдельбергские люди дали начало современным людям, давшим третью волну заселения Евразии.

Развитие в это время максимального оледенения способствовало объединению людей перед лицом существенной опасности – совместно можно было лучше использовать пещеры как укрытия и охотиться на крупных животных вроде мамонтов. Одна охота давала сразу много мяса и надолго обеспечивала всю группу пищей. Задачи, которые приходилось решать первобытным охотникам, приходили в несоответствие с теми техническими средствами, которыми они владели. Именно это несоответствие послужило стимулом к усилению развития мозга.

Охота на крупных животных даже сейчас связана с риском для современных «цивилизованных» людей, вооруженных огнестрельным оружием. Эти трудности были неизмеримо большими

для неандертальцев, а особенно для гейдельбергских людей, которые были слабее неандертальцев. Можно не сомневаться, что наши предки, как правило, выходили победителями из схваток с крупными животными. Это подтверждается находками в их «кухонных остатках» костей мамонтов, пещерных медведей и др. Располагая примитивными орудиями, гейдельбержцы, а позднее неандертальцы, могли охотиться на крупных животных лишь при развитии специальных навыков, далеко превосходящих навыки, необходимые для успешной охоты современного «охотника-спортсмена».

Парадокс: чем менее совершенны орудия охоты, тем в большей степени их недостатки восполняются высоким уровнем умственной деятельности, позволяющим побеждать при столкновении с крупным животным. Поэтому в отдаленном прошлом существовали жесткие требования к умственному развитию человека, что приводило к закреплению прогрессивных изменений в развитии головного мозга путем естественного отбора.

Исходя из вышеизложенного можно предполагать, что эволюция человека ускорялась в регионах, где охота на крупных животных была основным источником пищи. Это были в первую очередь обширные безлесные пространства окраин ледников, а также южные степи и саванны.

Если сравнить время, за которое шло увеличение мозга у различных гоминид, то увидим, что увеличение мозга питекантропов по сравнению с «умелыми» в полтора раза потребовало около 1 млн лет, а увеличение мозга неандертальцев по сравнению с питекантропами в те же полтора раза – 100–150 тыс. лет.

Но и неандертальцев подстерегала опасность узкой специализации. Охота на крупных животных и обитание в условиях сурового климата вызвало у неандертальцев увеличение массы тела, рост физической силы и использование в течение многих поколений одних и тех же орудий и приемов охоты, что стало тормозить дальнейшее развитие их умственной деятельности.

В то же время линия развития современных людей получила ряд преимуществ при очередной смене условий существования – таяния ледников и резкого сокращения численности крупных животных. Кроманьонцы оказались в более выгодных условиях,

поскольку охотились, наряду с крупными, и на более мелких, но и более многочисленных зверей (лошадей, оленей), а впоследствии стали охотиться также на птиц, освоили рыболовство. Разнообразие добычи диктовало и разнообразие приемов охоты, в том числе и таких, которые требовали особенно слаженных действий – облава, загон (впоследствии и с применением огня).

Следовательно, с одной стороны, разрушение привычной природной среды, в которой сформировался экотип неандертальца и стереотип его поведения, с другой – непосредственные столкновения с современными людьми за места охоты, за укрытия и пр. привели к вытеснению и гибели неандертальцев и абсолютному господству современных людей.

Более тесное общение у кроманьонцев вызвало развитие речи. Богатство языка способствует богатству мысли и наоборот. Бурный рост сообразительности, выдумки, знаний, памяти приводит к тому, что производственные процессы становятся все сложнее, а их результаты – все лучше. Детство современного человека удлиняется, так как ему не надо было так быстро взрослеть, как неандертальцу. Увеличивается продолжительность жизни и одновременно меняется отношение к старикам: из «лишних ртов» они превращаются в хранителей знаний, преданий, опыта. Рождается система передачи знаний и умений от поколения к поколению (система «Учитель», не генетическая память).

