

Физическая среда

2

Земля поддерживает огромное разнообразие организмов. Среди растений мы встречаем такие разные формы, как микроскопические очень недолго живущие, представители фитопланктона, мелкие однолетние цветковые, более крупные многолетние цветковые и гигантские древние секвойи. Хотя среди животных и нет представителей, приближающихся по своим размерам к гигантским секвойям, их многообразие включает такие разные формы, как морской зоопланктон, медузы, морские звезды, морские желуди, двустворчатые и брюхоногие моллюски, рыбы, киты, жуки, бабочки, черви, лягушки, ящерицы, воробы, ястребы, летучие мыши, слоны и львы. Условия среды, в которых эволюционировали и живут в настоящее время организмы, очень различны. Некоторые виды довольно узко специализированы в отношении потребляемой пищи или используемых микроместообитаний, тогда как другие специализированы значительно меньше. Некоторые организмы являются широко распространенными формами, встречааясь во многих различных местообитаниях, другие же характеризуются более жесткими требованиями к окружающей среде и соответственно имеют более узкое географическое распространение. Временная и пространственная изменчивость физических условий окружающей среды, воздействуя на организмы прямым или косвенным образом, способствует или даже с необходимостью приводит к возникновению их разнообразия. Конечно, взаимодействия между организмами также вносят определенный вклад в поддержание этого великого разнообразия жизни, но прежде чем перейти к этим биологическим взаимоотношениям, рассмотрим кратко ту неживую природу, которая служит основой для всей жизни и которая часто оказывает сильное влияние на экологию любой конкретной организменной единицы. Главный фактор физической среды — климат, так как именно он определяет в конце концов наличие воды и соответствующую температуру, а от этих двух взаимодействующих условий зависит, как мы увидим в гл. 3, то действительное количество солнечной энергии, которое в каждом конкретном случае может быть уловлено и связано растениями в виде первичной продукции. В конечном счете, поскольку именно климат определяет характер почв и растительности, существует тесное соотношение между типом климата и типом природного

биологического сообщества, развивающимся в данных условиях. Взаимодействия между климатом и растительностью рассматриваются в гл. 3.

Глобальные и локальные типы климата кратко описаны в этой главе. Некоторым из затрагиваемых здесь проблем посвящены целые книги, и читателя, интересующегося ими более подробно, можно отослать к библиографии в конце главы.

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ КЛИМАТ

Элементы климата (солнце, ветер и вода) связаны друг с другом сложным образом. Достигающая поверхности Земли солнечная энергия распределяется определенным образом, и это распределение наряду с вращением Земли вокруг собственной оси и движением ее вокруг Солнца приводят к возникновению основных ветров и океанических течений. Перемещения воздушных и водных, масс в свою очередь сильно влияют на распределение осадков как во времени, так и в пространстве.

Количество солнечной энергии, падающей на единицу площади земной поверхности, сильно варьирует в зависимости от широты. Объяснить это можно двумя обстоятельствами. Во-первых, в высоких широтах лучи входят в атмосферу не под прямым углом и их световая энергия распределяется на большую площадь земной поверхности. Во-вторых, лучи, проникающие в атмосферу не под прямым углом, должны проходить через более толстый слой воздуха, в результате чего значительная часть солнечной энергии отражается частицами, содержащимися в атмосфере. Местный облачный покров также влияет на количество солнечной энергии, достигающей земной поверхности. Известным следствием этих двух эффектов является снижение среднегодовых температур с возрастанием широты (табл. 2.1). В целом можно заключить, что на полюсах холодно, а в тропиках тепло; что же касается сезонных явлений, то они обсуждаются дальше.

Вода, находящаяся в атмосфере, нагревается за счет тепла, излучаемого земной поверхностью; значительная часть этого тепла переизлучается, вновь попадая на землю, что приводит к возникновению так называемого «парникового эффекта», в результате которого тепло удерживается у поверхности земли даже ночью, когда приток солнечной энергии временно прекращается. Не будь этого эффекта температура поверхности земли опускалась бы намного ниже нуля, подобно тому как это наблюдается на теневой стороне Луны. Таким образом, наличие атмосферы смягчает температурные колебания, происходящие в течение суток.

Как известно, горячий воздух поднимается вверх. Поверхность земли и находящиеся над ней воздушные массы в низких широтах получают больше солнечной энергии, чем в высоких (рис. 2.1). Следовательно, тропические воздушные массы, особенно находя-

Таблица 2.1. Средние многолетние температуры ($^{\circ}\text{C}$) на различных широтах¹

Широта	Средняя годовая температура	Средняя температура января	Средняя температура июля	Предел колебаний среднемесячных температур в течение года
90° с.ш.	—22,7	—41,1	—1,1	40,0
80° с.ш.	—18,3	—32,2	2,0	34,2
70° с.ш.	—10,7	—26,3	7,3	33,6
60° с.ш.	—1,1	—16,1	14,1	30,2
50° с.ш.	5,8	—7,1	18,1	25,2
40° с.ш.	14,1	5,0	24,0	19,0
30° с.ш.	20,4	14,5	27,3	12,8
20° с.ш.	25,3	21,8	28,0	6,2
10° с.ш.	26,7	25,8	27,2	1,4
Экватор	26,2	26,4	25,6	0,8
10° ю.ш.	23,3	26,3	23,9	2,4
20° ю.ш.	22,9	25,4	20,0	5,4
30° ю.ш.	16,6	21,9	14,7	7,2
40° ю.ш.	11,9	15,6	9,0	6,6
50° ю.ш.	5,8	8,1	3,4	4,7
60° ю.ш.	—3,4	2,1	—9,1	11,2
70° ю.ш.	—13,6	—3,5	—23,0	19,5
80° ю.ш.	—27,0	—10,8	—39,5	28,7
90° ю.ш.	—33,1	—13,5	—47,8	34,3

¹ Haurwitz, Austin, 1944.

ющиеся около экватора, нагреваются сильнее, чем воздушные массы умеренных широт, что приводит к образованию экваториальной зоны подъема теплого воздуха. Эти экваториальные воздушные массы, по мере того как они поднимаются и в высоких слоях атмосферы расходятся к северу и югу, охлаждаются (рис. 2.2, Л). Холодный воздух, движущийся в направлении более высоких широт, опускается сначала медленно, а потом, на так называемых «конских широтах» около 30° с. ш. и 30° ю. ш., весьма быстро. Часть воздуха, опустившегося в районе этих широт до уровня земли, движется снова к экватору, а часть — к полюсам. Поскольку количество воздуха в атмосфере конечно, воздушные массы, покинувшие какое-либо место, должны быть всегда замещены воздухом, поступившим из других мест, что и образует замкнутую систему циркуляции воздушных масс. Идеализированная схема типичных вертикальных и горизонтальных движений атмосферных течений показана на рис. 2.2. У поверхности земли в районе эква-

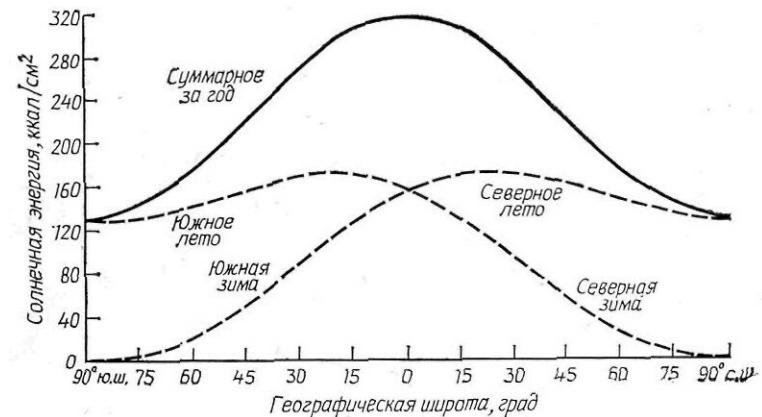


Рис 2.1 Рассчитанное для разных широт количество солнечного излучения, которое поступало бы на поверхность земли в отсутствие атмосферы. Шестимесячный период от весеннего до осеннего равноденствия (см. рис. 2.7) назван «северным летом» и «южной зимой», а от осеннего равноденствия до весеннего — «северной зимой» и «южным летом». (Haurwitz, Austin, 1944.)

