

Часть вторая

ЖИЗНЬ

ВО ВСЕЛЕННОЙ

На далекой звезде Венере
Солнце пламенной и золотистой,
На Венере, ах, на Венере
У деревьев синие листья...

Н.Гумилев

11. Условия, необходимые для возникновения и развития жизни на планетах

Для эволюции живых организмов от простейших форм (вирусы, бактерии) к разумным существам необходимы огромные интервалы времени, так как «движущей силой» такой эволюции являются мутации и естественный отбор — процессы, носящие случайный, статистический характер. Именно через большое количество случайных процессов реализуется закономерное развитие от низших форм жизни к высшим. На примере нашей планеты Земли мы знаем, что этот интервал времени, по-видимому, превосходит 3,5 миллиарда лет. Поэтому только на планетах, обращающихся вокруг достаточно старых звезд, мы можем ожидать присутствия высокоорганизованных живых существ. Отсюда сразу же следует естественный вывод, что высокоорганизованная (в частности, разумная) жизнь может быть только на планетах, обращающихся вокруг звезд, спектральный класс которых более «поздний», чем F0 (см. табл. 2). С другой стороны, довольно ненадежные аргументы, основанные на анализе особенностей вращения звезд вокруг своих осей и статистике кратных звездных систем, говорят о том, что только у звезд более «поздних» классов, чем F5, можно ожидать планетных систем. Здесь мы еще раз должны подчеркнуть, что при современном состоянии астрономии можно говорить только об аргументах в пользу гипотезы множественности планетных систем. Строгим доказательством этого важнейшего утверждения астрономия пока не располагает (см. гл. 10).

С этой весьма существенной оговоркой мы будем в дальнейшем считать, что некоторое, пока еще не известное нам количество звезд главной последовательности, спектральные классы которых более «поздние», чем F5, имеют планетные системы.

С другой стороны, имеются основания полагать, что у звезд «первого поколения» (субкарликов) планет типа Земли быть не может, так как среда, из которой они образовались, была весьма бедна тяжелыми элементами. На это обстоятельство обратил внимание Э. А. Дибай.

Для возникновения и развития жизни на планете необходимо, чтобы выполнялся ряд условий весьма общего характера. Совершенно очевидно, что далеко не на всякой планете может возникнуть жизнь. Хорошим примером является Луна, практически лишенная атмосферы и полностью лишенная водной оболочки — гидросферы. Конечно, при таких условиях говорить о какой бы то ни было жизни на Луне не приходится.

Жизнедеятельность любого организма есть прежде всего совокупность различных согласованных между собой сложных химических процессов. Жизнь может возникнуть только тогда, когда на планете уже имеются достаточно сложные молекулярные соединения. Само образование таких соединений, химические реакции между ними, в конечном итоге давшие начало живому веществу, и жизнедеятельность образовавшихся на планете организмов требуют, в частности, подходящих температурных условий. Слишком высокие и слишком низкие температуры исключают возможность возникновения и развития жизни. В равной степени губительны для возникновения и развития жизни очень резкие колебания температуры.

Мы можем представить себе вокруг каждой звезды, имеющей планетную систему, область или зону, где температурные условия на планетах не исключают возникновения и развития жизни. Ясно, что в достаточной близости от звезды температуры планет будут слишком высокими для возникновения жизни. Хорошей иллюстрацией сказанному является Меркурий, температура обращенной к Солнцу части которого выше температуры плавления свинца. На достаточно

большом удалении от звезды температура планет будет слишком низкой. Нелегко себе представить, например, жизнь на Уране и Нептуне, температура поверхностей которых — 200 °С. Нельзя, однако, недооценивать огромную приспособляемость («адаптацию») живых организмов к неблагоприятным условиям внешней среды. Следует еще заметить, что для жизнедеятельности организмов значительно «опаснее» очень высокие температуры, чем низкие, так как простейшие виды вирусов и бактерий могут, как известно, находиться в состоянии анабиоза при температуре, близкой к абсолютному нулю.

Температура планеты определяется прежде всего количеством излучения от звезды, падающим на единицу площади ее поверхности за единицу времени. По этой причине размеры «зон обитаемости» для разных звезд различны. Они тем больше, чем выше светимость звезды, т. е., чем более «ранним» является ее спектральный класс.

У красных карликов спектрального класса М, а также поздних подклассов К внешний радиус «зоны обитаемости» становится очень маленьким, меньше, например, радиуса орбиты «нашего» Меркурия. Поэтому вероятность того, что хотя бы одна из планет, обращающихся вокруг таких карликов красных звезд, находится в пределах «зоны обитаемости», как можно думать, невелика. Следует, однако, заметить, что планетные системы, окружающие звезды, могут по своим характеристикам значительно отличаться от единственной планетной системы, которую мы пока знаем, — нашей Солнечной системы. В частности, не исключено, что вокруг красных карликовых звезд планеты могут обращаться по сравнительно небольшим орбитам.

Если сделать весьма «оптимистическое» предположение, что планеты, на которых возможна жизнь, имеются у всех звезд главной последовательности, спектральные классы которых более «поздние», чем F5, и более «ранние», чем K5, то окажется, что лишь 1—2% всех звезд в Галактике могут быть «обитаемы». Учитывая, что число всех звезд в нашей звездной системе около 150 млрд, мы приходим к довольно «утешительному» выводу: по крайней мере у миллиарда звезд нашей Галактики могут быть планетные системы, на которых в принципе возможна жизнь.

Нужно, впрочем, считаться с еще одним обстоятельством. Как известно, около половины всех звезд входит в состав кратных систем. Представим себе планету в системе двойной звезды. Вообще говоря, ее орбита будет довольно сложной незамкнутой кривой. Вычисление характеристик такой орбиты представляет достаточно трудную математическую задачу. Это так называемая «ограниченная» задача трех тел. По сравнению с общей задачей о движении трех тел, взаимно притягивающихся по закону Ньютона, «ограниченная» задача проще, так как масса планеты ничтожна по сравнению со звездами и не оказывает влияния на движение звезд.