Рука и мозг человека «доросли» до прочного, стабильного коллектива. Отныне мозгу и руке не надо меняться морфологически. Если изменения внешней среды потребуют перемен в жизни первобытной общины, меняется стереотип поведения, меняется набор орудий и приемов их использования, меняется и организация общины: на смену биологической эволюции приходят социально-экономические преобразования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Было много больших деревьев, и почва собирала ежегодно дожди, а не теряла воду, как сейчас, когда она стекает по обнаженной земле прямо к морю. Слой почвы был толстым, она принимала воду в свои недра и сохраняла ее запас в намокшей глине и направляла воду, поглощенную вершинами, в ложбины и снабжала водой обильные источники и большие реки.

Платон, IV в. До н. э.

Я ввел вас в землю плодоносную,
чтобы вы питались плодами ее и
добром ее, а вы вошли и осквернили
землю Мою и достояние Мое
сделали мерзостью.

Ветхий Завет, Книга Исайи, 2; 7.

Человек, ослепленный эгоизмом, вследствие беззаботного отношения к будущему и равнодушия к себе подобным, он сам как бы способствует уничтожению средств к самосохранению и тем самым истреблению своего вида... Можно сказать, пожалуй, что назначение человека как бы заключается в том, чтобы уничтожить свой род, предварительно сделав земной шар непригодным для обитания.

Ж.-Б. Ламарк, 1802

Издавна человек оказывал влияние на природную среду, но на протяжении долгого времени его возможности были ограничены. Однако, по мере прохождения через ряд важнейших стадий культурно-хозяйственного развития, человечество устанавливало все

большой контроль над планетой. Быстрый рост населения и резкое увеличение потребления ресурсов, появление мощной техники значительно усилило воздействие человека на природную среду, достигнув глобальных масштабов. С появлением человека, как совершенно верно считал В. И. Вернадский, появилась новая геологическая сила на поверхности планеты.

Можно констатировать, что биосфера Земли находится в состоянии экологического кризиса, обусловленного воздействием человека как на ее биоту, так и на абиотическую среду. Выход из этого кризиса возможен лишь в том случае, если мировое сообщество выберет модель развития, соответствующую современным представлениям о биосфере и о роли в ней человека.

Вторая конференция ООН по окружающей среде и устойчивому развитию в Рио-де-Жанейро в 1992 г. и Международная конференция по народонаселению в Каире в 1994 г. еще раз подтвердили неразрывную связь социально-экономического развития, демографии и состояния окружающей среды. Было выдвинуто положение об устойчивом развитии мирового сообщества, под которым понимается такое потребление ресурсов биосферы, при котором не превышаются темпы их естественного возобновления: при превышении этих темпов человек обязан принимать «меры помощи» биосфере.

Следовательно, в понятие концепции устойчивого развития заложен ресурсный принцип, который рассматривает Землю только (или в основном) как источник ресурсов.

Построено уже несколько ресурсных моделей развития биосферы. В основном эти модели обосновывают сценарий катастроф к середине или к концу XXI века из-за истощения природных ресурсов в связи с ростом населения и экономики. При этом стабилизация населения, согласно разных сценариев, должна наступить на уровне 12–14 млрд человек. В подобных сценариях предполагается, что в настоящее время окружающая среда еще не находится в состоянии катастрофы.

Проблема устойчивого развития является предметом изучения ученых многих стран. Американцы Д. Х. Медоуз и Д. Л. Медоуз и норвежец Й. Рандерс провели исследования различных моделей развития общества с целью представить возможные пути достижения

экономической потенциальной емкости планеты. Они приводят неоспоримые доказательства того, что при сохранении пагубных тенденций разрушения природных экосистем и игнорирования закона устойчивого развития глобальная катастрофа на Земле неизбежна. Вместе с тем, используя методы системной динамики и математического моделирования, авторы показывают, что переход к устойчивому обществу возможен. Для этого необходимо принять комплекс мер в области защиты окружающей среды, экономики, социальной психологии и т. п.