тора находится зона конвергенции воздушных масс, а в районе «конских широт» — зона их дивергенции. Между широтами 0 и 30° воздух у поверхности движется главным образом в сторону экватора, а между широтами 30 и 60° — обычно от экватора. По мере того как воздушные массы переносятся над поверхностью, они медленно нагреваются и в конечном счете снова поднимаются вверх.

Движения воздушных масс происходят не строго в направлении север—юг, как это изображено на рис. 2.2, А, а с некоторым сдвигом в направлении восток—запад, который вызван вращением Земли вокруг своей оси (рис. 2.2, Б). Земля вращается с запада на восток. Человек, стоящий на любом из полюсов, медленно поворачивается и делает полный оборот до исходного положения за каждые 24 ч. (Около Северного полюса Земля под ногами движется против часовой стрелки, а около Южного полюса — по часовой стрелке; другие важные различия между полушариями будут рассмотрены ниже.) Человек, находящийся в районе экватора, в течение 24 ч совершает весьма далекое путешествие, преодолевая расстояние, равное окружности Земли, т. е. около 40000 км за каждый оборот Земли. Следовательно, скорость тела, находящегося на экваторе, составляет примерно 1600 км/ч (относительно земной оси), тогда как тело, находящееся на полюсе, находится в покое (также относительно земной оси).

Исходя из сказанного выше, а также из закона сохранения движения, можно заключить, что объекты, движущиеся в северном полушарии к северу, перемещаются быстрее поверхности земли,

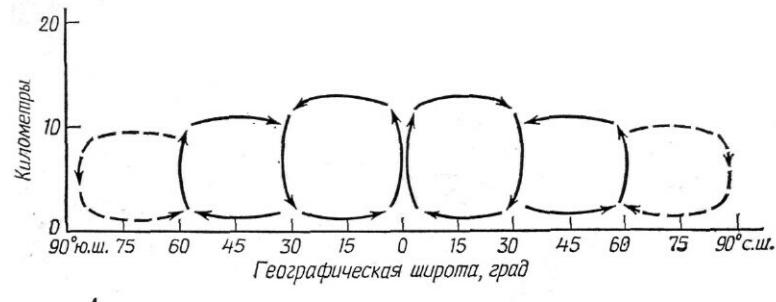
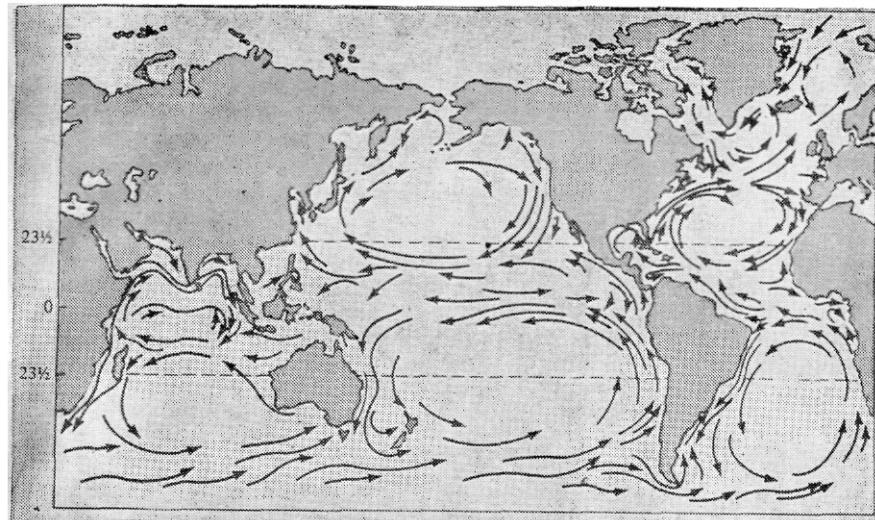


Рис. 2.2. Идеализированная схема циркуляции атмосферного воздуха. А. Вертикальный профиль по меридиану. Б. Основные воздушные потоки над земной поверхностью. В зависимости от сезона отмеченные пояса сдвигаются к северу или югу. (По MacArthur, Connell, 1966; MacArthur, 1972, и др.)

и, следовательно, направление их движения смещается вправо. Сходным образом объекты, движущиеся в северном полушарии к югу, перемещаются медленнее поверхности земли, в результате они также смещаются вправо. Напротив, объекты, передвигающиеся в южном полушарии, всегда будут смещаться влево: движущиеся к северу замедляют свое движение относительно поверхности, а движущиеся к югу его ускоряют. Эти силы, известные под общим названием сил Кориолиса, действуя на ветры и водные течения, ориентированные в направлении с севера на юг, несколько смещают их в направлении восток—запад. Максимальное воздействие сил Кориолиса наблюдается на полюсах, где даже небольшое перемещение относительно широты сопровождается зна-



чительными изменениями скорости, а минимальное — на экваторе, где небольшая смена широты оказывает малое воздействие на скорость объекта.

Воздух, находящийся на экваторе у земной поверхности между широтами 0 и 30°, замедляет свое движение относительно Земли и отклоняется в обоих полушариях к западу, порождая восточные ветры, известные под названием северо-восточных пассатов между 0 и 30° с. ш. и юго-восточных пассатов между 0 и 30° ю. ш. В пределах широт 30 и 60° воздух, движущийся над земной поверхностью, ускоряет свое движение относительно нее и отклоняется к востоку, давая начало западным ветрам, существующим на этих широтах в обоих полушариях (рис. 2.2, Б).

Указанные ветры, а также силы Кориолиса, воздействуя вместе на водные массы, перемещающиеся с севера на юг, обусловливают возникновение мировой системы океанических течений. В северном полушарии направление океанических течений совпадает с направлением движения часовой стрелки, а в южном — противоположно ему (рис. 2.3). Двигаясь на запад вдоль экватора, океанические воды нагреваются за счет солнечного излучения. (Эти воды также накапливаются у западных берегов океанических бассейнов: у побережья Центральной Америки уровень Атлантического океана на несколько десятков сантиметров выше уровня Тихого океана.) Подойдя к восточным побережьям материков, эти теплые экваториальные воды направляются к северу или югу, в более высокие широты, неся экваториальное тепло к полюсам.

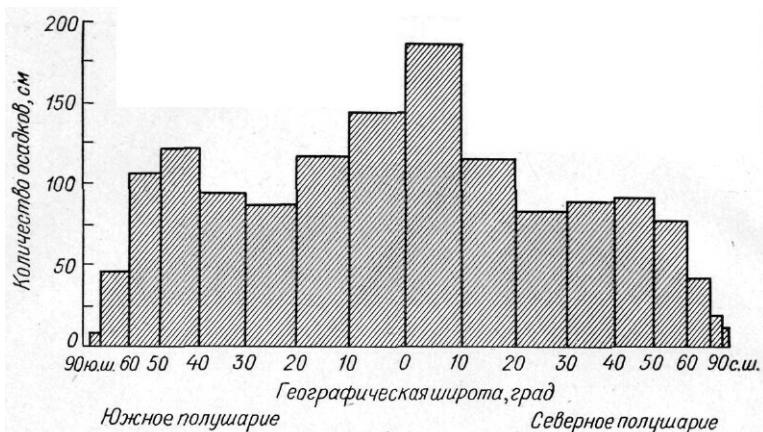


Рис. 2.4. Распределение среднегодового количества осадков по разным широтам. Обратите внимание на то, что главные пустыни расположены в «конских» широтах. (Из Haurwitz, Austin, 1944.)

Холодные полярные воды текут к экватору вдоль западных берегов, именно поэтому Тихий океан около южной Калифорнии холодный, а Атлантический океан на той же широте около берегов Джорджии вполне теплый.

Теплота — это движение молекул. Сжатие некоторого объема воздуха приводит к тому, что частота столкновений и скорость движения молекул возрастают. Следовательно, сжатие воздушных масс вызывает их нагрев. Справедливо и обратное утверждение: расширение сжатого воздуха приводит к сокращению частоты столкновений молекул и остыванию воздушной массы. По мере того как теплый воздух поднимается, атмосферное давление падает; воздух расширяется и остывает «адиабатически», т. е. без изменения общего количества содержащегося в нем тепла. Некоторая часть этого тепла используется при самом расширении. Если холодный воздух опускается и сжимается, он таким же образом адиабатически нагревается.