Двигаясь по своей сложной орбите, планета временами может приближаться к одной из звезд на небольшие расстояния, а временами удаляться от звезд очень далеко. В соответствии с этим температура поверхности планеты будет меняться в недопустимых для возникновения и развития жизни пределах. Поэтому вначале считали, что около кратных звезд не могут быть обитаемые планеты. Но свыше 30 лет назад Су Шухуанг пересмотрел этот вопрос и показал, что в отдельных случаях может быть такое движение планет по периодическим орбитам, при котором температура их поверхностей меняется в допустимых для развития жизни пределах. Для этого нужно, чтобы относительные орбиты звезд были близки к круговым. На рис. 50 приведены сечения плоскостью некоторых «критических поверхностей» в ограниченной задаче трех тел. Периодические орбиты планет, допускающие развитие жизни, лежат либо внутри поверхности, проходящей через L_1 , либо снаружи поверхности, проходящей через L_2 . Если массы обеих звезд одина-

ковы, то внутри поверхности, проходящей через L_1 орбиты, подходящие для развития жизни, будут существовать при условии, что расстояние между звездами $a > 2l^{1/2}$ (a выражено в астрономических единицах), где l — светимость каждой из звезд (в единицах светимости Солнца). Когда a станет больше $13l^{1/2}$, каждую из компонент двойной системы можно рассматривать для интересующей нас задачи как одиночную звезду.

Заметим, что у многих двойных систем расстояние между компонентами превосходит это «критическое» значение. Следовательно, в принципе вокруг достаточно удаленных друг от друга компонент двойной системы, движущихся по почти круговой орбите, возможно наличие обитаемых планет. В случае, когда компоненты двойной системы достаточно близки друг к другу, подходящие периодические орбиты могут быть вне поверхности, проходящей через L_2 (рис. 50). Как показывают вычисления Су Шухуанга, при равных массах компонент двойной системы орбиты, подходящие для возникновения и развития жизни, могут быть при условии, что $a < 0,4l^{1/2}$. Таким образом, в области значений $2l^{1/2} > a > 0,4l^{1/2}$ исключается возможность существования обитаемых планет.

Аналогичные результаты можно получить путем вычисления и для более общего случая, когда массы компонент двойной системы не равны. Таким образом, мы должны сделать вывод, что и в кратных звездных системах, в принципе могут быть планеты, температурные условия на которых не исключают возможности возникновения и развития жизни. Следует, однако, отметить, что вероятность существования таких планет около одиночных звезд значительно выше. Впрочем, возможно, что образование кратных звезд и планет суть процессы, взаимно исключающие друг друга.

Для оценки количества звезд в Галактике, вокруг которых, как можно полагать, обращаются обитаемые планеты, учет кратных звезд не имеет, конечно, серьезного значения, так как мы едва можем грубо оценить только порядок этой величины. При таких расчетах коэффициент 1,5—2 не играет роли. Другое дело, когда речь идет о вероятности существования обитаемых планет в какой-нибудь совершенно определенной кратной системе, по тем или иным причинам представляющей для нас интерес. Например, одна из ближайших звезд — α Центавра — кратная система. Естественно, что вопрос о возможном наличии в этой системе обитаемых планет представляет для нас особый интерес.

α Центавра является тройной системой. Относительная орбита двух наиболее массивных компонент этой системы — эллипс с большой полуосью, равной 23,4 астрономической единицы, и с довольно значительным эксцентриситетом: 0,52. Таким образом, расстояние между двумя главными компонентами достаточно велико, чтобы вокруг каждой из них могли существовать подходящие планетные периодические орбиты (см. выше). Однако большая величина эксцентриситета звездных орбит требует для этого случая специального рассмотрения (напомним, что приведенные результаты вычислений Су Шухуанга относятся к случаю круговых орбит компонент двойной системы). Нужно, впрочем, заметить, что система α Центавра, по-видимому, сравнительно молодая. Входящие в нее звезды, возможно, еще не «сели» на главную последовательность. Поэтому маловероятно, что там могут быть планеты даже с примитивными формами жизни.

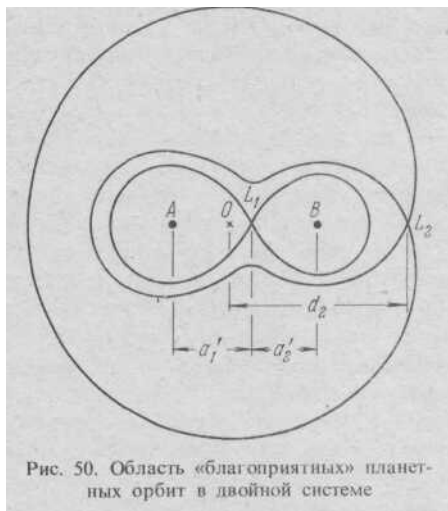


Рис. 50. Область «благоприятных» планетных орбит в двойной системе

На рис. 51 приведена фотография пространственной модели ближайших окрестностей Солнечной системы. В соответствующем масштабе изображена сфера радиусом в 5 пк (16,3 светового года), причем Солнце находится в ее центре. Каждый темный шарик этой сферы представляет собой звезду. Относительное пространственное расположение звезд соответствует действительному. Сфера выполнена из плексигласа и имеет диаметр около 130 см, так что в этом масштабе один световой год равен 4 см. Размеры шариков, сделанных из дерева, приблизительно

