

ким образом, за счет энергии Солнца энергетически бедные вещества CO_2 и H_2O превращаются в богатые энергией продукты — углеводы и кислород. Энергетические уровни различных реакций, описанных суммарным уравнением (1.1), можно охарактеризовать величинами окислительно-восстановительных потенциалов, измеряемых в вольтах. Значения потенциалов показывают, сколько энергии запасается или растрачивается в каждой из реакций; подробнее мы познакомимся с этим в гл. 4. Итак, фотосинтез можно рассматривать как процесс преобразования лучистой энергии Солнца в химическую энергию растительных тканей.

1.2. Цикл двуокиси углерода

Содержание CO_2 в атмосфере остается почти постоянным, несмотря на то, что углекислый газ расходуется в процессе фотосинтеза. Дело в том, что все растения и животные дышат. В процессе дыхания (в митохондриях) кислород, поглощаемый из атмосферы живыми тканями, используется для окисления углеводов и других компонентов тканей с образованием в конечном счете двуокиси углерода и воды и с сопутствующим выделением энергии. Высвобождающаяся энергия запасается в виде высокоэнергетического соединения — аденозинтрифосфата (АТФ), который и используется организмом для выполнения всех жизненных функций. Таким образом, дыхание приводит к расходованию органических веществ и кислорода и увеличивает содержание CO_2 на нашей планете. На процессы дыхания во всех живых организмах и на сжигание всех видов топлива, содержащего углерод, в совокупности расходуется в масштабах всей Земли в среднем около 10 000 тонн O_2 в секунду. При такой скорости потребления весь кислород в атмосфере должен бы иссякнуть примерно через 3000 лет. К счастью для нас, расход органических веществ и атмосферного кислорода уравнивается созданием углеводов и кислорода в результате фотосинтеза. В идеальных условиях скорость фотосинтеза в зеленых тканях растений примерно в 30 раз превышает скорость дыхания в тех же тканях. Таким образом, фотосинтез служит очень важным фактором, регулирующим содержание O_2 и CO_2

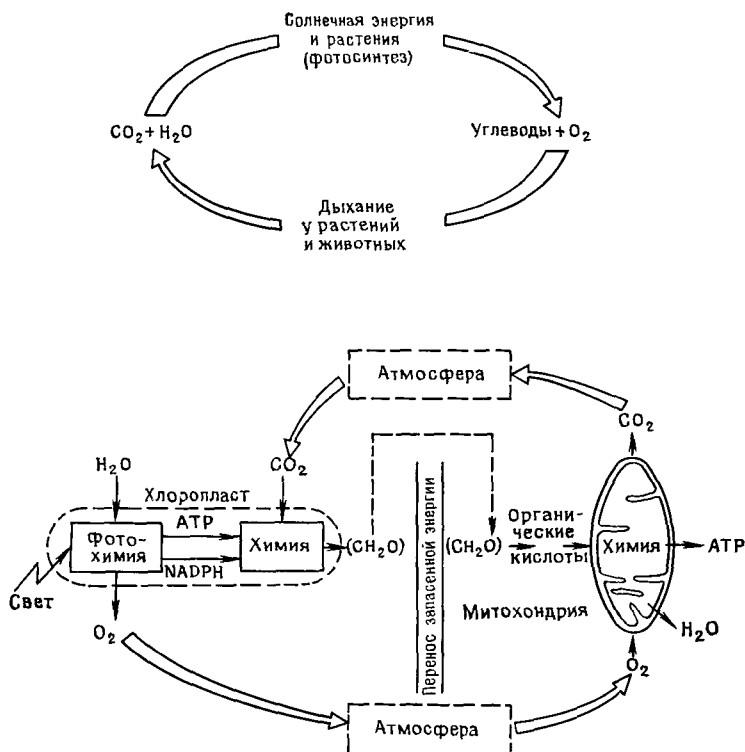


Рис. 1.1. Циклы CO_2 и O_2 в атмосфере и в клетке. [Печатается с любезного разрешения проф. Ф. Уотли (F. R. Whatley).]

в атмосфере Земли. Весь цикл взаимосвязанных процессов можно схематически изобразить, как показано на рис. 1.1. В ходе фотосинтеза вся имеющаяся в атмосфере двуокись углерода проходит через растения в среднем за 300 лет, а весь кислород совершает свой цикл за 2000 лет.

Следует пояснить, что энергия, высвобождающаяся при дыхании, в конечном счете рассеивается живыми организмами в виде тепла и поэтому непригодна для повторного использования в рассмотренном выше цикле. Следовательно, в течение многих миллионов лет энергия

постоянно поступала от Солнца и терялась в земной атмосфере в виде тепла. Но и той энергии, которая еще остается в Солнце, достаточно, чтобы процесс фотосинтеза продолжался в течение грядущих миллионов лет.

1.3. Превращения энергии и эффективность фотосинтеза

Солнечная энергия, достигающая в течение года атмосферы Земли, составляет примерно $56 \cdot 10^{23}$ Дж. Около половины этой энергии отражается облаками и газами в верхних слоях атмосферы и не попадает на Землю. Из той энергии, которая достигает поверхности Земли, лишь 50% приходится на спектральный диапазон, соответствующий видимому излучению, которое способно вызвать фотосинтез, а другая половина — это инфракрасное излучение. Таким образом, годовое поступление энергии в виде фотосинтетически активной радиации, т. е. в виде света от фиолетового до красного, составляет в масштабах всей Земли около $15 \cdot 10^{23}$ Дж. Однако примерно 40% этой энергии отражается поверхностью океанов, попадает в пустыни и т. п., и лишь оставшаяся доля может быть поглощена наземными и водными растениями. Согласно приведенным в последнее время данным, автотрофные растения производят за год примерно $2 \cdot 10^{11}$ тонн биомассы, что эквивалентно энергии $3 \cdot 10^{21}$ Дж. Около 40% этого органического материала синтезируется фитопланктоном, мельчайшими растениями, обитающими вблизи поверхности океанов. Ежегодное потребление продуктов питания всем населением Земли (если считать численность населения равной 4,3 млрд. человек) составляет около 800 млн. тонн, или $13 \cdot 10^{18}$ Дж. Таким образом, получается, что средний коэффициент использования фотосинтетически активной радиации всей флорой нашей планеты составляет всего лишь 0,2% ($3 \cdot 10^{21} / 15 \cdot 10^{23}$), но и из той энергии, которая была поглощена в процессе фотосинтеза, человечество потребляет в виде энергии питательных веществ менее 0,5% ($13 \cdot 10^{18} / 3 \cdot 10^{21}$). Интересно отметить, что в 1976 г. потребление энергии в мировом масштабе составило $3 \cdot 10^{20}$ Дж, или одну десятую долю энергии, запасенной за год благодаря фотосинтезу! По сути дела, энергия,