Теплый воздух может нести больше водяных паров, чем холодный. Когда экваториальный воздух, содержащий пары воды, поднимается и адиабатически остывает, он сначала насыщается водой, а после достижения точки росы пар конденсируется и выпадает в виде осадков. Именно благодаря подобным процессам районы с большим количеством выпадающих осадков по большей части располагаются около экватора (рис. 2.4). В противоположность этому в «конских» широтах холодные сухие воздушные массы по мере опускания и адиабатического нагревания интенсивно поглощают влагу; такой осушающий эффект способствует образованию в этих широтах главных пустынь нашей планеты (см.

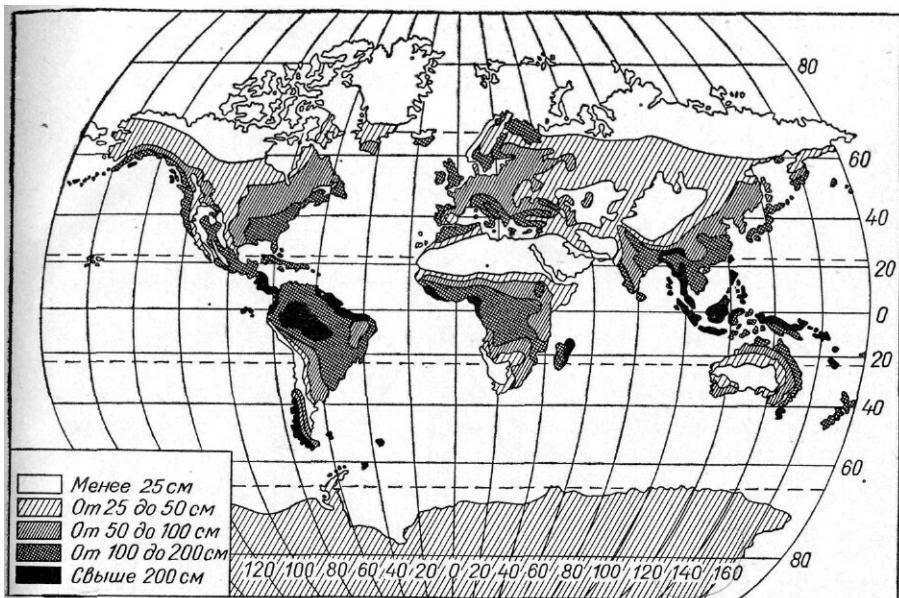


Рис. 2.5. Географическое распределение среднегодового количества осадков. (Из MacArthur, Connell, 1966, по Коэрре.)

рис. 2.4 и 2.5). Пустыни встречаются главным образом в западных частях континентов, где холодные прибрежные воды взаимодействуют с покрывающим их холодным и вследствие этого сухим воздухом; западные ветры, дующие над океанами, не содержат достаточно влаги, которую они могли бы передать опускающемуся сухому воздуху, и поэтому здесь выпадает ничтожно малое количество осадков. Глобальное распределение годовых осадков, показанное на рис. 2.5, в общем подтверждает основную гипотетическую схему, однако в нем наблюдаются многочисленные отклонения и исключения.

ЛОКАЛЬНЫЕ НАРУШЕНИЯ

Главные тенденции в распределении климата изменяются в зависимости от конкретных местных условий, а именно от размеров и взаиморасположения водоемов и массивов суши, а также от топографии последних (особенно в случае горной местности). Подъем в горы во многом можно сравнить с движением по направлению к более высоким широтам: в горах холоднее и ветренее, чем в прилегающих долинах, а свойственные высокогорным районам сообщества растений и животных в более высоких широтах обычно обитают на значительно меньших высотах (300 м

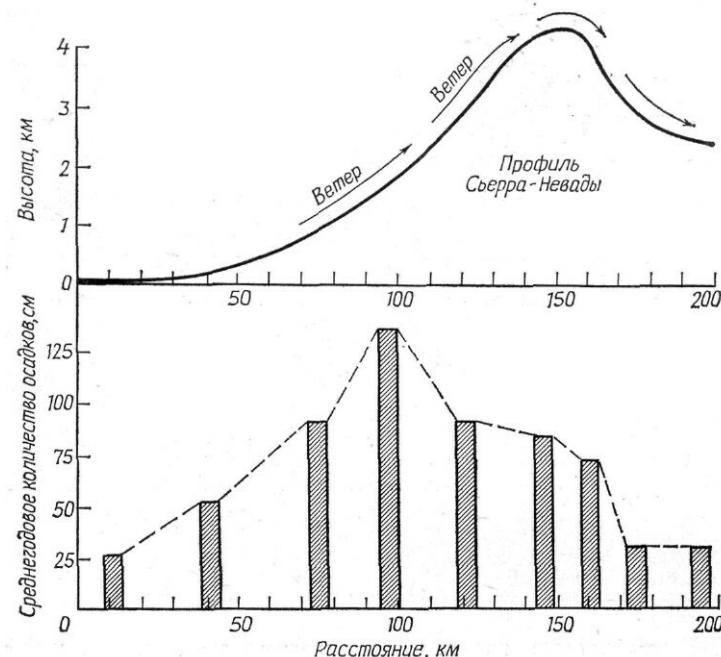


Рис. 2.6. Схема, иллюстрирующая эффект «дождевой тени», создаваемой хребтом Сьерра-Невада в центральной Калифорнии.

подъема вверх примерно соответствует передвижению на 160 км в направлении более высоких широт). Помимо указанного температурного эффекта горы заметно влияют на распределение выпадающих осадков и воды на земной поверхности. Вода быстро стекает со склона, но на более пологом месте она значительно дольше задерживается на поверхности и впитывается в почву. Именно поэтому при одинаковом количестве осадки, выпадающие на горные склоны, в общем менее эффективны, чем осадки, выпадающие на относительно ровную поверхность долины. Наличие гор непосредственно влияет также и на само распределение осадков. Рассмотрим для примера горную цепь, вытянутую с севера на юг и находящуюся в зоне западных ветров (подобно Сьерра-Неваде в западной части США). Воздух, достигнув гор, вынужден подниматься вверх; поднимаясь, он адиабатически охлаждается и насыщается водой, которая частично выпадает в виде осадков на наветренной стороне горной цепи. Миновав хребет, этот же самый воздух, но теперь уже холодный и сухой, опускается и, адиабатически нагреваясь, вбирает в себя большую часть доступной влаги на подветренной стороне гор. Возникающий эффект, называемый дождевой тенью (рис. 2.6), заключается в том, что наветренные склоны оказываются весьма влажными, а подвет-

ренные — значительно более сухими. Осушающее воздействие этих теплых сухих воздушных масс проявляется на многие мили за хребтом, обуславливая наличие пустыни Мохаве в южной Калифорнии и Неваде.

Вода имеет высокую удельную теплоемкость, т. е. для того, чтобы изменить ее температуру, требуется большое количество тепловой энергии. Вместе с тем некоторая масса воды может отдать довольно большое количество тепла, не остывая при этом сильно. Благодаря своей способности сохранять тепло крупные водоемы, особенно океаны, эффективно сокращают амплитуду колебаний температуры на прилегающих участках суши. Именно поэтому «морской» климат побережий отличается от «континентального» климата внутренних частей суши своей мягкостью и большей стабильностью. Большие озера, например такие, как Великие озера в Северной Америке, также уменьшают колебания температуры на прилегающих территориях и тем самым способствуют поддержанию ее на более постоянном уровне.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВО ВРЕМЕНИ И В ПРОСТРАНСТВЕ

Смена времен года — это следствие эллиптической формы орбиты, по которой Земля совершает свой годовой путь вокруг Солнца, а также наклона оси планеты относительно плоскости своей орбиты (рис. 2.7). По чисто историческим причинам эти астрономические события были описаны с точки зрения наблюдателя северного полушария, хотя благодаря симметрии те же самые события, но со сдвигом по фазе в шесть месяцев происходят и в южном полушарии. Дважды в год в дни весеннего (21 марта) и осеннего (23 сентября) равноденствий солнечные лучи падают на поверхность Земли в районе экватора перпендикулярно (т. е. солнце находится в зените непосредственно над головой наблюдателя и тень на экваторе падает точно в направлении восток — запад). Во время летнего (22 июня) и зимнего (22 декабря) солнцестояний ось Земли имеет максимальный наклон по отношению к солнечным лучам. В северном полушарии ось наклонена на $23,5^\circ$ в сторону солнца во время летнего солнцестояния и на $23,5^\circ$ от солнца во время зимнего солнцестояния (см. рис. 2.7). Во время летнего солнцестояния солнечные лучи падают перпендикулярно (солнце находится в зените) в районе тропика Рака ($23,5^\circ$ с. ш.), а во время зимнего солнцестояния — в районе тропика Козерога ($23,5^\circ$ ю. ш.). Летнее солнцестояние на Северном полюсе приходится на середину шестимесячного периода, в течение которого Солнце не заходит за линию горизонта (полярное лето). Избыток светлого времени суток летом в точности компенсируется его зимним дефицитом, так что общий годовой период светлого времени на любой широте точно равен шести месяцам. На экваторе продолжительность дня неизменно составляет 12 ч, тогда как полюсы