Они проанализировали положения, обеспечивающие устойчивую тенденцию современной системы природопользования к выходу за пределы возможностей естественной регуляции и к коллапсу. Эти тенденции следующие.

1. Рост – черта, органически присущая человеческой системе ценностей; рост численности населения и экономики, если он происходит, имеет экспоненциальный характер.

2. Физические пределы имеются у источников материалов и энергии, которые поддерживают человечество и его экономику, и у стоков, которые поглощают отходы, образующиеся в результате человеческой деятельности.

3. Увеличивающееся население и растущая экономика получают искаженные и запаздывающие сигналы о физических пределах. Ответы на эти сигналы также запаздывают.

4. Если это действительные причины выхода экономики за пределы естественной регуляции биосферы и движения к коллапсу, они одновременно являются ключом для изменения поведения системы. Для того чтобы изменить систему, сделать ее управляемой, устойчивой, в ней должны быть изменены структурные характеристики (1, 2, 3).

5. Потребление энергии и материалов может быть уменьшено за счет повышения эффективности их использования.

6. Пределы могут быть максимально расширены за счет введения новых технологий.

7. Сигналы могут быть усовершенствованы, а реакции на них ускорены; обществу следует смотреть дальше вперед при оценке стоимости и преимуществ сегодняшнего выбора.

8. Разрушения можно предотвратить и, если они уже произошли, обратить вспять.

9. Рост численности населения, производства и капитала можно замедлить и даже остановить.

Основными положениями устойчивого общества, по мнению авторов, должны стать:

1. Устойчивость, эффективность, достаточность, правосудие, справедливость и общность как высшие социальные ценности.

2. Лидеры, которые честны, уважаемы и заинтересованы в выполнении своей работы больше, чем в сохранении своего положения.

3. Материальная достаточность и социальные гарантии для всех. Отсюда, как следствие свободного выбора и общепринятых норм, низкая смертность, низкая рождаемость и стабильная численность населения.

4. Труд, возвеличивающий, а не унижающий людей. Способы, побуждающие людей отдавать себя обществу и получать за это вознаграждение в условиях гарантированного обеспечения при любых обстоятельствах.

5. Экономика, являющаяся средством, а не целью, служащая на благо человеческого общества и окружающей среды, а не наоборот.

6. Эффективные системы возобновимых источников энергии, эффективные замкнутые системы материального производства.

7. Технические решения, сводящие к минимуму загрязнения окружающей среды и количество отходов, общественный договор о непроизводстве загрязняющих веществ и веществ, которые не могут быть поглощены природными редуцентами.

8. Способное к самовосстановлению сельское хозяйство, которое поддерживает плодородие почв, использует природные механизмы для восстановления питательных веществ и контроля за вредителями, в изобилии производит экологически чистые продукты питания.

9. Сохранение экосистем в их разнообразии, существование в гармонии с ними человеческих культур и, как следствие, природное и культурное многообразие, терпимость и осознание высокой ценности этого многообразия.

10. Гибкость, социальные и технические нововведения, интеллектуальная активность. Расцвет науки, постоянное расширение сферы человеческих знаний.

11. Более глубокое понимание целостности систем, как существенная часть образования каждого человека.

12. Децентрализация экономической власти, политического влияния и научной экспертизы.

13. Политические структуры, позволяющие обеспечить баланс между ближайшей и отдаленной перспективами. Своего рода политическое давление от имени последующих поколений.

14. Умение граждан и правительств разрешать конфликты без применения насилия.

15. Печать и другие средства массовой информации, отражающие разнообразие мира и одновременно связывающие воедино культуры, делая это точно, своевременно, непредвзято и интеллигентно в историческом и целно-системном контексте.

16. Причины уважать себя и вести образ жизни, не требующий накопления материальных благ.