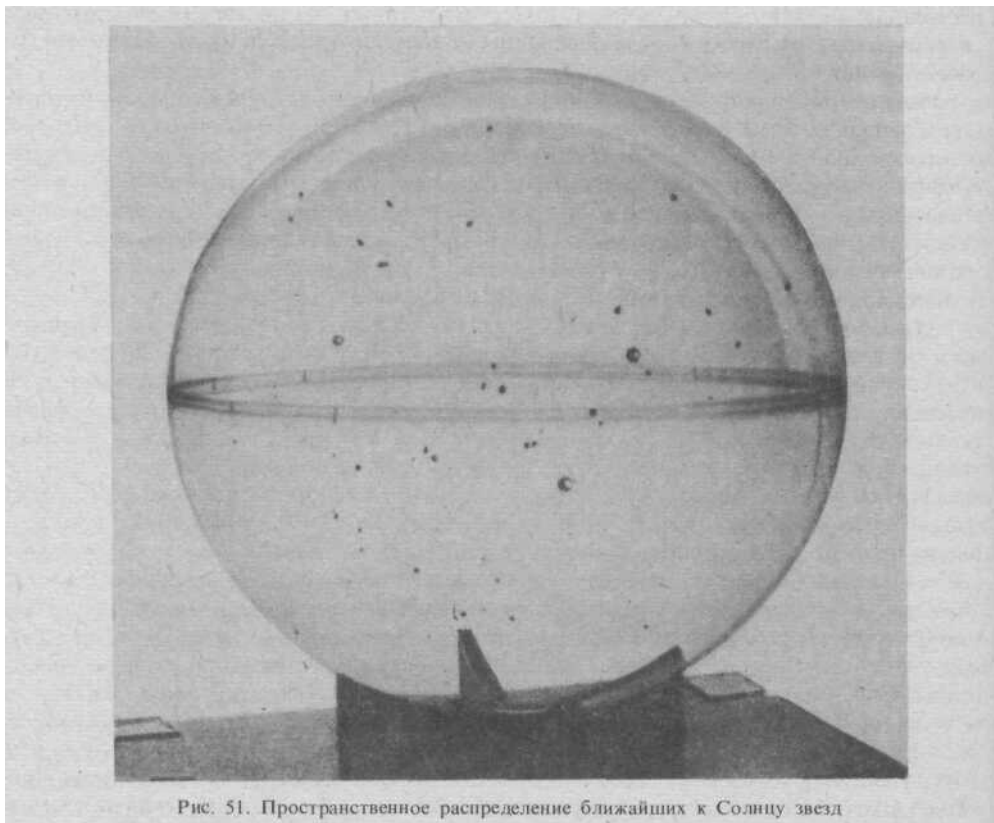


Рис. 51. Пространственное распределение ближайших к Солнцу звезд

соответствуют светимостям соответствующих звезд. Всего внутри этой сферы находятся 53 звезды (считая звезды, входящие в состав кратных систем). Справа внизу от Солнца находится самая яркая звезда на небе — Сириус. Рядом с ним виден его крохотный спутник — белый карлик. Справа сверху от Солнца видна другая яркая звезда — Прокцион. У нее спутник — также белый карлик. Яркая звезда слева от центра — Альтаир. Все эти звезды имеют спектральные классы, более ранние, чем F5. Поэтому, согласно нашей основной гипотезе, вокруг них нельзя ожидать обитаемых планетных систем. Большинство звезд внутри этой сферы — красные карлики низкой светимости. Не считая нашего Солнца, только три звезды из 53 удовлетворяют сформулированным условиям (т.е. они имеют спектральные классы между F5 и K5 и являются одиночными). Это звезды ε Эриды, ι Кита и ε Индейца.

Проведенный сейчас анализ модели, изображенной на рис. 51, наглядно демонстрирует, что только несколько процентов звезд могут иметь (но, конечно, отнюдь не обязательно должны иметь) обитаемые планеты. Следует, однако, еще раз подчеркнуть, что в настоящее время мы не можем исключить красные

карликовые звезды (которые составляют подавляющее большинство всех звезд) из числа возможных очагов жизни во Вселенной (см. выше)*).

Как уже подчеркивалось, для развития жизни на какой-нибудь планете необходимо, чтобы температура последней находилась в определенных допустимых пределах. Этим требованием определяются размеры и само наличие «зон обитаемости». Кроме того, необходимо, чтобы излучение звезды на протяжении многих сот миллионов и даже миллиардов лет оставалось приблизительно постоянным. Например, обширный класс переменных звезд, светимости которых сильно меняются со временем (часто периодически), должен быть исключен из рассмотрения.

Однако подавляющее большинство звезд главной последовательности излучает с удивительным постоянством. Например, согласно геологическим данным, светимость нашего Солнца за последние несколько миллиардов лет оставалась постоянной с точностью до нескольких десятков процентов. По-видимому, такое постоянство светимости есть общее свойство большинства звезд главной последовательности. Таким образом, важное условие постоянства светимости звезды — центра планетной системы — почти во всех случаях удовлетворяется, во всяком случае, если речь идет о звездах с массой, близкой к солнечной.

Мы довольно подробно рассмотрели температурные условия, при которых возможно возникновение и развитие жизни на той или иной планете, но эти условия, конечно, не единственные. Очень важное значение для рассматриваемой нами проблемы имеют масса образовавшейся каким-либо способом планеты и химический состав ее атмосферы. По-видимому, эти две первоначальные характеристики планеты не являются независимыми. Рассмотрим сперва случай, когда масса образовавшейся планеты невелика. Молекулы и атомы в верхних слоях атмосферы, где ее плотность низка, двигаются с различными скоростями. Часть из них имеет скорость, превышающую «вторую космическую скорость» (астрономы называют эту скорость «параболической»), и будет беспрепятственно уходить за пределы планеты. Этот процесс, до некоторой степени напоминающий испарение, называется «диссипацией». Очевидно, эффективная диссипация может происходить там, где плотность атмосферы настолько низка, что «ускользающие» атомы уже не испытывают столкновений с другими атомами. Если бы такие столкновения имели место, то они могли бы изменить величину и направление скорости ускользающих атомов, что препятствовало бы диссипации.

Диссипация планетных атмосфер происходит непрерывно, так как всегда найдется некоторое количество молекул (атомов), которые при данной температуре атмосферы имеют скорости, направленные «вверх» и превосходящие параболическую. Однако для разных газов доля диссипирующих частиц будет различной. Больше всего она для легких газов — водорода и гелия. Само собой разумеется, что количество диссипирующих частиц зависит, и притом очень чувствительно, от температуры атмосферы на тех высотах, где происходит диссипация.

Математическая теория диссипации планетных атмосфер впервые была разработана в начале этого века английским астрономом Джинсом (автором известной космологической гипотезы, см. гл. 9). В дальнейшем она была усовершенствована трудами ряда ученых, в частности, американским астрофизиком Лайманом Спитцером и автором этой книги. Количество атомов, ускользающих из атмосферы за 1 с, дается следующей формулой:

$$L = \frac{4\pi R_0^2}{\sqrt{6\pi}} \sqrt{\frac{3kT}{m}} \frac{GmM}{kTR_0} e^{-\frac{GmM}{kTR_0}} n_c$$

*) Следует, однако, отметить, что огромное большинство красных карликов обладают высокой активностью (это так называемые «звезды типа UV Кита») что исключает, по-видимому, возможность развития жизни в их окрестностях.