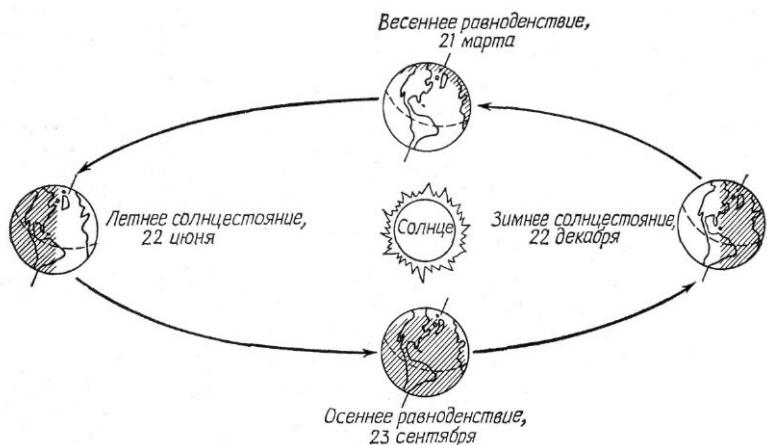


Рис. 2.7. Схематическое изображение движения Земли вокруг Солнца по эллиптической орбите, следствием чего является смена времен года. (Из MacArthur, Cornell, 1-966.)

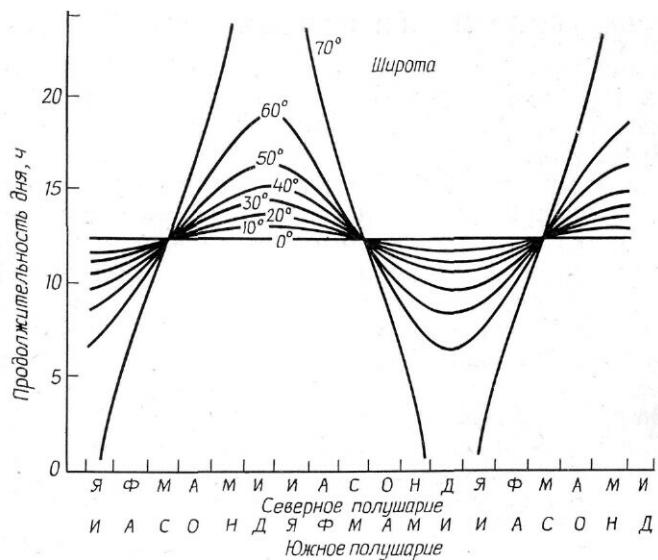


Рис. 2.8. Сезонные изменения фотопериода на различных широтах. (Из Sadleir, 1969.)

получают свою долю солнечного света сразу в течение шестимесячного периода, после чего следует шесть месяцев сумерек и полной темноты. Продолжительность светового дня — один из наиболее чувствительных показателей смены времен года, и многие растения и животные умеренной зоны полагаются на фотопериод как на сигнал окружающей среды (рис. 2.8).

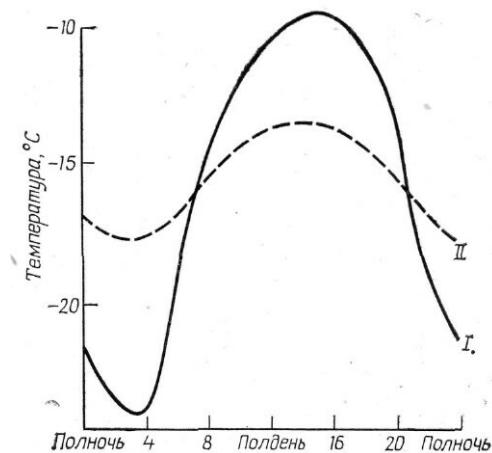


Рис. 2.9. Суточные колебания температуры в облачный и ясный дни. Видно, что облачность уменьшает как амплитуду суточного колебания температуры, так и ее крайние значения. (Из Haurwitz, Austin, 1944.) I — ясный день; II — облачный день.

Конечно, основные ветры и океанические течения не остаются неизменными, как можно предположить, исходя из схем, приведенных на рис. 2.2 и 2.3; на самом деле они варьируют по сезонам в зависимости от движения Земли вокруг Солнца. Широтный пояс, получающий наибольшее количество солнечного излучения («солнечный экватор»), постепенно смещается к северу или югу в пределах от 23,5° ю. ш. до 23,5° с. ш. Кроме того, широтные пояса восточных и западных ветров также сдвигаются к северу или югу в зависимости от времени года, вызывая тем самым сезонные изменения погоды в более высоких широтах. Вследствие шарообразной формы Земли сезонные колебания инсоляции очень заметно возрастают с увеличением широты.

Хотя температура той или иной местности зависит от господствующих ветров, особенностей топографии, высоты над уровнем моря, близости водоемов, облачного покрова (рис. 2.9) и других факторов, в каждой конкретной области годовой ход средних суточных температур тем не менее хорошо отражает движение Земли вокруг Солнца. Так, средняя суточная температура на

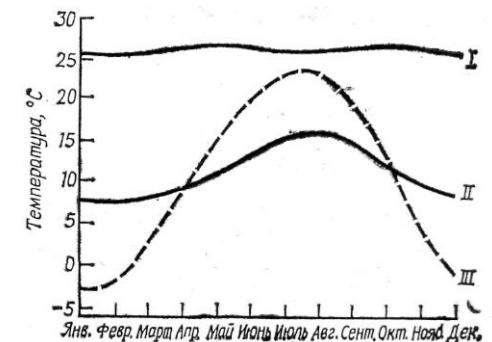


Рис. 2.10. Колебания средних годовых температур в экваториальной местности (Батавия, I) и двух умеренных областях: прибрежной (Сцилли, II) и материковой (Чикаго). (Из Haurwitz, Austin, 1944.)