Концепция, значительно уточняющая и дополняющая ресурсную, выдвинута российским ученым, академиком А. Д. Урсулом, которую он назвал ноосферным вариантом развития. По его мнению, экологическая наука, начав с изучения окружающей среды, неизбежно пришла к выведению такой специфической области своего предмета, как природная среда общественной жизни и к такой сфере экологического знания, как социальная экология, которой некоторые ученые отдают ведущее место среди научных дисциплин и исследовательских направлений. Предметом социальной экологии является изучение связей между обществом и природной средой с целью формирования, в зависимости от конкретных условий, оптимальной природообразующей стратегии общества.

А. Д. Урсул понимает ноосферу как качественно новое состояние общества, представляющее собой будущую систему коэволюции общества и природы, в которой высшего развития достигнет интеллект человека и человечества в целом, восторжествуют принципы и идеалы гуманизма, и будет обеспечено сохранение биосферы и безопасное во всех отношениях развитие. Ноосфера, таким образом, сфера, в которой человек в наиболее полной мере может раскрыть свой творческий потенциал и способности, и обеспечит биоразнообразие и дальнейшую естественную эволюцию биосферы.

Автор подчеркивает синонимичность понятий ноосферы и устойчивого развития. Имеет смысл говорить о ноосфере как о грядущем состоянии социосистемы.

Концепции ноосферы и устойчивого развития тесно связаны, но концепция ноосферы более содержательна, так как выделяет целевую ориентацию модели устойчивого развития, оптимального управления им. Ноосфера понимается как общецивилизационная сфера управляемая, перешедшая на модель устойчивого развития, в которой гарантируются приоритеты нравственного разума и интеллектуальных духовных ценностей, экогуманизма, коэволюции общества, человека и природы, всеобщей безопасности. Путь в ноосферу лежит через повышение интеллектуального начала, постепенное преобладание духовно-рациональных факторов над материальными, ускорение развития духовой и замедление вещественно-материальной деятельности людей.

Переход к устойчивому обществу требует тщательно сбалансированных дальних и ближних целей и акцент на достаточности, равенстве и качестве жизни, а не на объеме производства. Он требует большего, чем технология, он требует еще и зрелости, мудрости, сострадания, культуры. Достижение устойчивого развития общества не единовременное явление, а процесс, в котором каждое поколение будет вносить свой посильный вклад, в зависимости от уровня культуры, науки, технологий, понимание своей причастности к истории.

Альтернативу ресурсной концепции предложили сотрудники ряда российских НИИ и университетов (Ю. И. Арский, В. И. Данилов-Данилян, М. Ч. Залиханов, К. Я. Кондратьев, В. М. Котляков и К. С. Лосев), которую они назвали биосферной концепцией. По их мнению, суть теории естественной биотической регуляции окружающей среды состоит в том, что биосфера, включающая биоту и абиотическую среду, обладает мощными механизмами стабилизации параметров окружающей среды для обеспечения близких к оптимальным условий существования живых организмов. Для этой теории биотической регуляции главным является определение порога глобальной устойчивости биосферы, так как очевидно, что существует пороговая величина возмущения окружающей

среды, при превышении которой нарушается устойчивость биоты и среды ее обитания.

В то же время для ресурсной концепции нет никакого теоретического обоснования. Она фактически основана на практическом опыте человечества, которому представляется, что все дело только в неправильном ведении хозяйства, в необходимости обновления технологий и в ресурсосбережении. Однако не существует никаких других технологий, кроме потребляющих ресурсы, следовательно, перестраивающих и разрушающих биосферу. В процессе этого разрушения и возникли сначала локальные, а затем и глобальный экологические кризисы.

Ресурсная концепция не имеет определяющей возможность устойчивого развития «поворотной точки» для многих характеристик биосферы. Например, в отношении окружающей среды предполагается лишь, что в основном она сейчас еще не находится в кризисном состоянии и поэтому допустимы дополнительные хозяйственные нагрузки на нее. Разнообразные допущения приводят к получению несовместимых результатов на выходах различных моделей, построенных в одно время различными авторами.