где R_0 — радиус планеты, $G = 6.1 \cdot 10^{-8}$ — известная постоянная в законе всемирного тяготения, T — температура атмосферы на уровне, где диссипация становится существенной, m — масса атома, M — масса планеты, $e = 2,718...$ — основание натуральных Логарифмов, k — постоянная Больцмана, n_c — плотность на уровне убеждения.

Из этой формулы следует, что весь водород, находящийся в настоящее время в земной атмосфере, должен «ускользнуть» в межпланетное пространство за очень малое время — порядка нескольких лет *). Если бы не постоянное поступление водорода в атмосферу, главным образом из-за испарения мирового океана, водорода в атмосфере нашей планеты не было бы совсем.

Из формулы видно, что скорость диссипации сильно зависит от массы планеты. Это и понятно. Ведь при малой массе параболическая скорость будет невелика, поэтому значительная часть атомов и молекул будет иметь скорость, превышающую параболическую. Например, у Луны, масса которой в 81 раз меньше земной, а радиус близок к 1700 км, параболическая скорость составляет всего лишь 2,4 км/с. Поэтому даже сравнительно тяжелые газы Луна на протяжении своей «космической» истории удержать не могла. Это объясняет отсутствие атмосферы на нашем спутнике. Меркурий также лишен сколько-нибудь плотной атмосферы.

<> Впрочем, недавно при наблюдениях спектра Меркурия с высоким разрежением обнаружили, что он имеет чрезвычайно разреженную атмосферу, состоящую главным образом из атомов натрия. <>

Таким образом, чтобы на планете могла возникнуть и развиваться жизнь, ее масса не должна быть слишком маленькой. С другой стороны, слишком большая масса планеты также является неблагоприятным фактором. Планеты, массы которых достаточно велики (например, близки к массам планет-гигантов Юпитера и Сатурна), полностью удерживают свою первоначальную атмосферу. Эта «первобытная» атмосфера должна быть очень богата водородом, так как первоначальная среда, из которой образовались планеты, имела примерно тот же химический состав, что и звезды, которые в основном состоят из водорода и гелия. Если планета сохранила «первоначальный» состав среды, из которой она образовалась, ее водородно-гелиевая атмосфера должна быть очень плотной. Исключительно плотной водородно-гелиевой атмосферой обладают планеты-гиганты Юпитер и Сатурн. Мы уже подчеркивали в гл. 8, что если бы массы планет были в 5—10 раз больше, чем у Юпитера, они уже принципиально не отличались бы от карликовых звезд. Ряд авторов (например, академик В. Г. Фесенков) считали, что при большом обилии водорода образовавшиеся на его основе химические соединения: аммиак, метан и другие — исключают возможность образования живой субстанции, так как это довольно ядовитые газы. Впрочем, такое утверждение не является бесспорным, и в настоящее время возможность существования примитивных форм жизни на больших планетах Солнечной системы, в принципе нельзя полностью исключать (см. гл. 17). Так или иначе, для того чтобы на планетах могла возникнуть и развиваться жизнь, их массы должны быть ограничены как сверху, так и снизу. По-видимому, нижняя граница возможной массы такой планеты близка к нескольким сотым массы Земли, а верхняя в десятки раз превосходит земную. Как видим, пределы возможных масс планет, пригодных для жизни, достаточно широки.

Те вопросы, которые мы сейчас затронули, тесно переплетаются с основными проблемами планетной космогонии и прежде всего с пониманием самого раннего периода Земли и планет. Мы уже подчеркивали в гл. 10, что пока состояние планетной космогонии таково, что еще не существует определенных ответов на все возникающие важные вопросы. Можно высказать только несколько замечаний самого общего характера. Нельзя считать, что первоначальный сгусток материи, удержи-

*) При этом учитывается, что температура земной атмосферы на высоте уровня диссипации (~ 500 км) около 1500 К.

ваемый силой взаимного тяготения составляющих его атомов и молекул, из которого впоследствии образовалась Земля, имел химический состав такой же, как Солнце и звезды, т. е. был так же богат водородом и гелием. Можно показать, что никакая диссипация не в состоянии «отсортировать» из такого сгустка водород и гелий. Коль скоро это так, мы должны сделать вывод, что Земля, так же как и другие «внутренние» планеты, образовалась из вещества, бедного водородом и гелием. Таким веществом могли быть пылинки и молекулярные агрегаты, образовавшиеся в первоначальной туманности. Вместе с тем на сравнительно больших расстояниях от Солнца условия были благоприятны для образования довольно массивных водородно-гелиевых конденсаций, которые впоследствии превратились в большие планеты. Для этой схемы трудностью является объяснение химического состава Урана и Нептуна, которые сравнительно бедны водородом и гелием. Об этом мы уже говорили в гл. 10.

Во всяком случае, по-видимому, не случайна сравнительная близость к Солнцу планет земной группы и значительная удаленность от него больших планет. Отсюда мы можем сделать важный вывод: то обстоятельство, что планеты, атмосферы которых в принципе пригодны для возникновения и развития жизни, находятся в сравнительной близости от Солнца, т. е. в «зоне обитаемости», является закономерным следствием процесса, приводящего к формированию планетных систем. Это, конечно, повышает вероятность того, что на некоторых планетах данной планетной системы может возникнуть и развиваться жизнь. Итак, разные условия (положение планеты в «зоне обитаемости», подходящая масса ее и «благоприятный» химический состав атмосферы) могут выполняться одновременно, т. е. не являются независимыми.

В этой главе мы рассмотрели некоторые условия, необходимые для возникновения и развития жизни на планетах. Они носят самый общий характер и являются, если можно так выразиться, «астрономическими». Разумеется, чтобы на какой-нибудь планете возникла жизнь, необходимо выполнение ряда других условий. Так, например, очень важно, чтобы на поверхности планеты образовалась жидкая оболочка — гидросфера. Имеются все основания полагать, что первоначальные формы жизни скорее всего могли возникнуть в воде. Но для образования на планете достаточно мощной гидросферы нужно, чтобы существенная часть водорода, находящегося в том первоначальном материале, из которого образовалась планета, не успела диссипировать, а соединилась с кислородом. Это, конечно, накладывает дополнительное, и притом довольно жесткое, условие на массу планеты, ее радиус и расстояние от планеты до звезды. На другом важном условии (уровень жесткой радиации) мы немного остановимся в гл. 13.