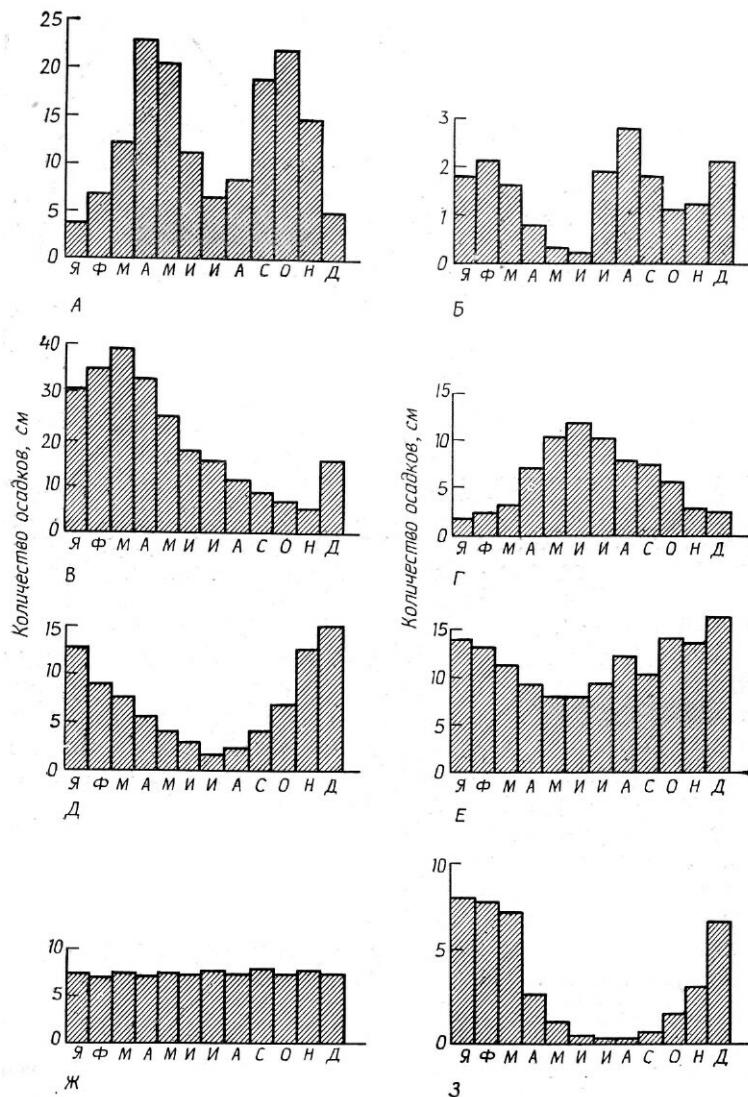


Рис. 2.11. Распределение среднего годового количества осадков в восьми выбранных местностях (см. текст). А. Бимодальное во влажной тропической зоне (Яунде, Камерун). Б. Бимодальное в пустыне Сонора (Феникс, Аризона). В. Унимодальное в экваториальной зоне (Белен, Бразилия). Г. Типичное континентальное с летними дождями (Омаха, Небраска). Д. С зимними осадками в прибрежном районе (Сиэтл, Вашингтон). Е. Типичное морское с дождями, более обильными зимой, чем летом (Валенсия, Венесуэла). Ж. Равномерное в восточной части Северной Америки. З. Распределение, характерное для местностей с летней засухой, поддерживающее растительность «чапаррала» (Лос-Анджелес, Калифорния). (Из Haurwitz, Austin, 1944.)

экваторе меняется в зависимости от сезона очень слабо, тогда как в более высоких широтах она колеблется в значительно большей степени (рис. 2.10). Годовой диапазон изменений температуры в умеренных широтах также сильно превышает диапазон ее колебаний в тропиках (табл. 2.1).

Движение Земли по орбите отражается на распределении осадков в течение года (рис. 2.11), хотя оно, возможно, и в большей степени подвержено действию локальных условий, чем глобальное распределение температуры. В очень низких широтах,

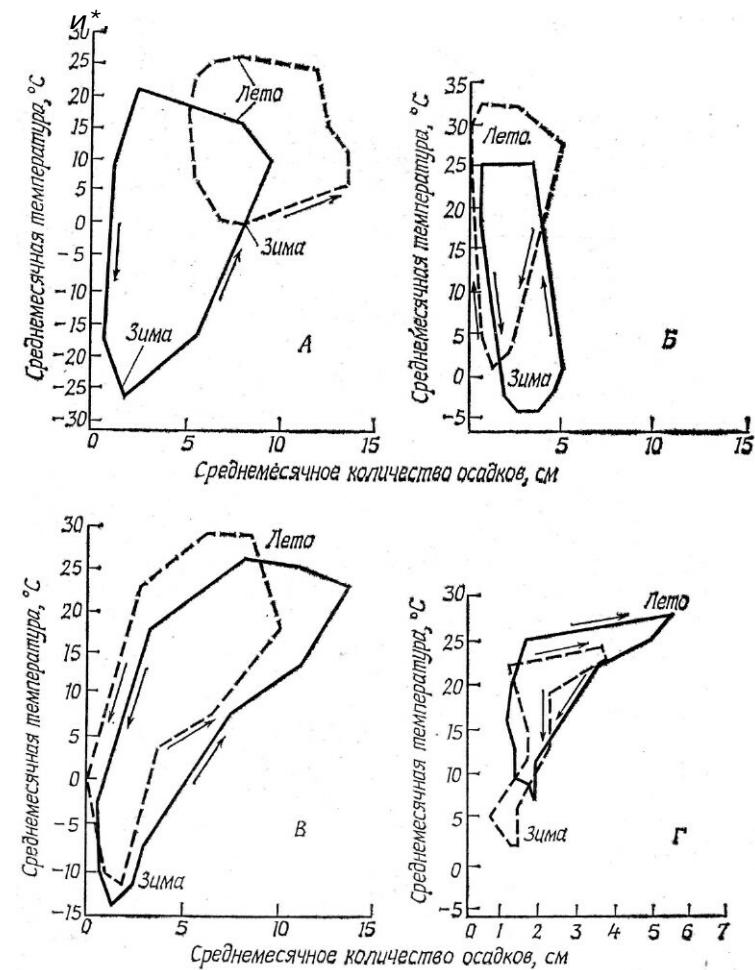


Рис. 2.12. Климатограммы для восьми различных местностей с растительностью различных типов. (Из Smith, 1940.) Сплошной линией обозначено: А — boreальный лес; Б — заросли полыни; В — высокотравье; Г — Эль-Пасо, Техас. Прерывистой линией обозначено: А — листопадный лес; Б — южная кустарниковая пустыня; В — низкотравье; Г — Альбукерке, Нью-Мексико.

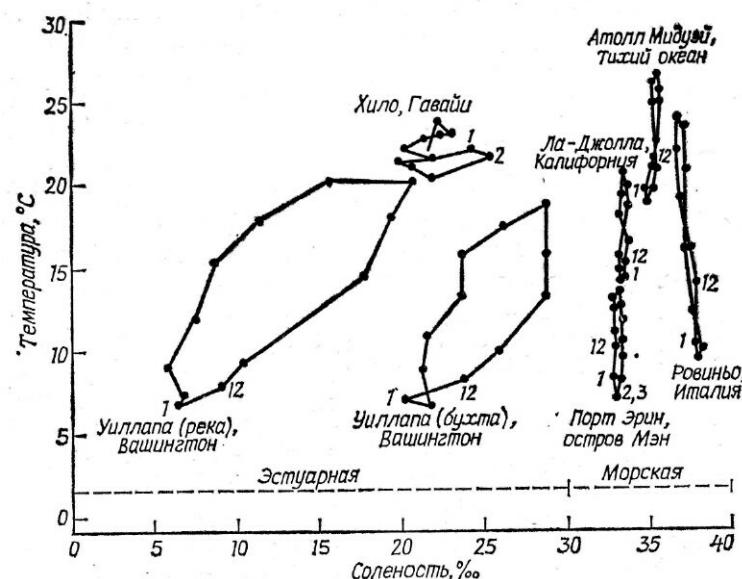


Рис. 2.13. Гидроклиматограммы температура—соленость для некоторых морских и эстuarных вод. Обратите внимание, что сезонные изменения солености в солоноватых водах очень велики, а в истинно морских водах — очень незначительны. (Из Odum, 1971 по Hedgepeth.)

например от 10° ю. ш. до 10° с. ш., в течение года часто наблюдаются два максимума выпадения осадков (рис. 2.11, A), которые приходятся на каждое солнцестояние и вызываются подъемом теплого воздуха во время прохождения солнечного экватора через данную область. Прохождение Солнца дважды в год через экваториальные зоны приводит к образованию бимодального годового распределения осадков. Бимодальность в распределении осадков наблюдается также и в районах более высоких широт, например в пустыне Сонора в Аризоне (рис. 2.11, 5), но там такое распределение обусловлено другими причинами. Не все экваториальные районы характеризуются подобным типом распределения осадков, в некоторых из них наблюдается только один период дождей в течение года (рис. 2.11, B).

Летом воздушные массы над центральными частями континентов в высоких широтах нагреваются обычно быстрее, чем над периферийными участками, которые отчасти охлаждаются близкими океанами. Когда горячий воздух над внутренними частями континентов поднимается вверх, образуется зона «низкого» давления, в которую устремляется более прохладный, но еще достаточно теплый и более влажный воздух с океанов и прибрежных районов. Этот влажный воздух, согреваясь над сушей, поднимается и, адиа-

батически охлаждаясь, высвобождает над континентами большую часть содержащейся в нем воды. Именно поэтому континентальный климат в противоположность прибрежному часто характеризуется летними грозами (рис. 2.11, Г). Зимой, когда внутренние области континентов охлаждаются в большей степени, чем омываемые теплыми водами прибрежные области, в них развиваются зоны «высокого» давления и возникают ветры, несущие холодный сухой воздух из центра к побережьям.

Погодный «фронт» образуется при столкновении холодных (чаще всего полярных) воздушных масс с теплыми. Теплый и более легкий воздух вытесняется тяжелым холодным воздухом вверх. По мере того как этот теплый воздух поднимается, он адиабатически охлаждается, и если в нем содержится достаточно водяных паров, то образуются облака и в конечном счете выпадают осадки. Такие фронты типичны для границ между областями полярных восточных ветров и областями западных ветров средних широт; в зависимости от сезона эти границы сдвигаются либо в северном, либо в южном направлении.