Биосферная концепция построена на достаточно полно разработанной теории. Для окружающей среды в этой теории есть важная «поворотная точка» – величина допустимого возмущения окружающей среды. Теория позволяет не только определить величину порога допустимого воздействия и единицы его измерения, но и на основе данных наблюдений установить время, когда этот порог был превзойден: наблюдаемые глобальные изменения однозначно указывают на то, что этот порог уже превышен. Это, по мнению авторов, определяет необходимость выбора биосферной концепции развития мировой системы в противовес ресурсной концепции.

Если бы человечество вернулось в пределы хозяйственной емкости биосферы, то экологические проблемы исчезли бы автоматически, прекратились бы антропогенные изменения окружающей среды. Для этого необходимо, однако, принять ряд мер, в особенности по стабилизации, а затем и по сокращению населения планеты. Для стабилизации необходимо осуществить стратегию «одна семья – два ребенка», для сокращения – «одна семья – один ребенок».

По разным причинам пока невозможно перейти к глобальной стратегии сокращения населения. Однако биосферная концепция указывает другое решение, при котором человечеству отводится некоторое время для перехода к новому мышлению, включающему единство действий всех народов и государств в решении проблемы ликвидации экологической катастрофы и выживания человечества.

Еще сохранившиеся нетронутыми экосистемы могут стать центрами восстановления того объема естественных сообществ живых организмов, который необходим для обеспечения устойчивости окружающей среды. Для этого подобные естественные участки необходимо во что бы то ни стало сохранить, а затем перейти к расширению их площадей. Восстановление естественных сообществ – дело длительное и занимает сотни лет, но их регулирующие возможности восстанавливаются гораздо быстрее – за десятки лет. На суше осталось только около 30 % не нарушенных хозяйственной деятельностью человека территорий, которые требуют сохранения и расширения. В России находятся самые крупные площади не нарушенных хозяйственной деятельностью территорий, представленных преимущественно лесными и горными экосистемами, это около 60 % всей территории России.

Если будет принята стратегия сохранения и наращивания нетронутой части природы, то сокращение населения и мощности хозяйственной деятельности можно будет отодвинуть на более отдаленные сроки.

История биосферы показывает, что за 4 млрд лет она прошла через все потрясения: гасила последствия мощнейших вулканических извержений, падения крупных небесных тел, переходила на новые уровни устойчивости при оледенениях и потеплениях, при соединениях и расхождениях материков, всегда стабилизируя окружающую среду и удерживая ее в диапазоне, приемлемом для жизни. Возможно, что в прошлом возникали виды-разрушители естественных экосистем, но природа, по-видимому, отсекала их, а исчезнувший вид, как показывает эволюционное учение, уже не появляется вновь. Нет никаких оснований полагать, что законы существования и развития биосферы отменены для человека.

Поэтому, если человек разумный будет и дальше жить в мире мифов («мы не можем ждать милостей от природы, взять их у нее – наша задача») и не примет мер для своего спасения в условиях наступившей экологической катастрофы, то природа найдет способ избавиться от этого вида, как она избавилась от гигантских рептилий. Избежать этого можно, если встать на путь разумных действий в рамках биосферной концепции, основанных на законах физики, химии, географии и биологии, в том числе и экологии.

Авторы биосферной концепции считают, что необходим и неизбежен отказ от проторенных путей цивилизации. Человек должен ощутить себя частью биосферы и ее основной составляющей – биоты, которая формирует окружающую среду, ощутить огромную сложность этой саморегулирующейся системы, которую вряд ли человеческому разуму удастся понять до конца, а тем более заменить технической системой. Человек не имеет права ощущать себя выше породившей его биоты, обеспечивающей ему питание и оптимальную для жизни окружающую среду, хотя у него и есть сейчас возможность окончательно разрушить ее.