12. Об определении понятия «жизнь»

Мы подошли теперь к самому важному и вместе с тем самому грудному вопросу: каким образом и при каких условиях из неживого вещества возникло живое? Автор этой книги — астроном, а не биолог или химик. Поэтому для него это особенно трудный вопрос. В порядке «утешения» можно только сказать, что вообще эта важнейшая проблема современного естествознания пока еще не решена. Имеются отдельные, часто весьма остроумные, гипотезы, подкрепленные различными химическими и биохимическими лабораторными экспериментами. Нет, однако, никакой уверенности, что соответствующие реакции, некогда происходившие на нашей планете, именно и привели к возникновению жизни. Слишком сложна и трудна эта проблема, а условия на «молодой» Земле известны нам далеко не с полной достоверностью.

Конечно, при таком положении вещей можно было бы просто обойти этот вопрос молчанием. Мы могли бы принять правдоподобную гипотезу, что при подходящих условиях (о которых речь шла в предыдущей главе) в определенные периоды развития планет на них каким-то неизвестным нам образом возникает жизнь. Пройдя достаточно долгий эволюционный путь, эта жизнь может стать разумной. Тогда возникает комплекс интересных вопросов, которым будет посвящена часть 3 этой книги. Мы, однако, так не поступим и постараемся, хотя бы в самой общей форме, дать представление о современных взглядах на происхождение жизни. Это тем более важно сделать, что развитие биохимии, биофизики и генетики сейчас идет такими темпами, что делает вполне возможным решение «проблемы №1» в близком будущем.

Прежде всего, мы должны определить понятие «живое вещество». Заметим, что этот вопрос является далеко не простым. Многие авторы, например, определяют живое вещество как сложные молекулярные агрегаты — белковые тела, обладающие упорядоченным обменом веществ. В частности, такой точки зрения придерживается академик А. И. Опарин, много занимавшийся проблемой происхождения жизни на Земле.

Конечно, обмен веществ есть существеннейший атрибут жизни. Однако вопрос о том, можно ли сводить сущность жизни прежде всего к обмену веществ, является спорным. Ведь и в мире неживого, например, у некоторых растворов, наблюдается обмен веществ в его простейших формах.

В основе жизнедеятельности всех организмов, начиная от простейших, лежит очень сложная система взаимно связанных химических реакций — как окислительных, так и восстановительных. В этих реакциях участвуют молекулы белков и нуклеиновых кислот, являющихся «материальными носителями» жизни. Существенно, что несмотря на обусловленное химическими реакциями непрерывное разрушение всех структур в организме, они должны непрерывно воспроизводиться. В основе такого воспроизводства лежит синтез белков. Этот синтез происходит в клетках организма при помощи нуклеиновых кислот ДНК и РНК («дезоксирибонуклеиновая» и «рибонуклеиновая» кислоты). Белки представляют собой очень сложные макромолекулы (атомная масса до 10^7). Структурными элементами белков являются аминокислоты. Хотя полное количество известных органической химии аминокислот достигает ~ 100 , белки, образующие все организмы, «используют» только 20 аминокислот. Белки, естественно, обладают очень сложной структурой. Основой структуры белка является последовательность образующих его аминокислот.

Значительно более простой структурой обладают нуклеиновые кислоты. Они образуют длинные полимерные цепи, элементами которых являются нуклеотиды — соединения азотистого основания, сахара и остатка фосфорной кислоты.

У молекулы ДНК азотистые основания (пурины — аденин, гуанин и пиримидины — тимин, цитозин) присоединяются к сахару по одному в разной последовательности.

В 1953 г. англичанин Ф. Крик и американец Д. Уотсон с помощью рентгеноструктурного анализа нашли строение молекулы ДНК. Оказалось, что каждая такая молекула представляет собой две спаренные нити, закрученные в спирали (см. рис. 52). Каждая из этих нитей соединяется с другой водородными связями, причем каждая из таких связей попарно соединяет либо аденин одной цепи с тимином другой, либо гуанин с цитозином. Открытие Крика и Уотсона, бесспорно, следует отнести к величайшим научным достижениям нашего века, ибо это открытие стало фундаментом молекулярной биологии.

Как показали дальнейшие исследования, основной функцией ДНК является передача по наследству генетической информации, что является основой жизни. При этом молекулы ДНК играют роль кода, по «указанию» которого происходят все синтезы белковых молекул в клетках организма. Это основное значение двойной спирали ДНК впервые понял в 1954 г. Г. А. Гамов — тот самый ученый, который в 1928 г. дал первую теорию а-радиоактивности, а в 1948 г. предложил модель «горячей Вселенной» и предсказал открытое в 1965 г. «реликтовое излучение» (см. гл. 7).

Выше мы уже обратили внимание на то, что в цепи ДНК азотистые основания присоединяются к сахарам в самой различной последовательности. В этом кажущемся беспорядке пыливый ум Г. А. Гомова усмотрел «шифр», «код». Ход его рассуждений был таким. Как уже говорилось выше, белки состоят из комбинаций 20 аминокислот, а в ДНК чередуются четыре азотистых основания. Если предположить, что каждой аминокислоте соответствует определенная комбинация (т. е. определенный порядок чередования) азотистых оснований, то сразу же видно, что каждой аминокислоте не может соответствовать сочетание из двух таких соединений, ибо число сочетаний из четырех элементов по два равно 16, между тем, как число аминокислот 20. Следовательно, минимальное число таких сочетаний должно быть три азотистых основания из четырех. Это дает число возможных комбинаций 64, что значительно больше числа используемых в живых белках аминокислот.

Гипотеза Г. А. Гомова получила блестящее подтверждение в 1961 г. после тонких экспериментов американских биохимиков Ниренберга и Матте. В итоге последовавшей за этими экспериментами большой работы был найден код для всех 20 аминокислот. Например, аминокислоте фенилаланин соответствует «триплет» из трех урацилов. Однако самым поразительным оказалось то, что все без исключения организмы, начиная от простейших сине-зеленых водорослей до человека в своей жизнедеятельности используют абсолютно одинаковый генетический код!