На сезонную периодичность прибрежных дождей другим, почти прямо противоположным образом влияет разная степень нагрева

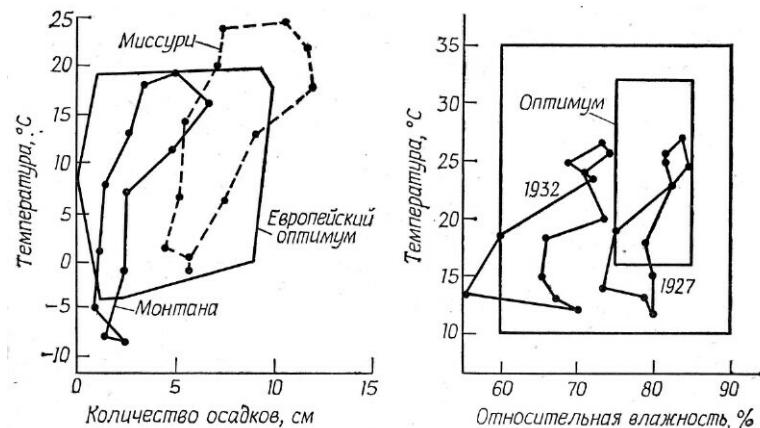


Рис. 2.14. Две климатограммы температура—влажность. (Из Odum, 1959.) Слева. Климатограммы для штата Монтана, где была успешно акклиматизирована серая куропатка, и для штата Миссури, где интродукция этого вида не увенчалась успехом в сравнении с климатограммой для мест обитания серой куропатки в Европе. Очевидно, что летом в Миссури слишком жарко и (или) слишком влажно для этих птиц. Справа. Температура и относительная влажность на территории нынешнего Израиля в 1927 и 1932 гг. в сравнении с оптимальными (внутренний прямоугольник) и благоприятными (внешний прямоугольник) условиями для средиземноморской плодовой мушки. Обратите внимание, что изображенные прямоугольники не подразумевают взаимодействия температуры и влажности; на самом деле в соответствии с принципом подразделения (см. также гл. 4) их углы должны быть закруглены. Ущерб, нанесенный урожаю фруктов этими мушками, был значительно больше в 1927 г.

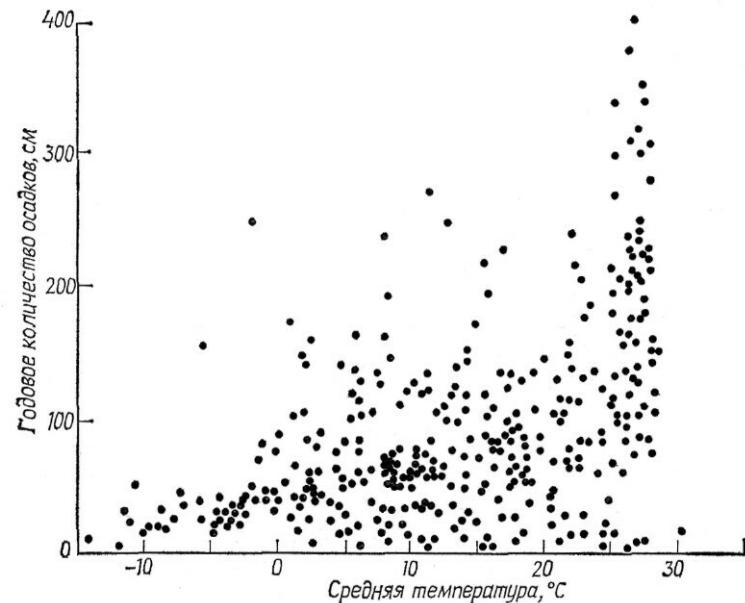


Рис. 2.15. Средняя годовая температура и количество осадков для большой выборки местностей, распределенных более или менее равномерно по поверхности суши. (Из Ricklefs, 1973 по Clayton, 1944.)

суши и воды. В высоких широтах (например, между 40 и 60°) массивы суши зимой остывают и становятся более холодными, чем прибрежный океан; в результате этого ветры, дующие вдоль западных берегов и содержащие много влаги, соприкасаясь с холодной массой суши, высвобождают большую часть содержащейся в них влаги в виде холодного зимнего дождя или снега, выпадающего на побережье (рис. 2.11, Д). Для морского климата вообще характерны осадки в течение круглого года, но зимой они, как правило, несколько обильнее (рис. 2.11, Е). Поскольку между широтами 30 и 60° преобладают западные ветры, для восточных побережий на этих широтах характерен континентальный климат, а для западных — морской. В восточной части Северной Америки осадки распределяются весьма равномерно в течение всего года (рис. 2.11, Ж). Для районов с продолжительным сухим летом и дождливой зимой обычно характерны ассоциации вечнозеленых кустарников (чапаррала) (см. также гл. 3).

Удобный метод представления сезонных климатических изменений — климограммы, которые представляют собой графики зависимости среднемесячных температур от соответствующего среднемесячного количества осадков (рис. 2.12). Хотя такие графики и не отражают колебаний климата от года к году, по ним с первого же взгляда можно судить об изменениях как температуры, так

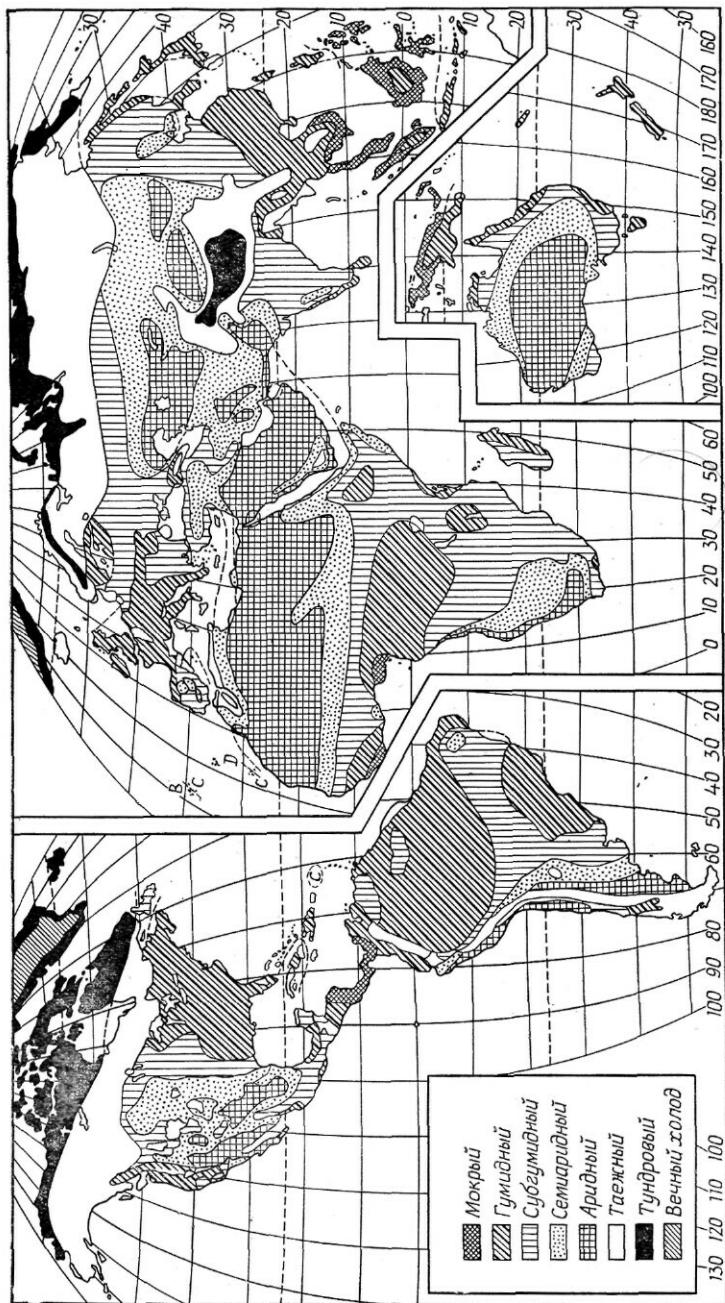


Рис. 2.16. Географическое распределение основных типов климата в соответствии с классификацией Торнтивейта. (Из Blumentstock, Thornthwaite, 1941.)