Разрушенная биота, без сомнения, регенерирует за длительный, но конечный период времени. Однако во время регенерации окружающая среда может оказаться в состоянии, непригодном для жизни крупных животных, а возможно и вообще для многоклеточных. После регенерации в новой биосфере может не оказаться подходящих для этих организмов экологических ниш. Поэтому такие организмы, включая человека, необратимо исчезнут с лица Земли.

Новая экологическая парадигма – теория биотической регуляции окружающей среды, направлена на следующие моменты:

1. Сохранение дикой природы.
2. Сохранение человечества на Земле.
3. Сохранение цивилизации.
4. Понимание смысла жизни.
5. Создание более справедливой социальной системы.
6. Переход от философии войны к философии мира и партнерства.
7. Переход к здоровому образу жизни.
8. Любовь и уважение к будущим поколениям.

Человек должен понять и нормально воспринимать свою роль в механизме поддержания стабильности биосферы. В процессе эволюции сохраняются только те виды, которые способны обеспечивать устойчивость жизни и окружающей среды. Человек, участвующий в этом процессе, вряд ли способен сформулировать более высокую цель в качестве смысла жизни. Новая экологическая парадигма уже созрела и привлекает все больше и больше сторонников.

Их консолидации способствует целый ряд международных, межправительственных и общественных организаций, важнейшие из которых следующие: Международная организация ООН по вопросам образования, науки и культуры (ЮНЕСКО); Программа ООН по окружающей среде (ЮНЕП); Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (ФАО); Комиссия ООН по атомной энергетике (МАГАТЭ); Международный союз охраны природы (МСОП), Всемирный фонд охраны природы, общественное движение «Зеленый мир» (Green Peace) и многие другие.

В заключение несколько тезисов из выступления академика Н. Н. Моисеева на секции экологического образования и воспитания Первого всероссийского съезда по охране природы России (июнь 1995 г.).

Сельскохозяйственная революция на Земле длилась несколько тысячелетий. Промышленная революция длится 300 лет (до настоящего времени). На экологическую революцию человечеству отпущено максимум 50 лет.

Причем для проведения экологической революции не требуется проведения сложных научных разработок, создания новых технологий, приемов и пр., все это у человечества уже есть. Необходима прежде всего революция в умах людей, осознание необходимости коренной перестройки нашего взгляда на природу и на отношения с ней человека. А это возможно сделать лишь одним способом – Словом. Словом преподавателя, от воспитательницы яслей до университетского профессора, словом журналиста, писателя, актера, художника. Словом Учителя. И если в XX веке ключевой фигурой цивилизации был Инженер – изобретатель, строитель, преобразователь природы, то в XXI веке такой ключевой фигурой должен стать Учитель.

И только таким способом можно совершить революцию в умах, после которой станет возможна экологическая революция.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

Абусаматов Х. Солнце определяет климат // Наука и жизнь. – 2009. – № 1. – С. 34–42.

Богданов И. И. Палеоэкология : учеб. пособие. – Омск : Изд-во ОмГПУ, 2009. – 176 с.

Борисенков Е. П., Пасецкий В. И. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. – М. : Мысль, 1988. – 488 с.

Брокер У. В. В чем причина оледенений? // В мире науки. – 1990. – № 3. – С. 24–32.

Будыко М. И. Глобальная экология. – М : Мысль, 1975. – 328 с.

Будыко М. И. Эволюция биосферы. – Л : Гидрометеоздат, 1984. – 488 с.

Верзилин Н. Н., Верзилин Н. М. Биосфера, ее прошлое, настоящее и будущее. – М. : Просвещение, 1976. – 224 с.

Вернадский В. И. Живое вещество и биосфера. – М. : Наука, 1994. – 704 с.

Вернадский В. И. Биосфера и ноосфера. – М. : Айрис-пресс, 2007. – 576 с

Винер Д. Экологическая идеология без мифов // Вопросы философии. – 1995. – № 3. – С. 18–24.