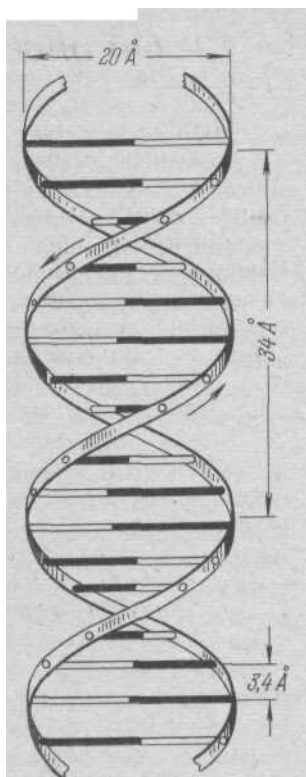


Рис. 52. Схема ДНК
ДНК представляет собой двойную спираль диаметром 18–20 Å. Шаг этой спирали равен 34 Å. Сахаро-фосфатные нити ДНК включают в себя также остатки фосфорной кислоты и молекулы сахара. К молекулам сахара прикреплены молекулы двух пуриновых (аденин и гуанин) и двух пиримидиновых (тимин и цитозин) оснований, представленных на схеме в виде «мостов», связывающих нити ДНК. Все многообразие наследственных признаков определяется различными комбинациями этих «мостов»

Как превращается закодированная в виде последовательности азотистых оснований в ДНК генетическая информация в строго чередующуюся последовательность биохимических процессов — это уже проблема чисто биологическая. Ее сколько-нибудь подробное рассмотрение выходит за рамки нашей книги *).

<> Интересно отметить недавнее открытие, что текст в ДНК подобен мозаике, на которой смысловые куски отделены друг от друга «бессмысленными», не несущими информации фрагментами. Когда с ДНК снимается копия в виде информационной РНК, лишние кусочки вырезаются. Зачем природе нужна мозаичность генетического текста, как она возникла — пока неизвестно <>.

Мы только кратко обрисовываем основные узлы этой великолепно работающей по программному устройству сложнейшей фабрики, по сравнению с которой наши автоматизированные, самые передовые предприятия кажутся неуклюжими и даже «старомодными». В процессе превращения закодированной в ДНК информации в строго определенную последовательность биохимических процессов решающая роль принадлежит рибонуклеиновым кислотам (РНК), отличающимся от ДНК по составу сахаров и одному азотистому основанию. Молекулярная масса РНК $\sim 10^6$, т. е. на порядок меньше, чем у гигантской молекулы ДНК. Синтез белков происходит в особых областях клетки, так называемых «рибосомах», которые можно назвать «фабриками белка». Существуют три типа РНК: высокомолекулярная РНК, локализованная в рибосомах, информационная РНК, образующаяся в ядре клетки «под контролем» ДНК и «транспортная», сравнительно низкомолекулярная (молекулярная масса ~ 20000) РНК. Синтезируемая в ядре клетки информационная РНК полностью повторяет в своей структуре последовательность азотистых оснований ДНК, участвующей в ее синтезе. Проще говоря, генетический код «переписывается» с молекулы ДНК на молекулу информационной РНК. Эти молекулы затем из ядра клетки поступают в рибосомы и передают туда информацию о последовательности и характере синтеза белка. Перенос и присоединение отдельных аминокислот к месту синтеза осуществляется транспортной РНК. Присоединившаяся к этой молекуле аминокислота доставляется к строящейся молекуле белка и точно присоединяется к нужному участку. При таком присоединении «фишками» является последовательность азотистых оснований, определяющая генетический код. Идет самая настоящая программированная сборка сложнейшей конструкции!

Это, конечно, очень грубая и схематичная картина работы внутриклеточной фабрики белков. Действительность, как всегда, гораздо сложнее и богаче. Например, в клетке имеется по крайней мере 20 типов транспортной РНК, соответствующих числу аминокислот. Все же эта грубая схема дает некоторое представление о работе сложнейшей автоматической «фабрики жизни».

Поразительное свойство «тождественного воспроизводства» при помощи такого кибернетического устройства, как ДНК, — несомненно, существенный атрибут жизни. В то же время чрезвычайно важно следующее обстоятельство.

Под влиянием внешних факторов (например, жесткой радиации) могут происходить отдельные нарушения в системе кода наследственности. Такие нарушения будут приводить к появлению у потомков совершенно новых признаков, которые будут передаваться дальше по наследству. Эти явления называются «мутациями». Не все мутации «полезны» для данного вида. Дарвиновский естественный отбор со временем производит очень жесткую селекцию. В результате остаются («выживают») те организмы, у которых мутации оказались полезными, нужными данному виду в его борьбе за существование. Этот процесс, согласно современному дарвинизму, и является движущей силой эволюции живых существ на Земле.

*) Читателя, интересующегося этой проблемой, мы отсылаем к книге: Уотсон Д. Двойная спираль. — М: Мир, 1969.

Очевидно, что без широкого применения результатов и идей современной генетики — «генетики на молекулярном уровне» — нельзя решить вопрос о происхождении жизни на Земле и на других планетах. Существенным недостатком старых гипотез о возникновении жизни на Земле, и, в частности, гипотезы академика А. И. Опарина, является то, что они не опираются на современную молекулярную биологию. Впрочем, это вполне естественно, так как механизм передачи наследственных признаков и, в частности роль ДНК, стал в известной степени ясным только сравнительно недавно.

Разумеется, мы не отрицаем большую роль старых гипотез в анализе тех предварительных химических процессов, на основе которых впоследствии возникло живое вещество. Например, для возникновения жизни большое значение может иметь концентрация сложных молекул в коацерватных каплях. Но на коренные вопросы, что такое жизнь и как она возникла, эти гипотезы ответа не дают.

Вопрос об определении понятия «жизнь» стоит очень остро, когда мы обсуждаем возможность жизни на других планетных системах, что является главным предметом нашей книги. На это обстоятельство особенное внимание обращал академик А. Н. Колмогоров — выдающийся математик и крупнейший специалист по кибернетике. Он подчеркивал, что биологические науки до последнего времени занимались исследованием живых существ, населяющих Землю и имеющих общую историю возникновения и развития. Естественно, что понятие «жизнь» отождествлялось при этом с конкретным ее воплощением в конкретных условиях нашей планеты. Но в наш век астронавтики открывается принципиальная возможность обнаружить в Космосе такие формы движения материи, которые обладают практически всеми атрибутами живых, а может быть, даже мыслящих существ. Однако мы ничего не можем заранее сказать о конкретных проявлениях этих форм движения материи. Поэтому сейчас возникает настоятельная потребность дать такое определение понятия «жизнь», которое не было бы связано с гипотезами о конкретных физических процессах, лежащих в ее основе. Следовательно, возникает потребность в чисто функциональном определении понятия «жизнь».