к количества осадков для некоего среднего года, а также о том сезоне (или сезонах), в течение которого обычно выпадают осадки. (На рис. 2.12 смена времен года показана стрелками, так как при отсутствии обозначений, указывающих соответствие отдельных точек конкретным месяцам, бывает трудно отличить весну от осени вследствие того, что оба этих сезона характеризуются умеренными температурами.) Точно такие же графики могут быть построены для любых двух дуприх физических переменных, например для температуры и влажности или, в случае водных экосистем, для температуры и солености (рис. 2.13). Этим же способом можно представить многие другие переменные, имеющие важное значение для биологических объектов, например pH и содержание растворенного фосфора или азота. Рассмотрение климограмм и аналогичных им графических построений, совместно с информацией о пределах толерантности тех или иных организмов, оказывается весьма полезным для предсказания реакции последних на изменения окружающей их физической среды (рис. 2.14).

Очень холодный климат обычно бывает сухим, тогда как в более теплых районах среднегодовое количество осадков может широко варьировать (рис. 2.15). Хотя число различных типов климата практически бесконечно, отдельные исследователи пытались классифицировать их. Согласно одной из схем (схема Кёппена), существует пять основных типов климата (наряду с большим количеством второстепенных): 1) тропический дождливый, 2) сухой, 3) теплый умеренный дождливый, 4) холодный снежный лесной и 5) полярный. Другая классификация представлена на рис. 2.16.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОШЛОЕ

Изменения климата, происходившие в течение геологического времени и изучаемые палеоклиматологией, представляют значительный экологический интерес, так как организмы должны были эволюционировать в соответствии с этими изменениями. По-настоящему полное экологическое исследование обычно включает рассмотрение геологической истории изучаемой территории. За время своего геологического прошлого Земля несчетное число раз меняла свой лик. Ее полюсы перемещались и блуждали, процессы орогенеза (горообразования), приводящие к тектоническим смещениям земной коры, то усиливались, то ослаблялись в разных местах и в разное время, континенты «дрейфовали», перемещаясь по мантии, а сама планета то нагревалась, то охлаждалась, причем в последнем случае начинались периоды обширного оледенения. Во время оледенений уровни океанов падали, поскольку вода концентрировалась на суше в виде снега и льда (подобные изменения уровня моря, контролируемые изменениями ледников, называются «эустатическими»).

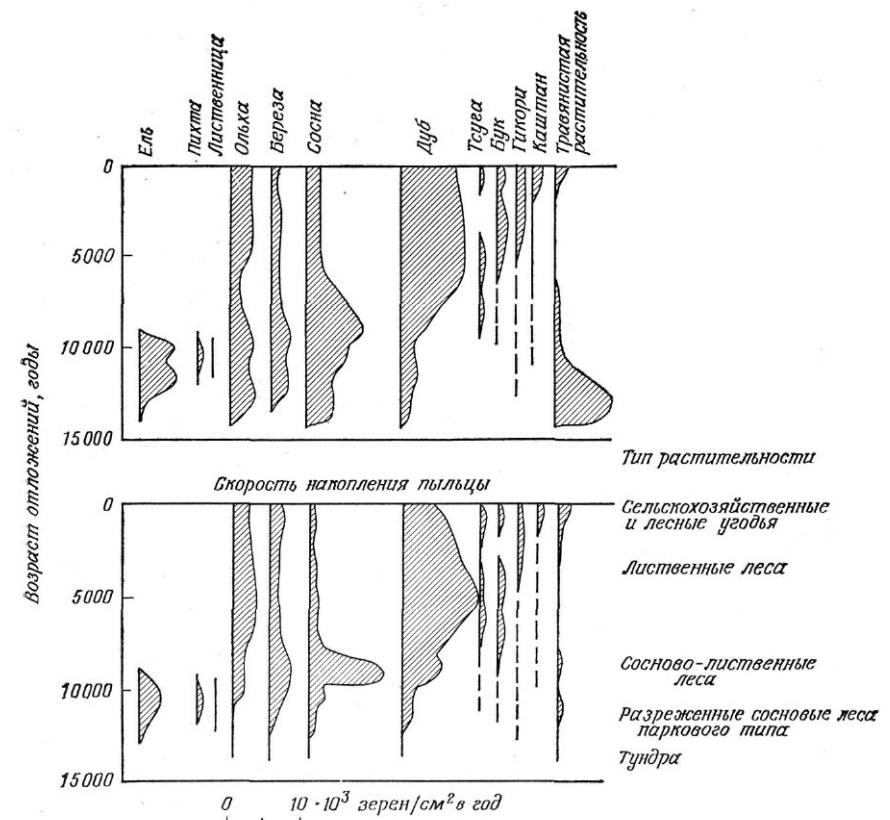
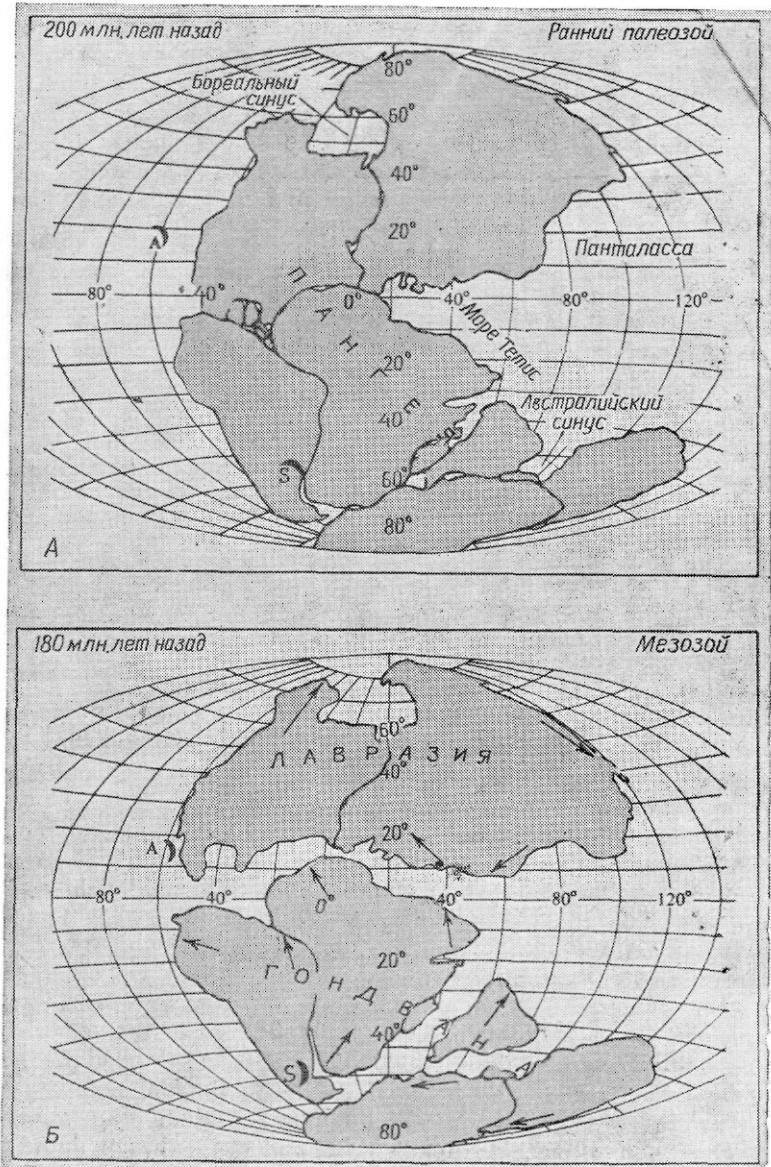


Рис. 2.17. Распределение пыльцы ископаемых растений в пробах озерных отложений послеледникового периода на северо-востоке США. А. Число пыльцевых зерен каждой группы видов выражено в процентах от общего числа зерен в пробе. Б. Оценки скорости отложения пыльцы для каждой группы растений. Справа указаны типы растительности, преобладавшие в данной области в то или иное время. (Из Odum, 1971 по Davis.)