Виноградов М. Е. Роль океана в жизни и сохранении биосферы Земли // Глобальные экологические проблемы на пороге XXI века. – М. : Наука, 1998. – С. 99–117.

Войткевич Г. В., Вронский В. А. Основы учения о биосфере. – Ростов н/Д. : Феникс, 1996. – 478 с.

Вонг К. Родословная человека // В мире науки. – 2009. – № 4. – С. 34–37.

Вонг К. Закат неандертальцев // В мире науки. – 2009. – № 10. – С. 17–23.

Горшков В. Г. Энергетика биосферы и устойчивость состояния окружающей среды // Итоги науки и техники. Серия «Теоретические и общие вопросы географии» / ВИНТИ. – М., 1990. – 448 с.

Добровольский Г. В. Состояние почвенного покрова Земли и его роль в сохранении биосферы // Глобальные экологические проблемы на пороге XXI века. – М. : Наука, 1998. – С. 118–135.

Джоунс Ф., Уигли Т. Тенденции глобального потепления // В мире науки. – 1990. – № 10. – С. 36–44.

Дювиньо П., Танг М. Биосфера и место в ней человека. – М. : Прогресс, 1968. – 294 с.

Кальвин М. Химическая эволюция. – М. : Мир, 1971. – 240 с.

Камшилов М. М. Эволюция биосферы. – М. : Наука, 1979. – 254 с.

Кастангс Дж., Тун О., Поллак Дж. Как развивался климат на планетах земной группы? // В мире науки. – 1998. – № 4. – С. 32–40.

Кернс-Смит А. Первые организмы // В мире науки. – 1985. – № 8. – С. 46–56.

Крылов И. Н. На заре жизни. Органический мир Докембрия. – М. : Наука, 1972. – 106 с.

Кулон Ж. Разрастание океанического дна и дрейф материков. – Л. : Наука, 1973. – 226 с.

Кутырев В. А. Утопическое и реальное в учении о ноосфере // Природа. – 1990. – № 11. – С. 4–16.

Ланно А. В. Следы былых биосфер. – М. : Знание, 1979. – 102 с.

Левченко В. Ф. Эволюция биосферы до и после появления человека. – СПб. : Наука, 2004. – 166 с.

Марков А. В. Рождение сложности. – М. : АСТ/CORPUS, 2019. – 528 с.

Марков А. В. Эволюция человека. – М. : АСТ/CORPUS, 2012. – Т. 1. – 464 с.; Т. 2. – 512 с.

Марков А. В. Эволюция. – М. : АСТ/CORPUS, 2014. – 636 с.

Моисеев Н. Н. Человек и ноосфера. – М. : Молодая гвардия, 1990. – 352 с.

Моисеев Н. Н. Современный антропогенез и цивилизационные разломы // Вопросы философии. – 1995. – № 1. – С. 5–39.

Моисеев Н. Н. Расставание с простотой. – М. : Аграф, 1998. – 366 с.

Нолл Э. Х. Конец протерозойского эона // В мире науки. – 1991. – № 12. – С. 55–63.

Нанс Р., Уордсли Р., Муди Дж. Суперконтинентальный цикл // В мире науки. – 1988. – № 9. – С. 34–41.

Океан сам по себе и для нас / Ч. Дрейк, Дж. Имбри, Дж. Кнус, К. Турениан. – М. : Мир, 1982. – 470 с.

Опарин А. И. Проблема происхождения жизни. – М. : Знание, 1976. – 64 с.

Перельман А. И. Геохимия биосферы. – М. : Наука, 1973. – 216 с.

Поннамперума С. Происхождение жизни. – М. : Мир, 1997. – 176 с.

Раддимен У., Курцбах Дж. Воздымание плато и изменения климата // В мире науки. – 1991. – № 5. – С. 12–20.

Реймерс Н. Ф. Популярный биологический словарь. – М. : Наука, 1991. – 540 с.