Эта задача далеко не простая, и вполне удовлетворительного функционального определения основного понятия «жизни» пока не существует. Однако первые, и притом, как нам представляется, достаточно успешные, шаги в этом направлении уже сделаны. Мы имеем в виду исследования А. А. Ляпунова, на основных идеях которого мы сейчас остановимся*).

При изучении процессов, лежащих в основе жизнедеятельности всех организмов, от простейших до самых сложных, А. А. Ляпунов исходит из представлений кибернетики. Внимательный анализ показывает, что любое проявление жизни можно перевести на язык науки об управляющих процессах. Характерной особенностью управляющих процессов является то, что передача по определенным каналам небольших количеств энергии или вещества влечет за собой действия, заключающиеся в преобразовании значительно больших количеств энергии или вещества. Но кибернетика как раз и занимается изучением процессов управления и строением управляющих систем. Поэтому вполне естественно и даже необходимо при анализе процессов жизнедеятельности исходить из представления кибернетики.

Заметим еще, что такие биологические понятия, как наследственность, раздражимость и т. д., представляют собой не что иное, как конкретизацию таких общих кибернетических понятий, как накопление и хранение информации, управляющая система, обратная связь, канал связи и др.

А. А. Ляпунов считает, что управление, понимаемое в широком, кибернетическом смысле, является самым характерным свойством жизни безотносительно к ее

*) См. доклад А. А. Ляпунова «Об управляющих системах живой природы и общем понимании жизненных процессов». — М., 1962.

конкретным формам. Тем самым он делает попытку дать функциональное определение понятия «жизнь».

Согласно этой концепции, «живое вещество» определяется следующим образом. Состояние всякого вещества описывается набором целого ряда физико-химических характеристик: массой, химическим составом, энергией, электрическими и магнитными свойствами и др. Вообще говоря, эти характеристики будут с течением времени меняться. Вещества, у которых усредненные за подходящий интервал времени значения характеристик меняются мало по сравнению с другими веществами, обладающими примерно такими же значениями характеристик, Ляпунов называет «относительно устойчивыми». Причиной устойчивости могут быть либо особенно благоприятные внешние условия (например, постоянная температура внешней среды), либо внутренние реакции вещества на внешние воздействия, направленные на сохранение его состояния. Реакции такого типа Ляпунов называет «сохраняющими». Именно последний тип устойчивости и лежит в основе жизнедеятельности всех организмов. В самом деле, для жизни характерна огромная «приспособляемость», «адаптация» к внешним условиям и их изменениям. В ряде случаев живые организмы активно преобразуют окружающую их среду, создавая подходящие условия для своей жизнедеятельности. Так, например, отдельные виды микроорганизмов могут «локально» повышать температуру окружающей их среды. Вся эта «адаптация» жизни достигается живой материей путем огромного количества сохраняющих реакций.

На языке кибернетики сохраняющие реакции можно описать так: вещество воспринимает информацию о внешних воздействиях в виде некоторых кодированных сигналов, перерабатывает ее и по определенным каналам связи посылает также в виде «сигналов» новую информацию. Последняя вызывает такую внутреннюю перестройку самого вещества, которая способствует сохранению его характеристик.

Сигналы должны носить «дискретный» характер, т. е. каждый из них может иметь конечное число возможных значений, причем число сигналов конечно. «Материальным воплощением» такого сигнала может быть, например, некоторый физический процесс. При переработке информации происходит изменение «материального воплощения» сигналов.

Устройство, в котором происходит переработка информации, может быть названо «управляющей системой». Эта система имеет дискретную природу и состоит из некоторого, вообще говоря, очень большого количества «входных» и «выходных» элементов, связанных «каналами связи», по которым могут передаваться сигналы. Материальная система, служащая для хранения информации, называется «запоминающим устройством» или «памятью». Такая система может, например, состоять из отдельных элементов, каждый из которых будет находиться в одном из нескольких устойчивых состояний, причем состояния элементов меняются под действием поступающих сигналов. Когда некоторое количество таких элементов находится в каких-то определенных состояниях, можно говорить, что «информация записана в памяти». Дело обстоит так, как будто бы информация записана в виде текста конечной длины при помощи алфавита с конечным числом знаков.

При выработке «ответов», обеспечивающих сохраняющие реакции тела на внешние воздействия, управляющая система воспринимает информацию об этих воздействиях, «расчленяет» ее на более мелкие части и «сопоставляет» с информацией, которая в ней уже «записана». В результате и в зависимости от такого сопоставления формируется «ответная информация». Отсюда следует, что управляющая система будет тем более «гибкой», чем больше информации в ней записано, т. е. чем больше объем ее «памяти».

Важным свойством сохраняющих реакций является их быстрота. Последняя должна быть хорошо согласована со скоростью внешних воздействий на тело,

которые, вообще говоря, могут меняться в довольно широких пределах. Это требует достаточно большого объема памяти в управляющей системе.

Ряд соображений, на которых мы здесь останавливаться не будем, приводит к требованию, чтобы размеры материальных носителей информации были очень маленькими. С другой стороны, необходимо, чтобы хранение информации в памяти управляющей системы было надежным (иначе не будет обеспечена устойчивость тела). Это означает требование высокой стабильности состояний элементов, из которых складывается память. Отсюда Ляпунов делает, на наш взгляд, совершенно правильный вывод, что устойчивыми материальными носителями информации могут быть отдельные молекулы, состоящие из достаточно большого количества атомов. Такие молекулы представляют собой квантованные системы. Для изменения состояния подобной молекулы требуется, чтобы она поглотила достаточно большую порцию энергии (например, больше 0,1 эВ). Поэтому, например, беспорядочные тепловые движения, энергия которых значительно меньше, не могут изменить состояния такой молекулы.

Ляпунов характеризует жизнь как «высокоустойчивое состояние вещества, использующее для выработки сохраняющих реакций информацию, кодируемую состояниями отдельных молекул».