Проследить за историческим прошлым Земли бывает порой чрезвычайно трудно, однако, используя специально разработанные, иногда весьма хитроумные методы, можно сделать некоторые выводы относительно произошедших на ней перемен. Наверное, наиболее простой и непосредственный способ заглянуть в прошлое — это изучить ископаемые остатки. Озерные отложения представляют собой идеальный источник послойно захороненных ископаемых, который часто использовался для того, чтобы проследить историю какого-либо района. Пыльцу, сохранившуюся в озерных отложениях, можно довольно легко определить, а поскольку растения, ее образовавшие, были приспособлены к какому-либо конкретному типу климата, пыльца может служить индикатором климата,



который господствовал здесь в прошлом, или, с равным успехом, индикатором типа и видового состава леса, росшего в окрестностях озера в то или иное время (рис. 2.17). Конечно, такой палинологический анализ связан с рядом трудностей, вызванных как различиями в скорости образования пыльцы представителями отдель-

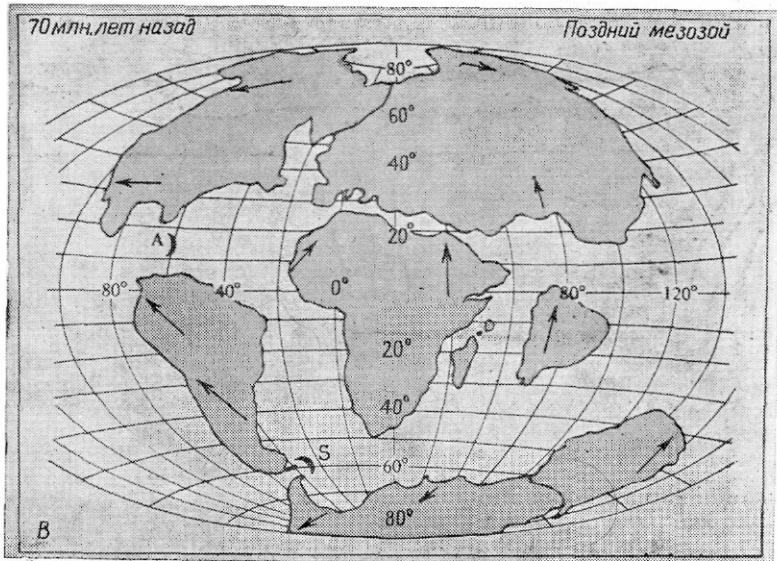


Рис. 2.18. Схема примерного расположения основных материков в различные периоды геологической истории и их возможного передвижения. (Из Dietz, Holden, 1970. The Breakup of Pangaea. Copyright 1970 by Scientific American Inc., All rights reserved.)

ных таксономических групп, так и в скорости ее переноса и захоронения. Кроме того, многие осадки могут содержать смесь пыльцы из нескольких различных сообществ.

Метод, известный под названием углеродного датирования, позволяет оценить возраст ископаемых остатков растений, в том числе пыльцы и древесного угля. Солнечное излучение превращает часть атмосферного азота в радиоактивный изотоп углерода ^{14}C . Изотоп ^{14}C окисляется до двуокиси углерода и потребляется растениями в той пропорции, в которой он содержится в воздухе, окружающем растение. Все радиоактивные изотопы испускают нейтроны и электроны, превращаясь в конечном счете в нерадиоактивные изотопы. Период, в течение которого половина исходного количества изотопа ^{14}C переходит в нерадиоактивный ^{12}C , называется периодом полужизни ^{14}C и составляет 5600 лет. Когда растение отмирает, оно содержит определенное максимальное количество ^{14}C . Сравнение относительного содержания ^{14}C и ^{12}C в современных и в ископаемых растениях позволяет оценить возраст последних. Так, например, возраст растительных остатков, содержащих половину того количества ^{14}C , которое содержится в современных растениях, насчитывает около 5600 лет, а возраст остатков, содержащих одну четвертьную часть современной концентрации

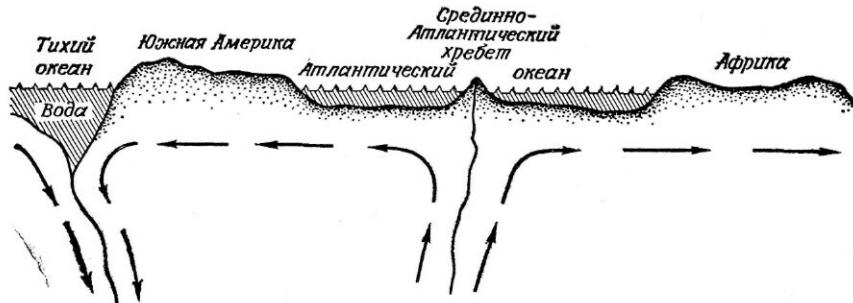


Рис. 2.19. Схематический разрез, показывающий возможные движения земной коры и мантии, приводящие к расширению дна океана и дрейфу континентов. Подъем глубинных слоев мантии в центре Атлантики сопровождается передвижением коры на поверхности в стороны от хребта, находящегося посередине океана. Континенты, которые как бы плавают на поверхности этого передвигающегося более плотного вещества, раздвигаются в стороны. В океаническом желобе, показанном в левой части рисунка, это вещество снова погружается в мантию, образуя замкнутую систему циркуляции.

^{14}C — около 11 200 лет и т. д. Метод углеродного датирования был проверен на предметах древнеегипетской цивилизации, изготовленных из растительного материала, возраст которых был точно известен. Результаты такой проверки подтвердили надежность метода и доказали, что скорость образования ^{14}C и соотношения ^{14}C и ^{12}C за последние 5000 лет существенно не изменились. Указанный способ позволяет очень точно установить возраст недавно фоссилизированного растительного материала. Разработаны также и другие методы датирования древних образований.

Сходный способ основывается на том, что включение в карбонаты двух изотопов кислорода ^{16}O и ^{18}O зависит от температуры. Таким образом, соотношение этих двух изотопов в ископаемых раковинах отражает ту температуру древнего океана, при которой жил исследуемый моллюск.

В настоящее время существует большое количество данных, свидетельствующих о том, что в отдаленные геологические эпохи континенты действительно передвигались, или «дрейфовали», удаляясь друг от друга (рис. 2.18; см. также с. 331—332). Определенные типы горных пород, особенно базальты, сохраняют магнитную «память» о той широте, на которой происходило их застывание. Подобные палеомагнитные данные явно указывают на то, что континенты двигались относительно друг друга. Образованы континенты из «легких» кремнистых, главным образом гранитных, «плит» толщиной около 30 км, которые в свою очередь плавают на более плотном базальтовом субстрате, представляющем собой мантию. Дно океанов образовано сравнительно тонким видоизмененным верхним слоем мантии. Относительно недавно на карту был нанесен подводный горный хребет, находящийся посередине

Атлантического океана, который, как сейчас полагают, представляет собой место, где происходит подъем вещества мантии. Согласно предлагаемому объяснению, по мере развития процессов подъема дно океанов расширяется и континенты раздвигаются в стороны (рис. 2.19). Таким образом, в соответствии с современной теорией считается, что размеры всех океанов увеличиваются (за исключением Тихого, который сокращается), а возраст океанического дна увеличивается от его центральной части по направлению к окружающим континентам. Другие данные, например возраст островов и мощность осадочного слоя, хорошо согласовываются с вышеупомянутой теорией. Представьте себе, как мог влиять на растения и животных климат, изменяющийся по мере того, как континенты дрейфовали через различные широты! Австралия, например, после того как придрейфовалась в «конские» широты, стала сухим континентом, но если она будет продолжать двигаться к экватору, ее климат постепенно станет более влажным и более жарким.

Причины многих перемен на нашей планете в прошлом, например таких, как перемещение полюсов или чередование потепления и похолодания, малоизвестны и, возможно, связаны с процессами на Солнце. Сведение воедино всех этих разнообразных и зачастую противоречащих друг другу данных, свидетельствующих о прошлом Земли, — одна из наиболее трудных и привлекательных задач, которая занимает умы многих ученых.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основные факторы, определяющие климат; локальные нарушения; изменчивость во времени и пространстве;

Blair, Fite, 1965; Blumenstock, Thorntwaite, 1941; Byers, 1954; Chorley, Kennedy, 1971; Collier et al., 1973; Finch, Trewartha, 1949; Flohn, 1969; Gates, 1962; Haarwitz, Austin, 1944; Lowry, 1969; MacArthur, 1972; MacArthur, Connell, 1966; Taylor, 1920; Thorntwaite, 1948; Trewartha, 1943; U. S. Department of Agriculture, 1941.

Геологическое прошлое

Birch, Ehrlich, 1967; Dansereau, 1957; Darlington, 1957, 1965; Dietz, Holden, 1970; Hesse, Allee, Schmidt, 1951; Jelgersma, 1966; Martin, Mehringer, 1965; Sawyer, 1966; Udvardy, 1969; Wilson, 1971, 1973; Wiseman, 1966; Wright, Frey, 1965.