Реймерс Н. Ф., Яблоков А. В. Словарь терминов и понятий, связанных с охраной живой природы. – М. : Наука, 1982. – 146 с.

Риккардо А., Шостак Дж. Зарождение жизни // В мире науки. – 2009. – № 11. – С. 25–33.

Смит Р. Наш дом – планета Земля. – М. : Мысль, 1982. – 254 с.

Сорохтин О. Г., Ушаков С. А. Физическая теория парникового эффекта // Глобальные экологические проблемы на пороге XXI века. – М. : Наука, 1998. – С. 69–86.

Сухих В. И. Лесной растительный покров Земли в прошлом, настоящем и будущем // Глобальные экологические проблемы на пороге XXI века. – М. : Наука, 1998. – С. 136–155.

Тейяр де Шарден П. Феномен человека. – М. : Прогресс, 1965. – 296 с.

Уайт Э., Браун Д. Первые люди. – М. : Мир, 1978. – 156 с.

Уилсон А. К., Канн Р. Л. Недавнее африканское происхождение людей // В мире науки. – 1992. – № 6. – С. 8–14.

Уиттеккер Р. Сообщества и экосистемы. – М. : Прогресс, 1890. – 328 с.

Фоули Р. Еще один неповторимый вид. – М. : Мир, 1990. – 268 с.

Чижевский А. Л. Земное эхо солнечных бурь. – М. : Мысль, 1976. – 368 с.

Шварц С. С. Экологические закономерности эволюции. – М. : Наука, 1980. – 278 с.

Яншин А. Л., Мелуа К. Л. Уроки экологических просчетов. – М. : Мысль, 1991. – 430 с.

Ясаманов Н. И. Этот странный изменчивый климат // Наука и жизнь, 1983. – № 10. – С. 132–139.

[http: // evolbiol. ru](http://evolbiol.ru)

[http: // elementy. ru](http://elementy.ru)

[http: // macroevolution. narod. ru](http://macroevolution.narod.ru)

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава 1. Краткая история учения о биосфере	8
Глава 2. Экологический мониторинг и экологическое прогнозирование	11
Глава 3. Учение о биосфере	17
Глава 4. Понятие о живом веществе и его свойства	23
Глава 5. Понятие о ноосфере	35
Глава 6. Структура биосферы	41
Глава 7. Основные функции живого вещества и биогенный круговорот	56
Глава 8. Циклы солнечной активности и их влияние на биосферу	74
Глава 9. Энергетический баланс биосферы	92
Глава 10. Географическое распределение основных составляющих энергетического баланса биосферы	101
Глава 11. Водный баланс биосферы. Географические составляющие водного баланса	108
Глава 12. Связь энергетического и водного балансов. Круговорот воды и водная эрозия	114

Глава 13. История формирования климата. Развитие климата в прошлые геологические эпохи	122
Глава 14. Изменения климата в историческое время. Тенденции изменений климата в будущем	143
Глава 15. Периодический закон географической зональности	159
Глава 16. Климатические режимы	171
Глава 17. Мировой океан как стабилизирующая система биосферы.....	174
Глава 18. Леса и почвы как стабилизирующие системы биосферы.....	183
Глава 19. Экологические факторы макроэволюции. Экологические кризисы.....	191
Глава 20. Экологические предпосылки происхождения человека.....	207
Заключение	232
Использованная литература.....	242

Научное издание

Богданов Игорь Иванович

ОСНОВЫ УЧЕНИЯ О БИОСФЕРЕ

Учебное пособие

Редактор *Г. Н. Орлов*

Технический редактор *Е. А. Балова*

Подписано в печать 10.06.2019. Формат 60×84/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Печ. л. 15,5. Уч.-изд. л. 14,5.

Тираж 50 экз. Заказ Б-376.

Издательство ОмГПУ.

Отпечатано в типографии ОмГПУ,

Омск, наб. Тухачевского, 14, тел./факс: (3812) 23-57-93