Чтобы сохраняющие реакции были возможны, необходимо, очевидно, чтобы организм обладал некоторым запасом энергии, причем этот запас должен устойчиво сохраняться. С другой стороны, благодаря действию законов термодинамики во всякой замкнутой системе энергетические уровни (определяемые, например, температурой) должны выравниваться. Следовательно, организм должен противодействовать термодинамическим процессам, что требует непрерывной затраты энергии. Таким образом, для устойчивого поддержания своего состояния всякий организм должен получать энергию извне.

Важной термодинамической характеристикой всякого тела является его энтропия. Если бы живое вещество представляло собой замкнутую (т. е. термодинамически изолированную) систему, в нем непрерывно увеличивалось бы содержание энтропии. Это повлекло бы за собой такое изменение его физических и химических характеристик, которое в конце концов прекратило бы всякую жизнедеятельность. Следовательно, живой организм должен систематически удалять накапливающуюся энтропию. Поэтому живое вещество должно непрерывно обмениваться с окружающей средой энергией и энтропией, что достигается при помощи обмена веществ. Сам обмен веществ регулируется управляющими системами специального назначения, использующими для этого запасы информации.

При таком понимании обмена веществ как способа поддержания жизнедеятельности организма становится довольно ясной несостоятельность старых представлений, фактически отождествляющих жизнь с обменом веществ. Такое отождествление, на наш взгляд, решительно ничего не дает для понимания сущности жизни.

Характернейшей особенностью живого вещества является то, что оно состоит из отдельных структурных единиц — организмов. Каждый такой организм как в информационном, так и в энергетическом смысле представляет собой в значительной степени обособленную единицу и вместе с тем имеет свою собственную структуру. Ляпунов связывает это с «дискретной структурированностью» управления. Под этим он понимает «иерархическую» систему подчинения управляющих систем. Функционирование систем более «высокого» уровня изменяет состояние или «настраивает» системы более «низкого» уровня.

Расчленение живой материи на клетки, органы, организмы, популяции, виды и т. д. соответствует иерархии управляющих систем. Каждая из этих структурных единиц живой материи управляется своей «автономной» системой, «энергично воз-

действующей на все, что подчинено, и в свою очередь подчиняющейся медленно действующей управляющей системе высшей иерархической единицы».

Следует различать системы управления в отдельных организмах и в совокупности организмов (популяции, виды). В первом случае сложная управляющая система состоит из частей, в свою очередь являющихся управляющими системами «нижнего яруса». Во втором случае мы имеем очень большое количество более или менее независимых, статистически равноправных систем, взаимодействующих при случайных встречах и коллективных действиях. Такой способ управления, называемый Ляпуновым «статистическим», не является быстродействующим, в отличие от первого, «структурного» способа управления отдельными организмами. Как следствие развитых представлений получается, что «надорганизменные» образования (например, виды) значительно более устойчивы, чем отдельные организмы (которые более или менее быстро погибают). Но высокая устойчивость «надорганизменных» образований возможна лишь при условии появления новых организмов, приходящих на смену старым, т. е. при условии размножения.

Чтобы каждый возникший таким образом организм был устойчив, он должен иметь запас информации, для обеспечения сохраняющих реакций. Совершенно невероятно, чтобы этот запас информации возник в организме самопроизвольно. Новый организм должен получать необходимый для его жизнедеятельности запас информации, а также первоначальную управляющую систему, так сказать, в «готовом виде». Откуда? Только от других подобных организмов, являющихся его «родителями». Отсюда следует важнейший вывод: размножение живых организмов сопровождается «самовоспроизведением» информации, передачей от «родителей» к «потомству».

В этом пункте кибернетический подход к проблеме жизни, развиваемый Ляпуновым, непосредственно смыкается с достижениями молекулярной генетики, выявившими определяющую роль ДНК в передаче наследственных признаков. Огромное многообразие комбинаций четырех оснований молекулы ДНК и представляет собой тот запас информации, который передается от «родителей» к «потомкам».

Из кибернетики (и не только кибернетики) хорошо известно, что всякая передача информации происходит на фоне помех, частично ее искажающих. Не составляет исключения и передача наследственной информации. В этом случае искажения в передаче информации носят название «мутаций». Под влиянием таких «искажений при передаче» действие управляющей системы может измениться. Это повлечет за собой изменение сохраняющих реакций, что в свою очередь приведет к изменению характера взаимодействия организма с окружающей средой. Такие изменения могут радикально изменить как в ту, так и в другую сторону вероятность сохранения данного индивидуума в борьбе за существование. Последнее обстоятельство является движущей силой естественного отбора. Таким образом, с точки зрения кибернетики можно самым общим образом и с единой точки зрения понять основные биологические категории наследственности, наследственной изменчивости и естественного отбора. В перспективе вырисовываются контуры стройной математической теории дарвиновской эволюции. Идеи Ляпунова, по нашему мнению, следует рассматривать как первый, многообещающий набросок этой теории.

Имеются все основания полагать, что в будущем синтез развитых кибернетических и био-физико-химических представлений приведет к полному пониманию сущности жизни. Пока же мы от этого еще далеки, как это хорошо понимал и сам Ляпунов. Тем не менее для анализа проблемы происхождения жизни на Земле и вероятного многообразия проявлений жизни (в том числе и разумной) во Вселенной уже сейчас идеи Ляпунова, а также примыкающие к ним идеи Колмогорова (к обсуждению которых мы вернемся в конце этой книги) имеют большое значение.

13. Возникновении и развитии жизни на Земле

На основании того, что было сказано в предыдущей главе, мы можем с достаточной для наших целей строгостью и точностью определить «живое вещество» как такой сложный молекулярный агрегат, в котором имеется «управляющая система», включающая в себя механизм передачи наследственной информации, обеспечивающей сохраняющие реакции следующим поколениям. Тем самым благодаря неизбежным «помехам» при передаче такой информации наш молекулярный комплекс («организм») способен к мутациям, а следовательно, к эволюции.

Возникновению живого вещества на Земле (и, как можно судить по аналогии, на других планетах) предшествовала довольно длительная и сложная эволюция химического состава атмосферы, в конечном итоге приведшая к образованию органических молекул. Эти молекулы впоследствии послужили как бы «кирпичами» для образования живого вещества.

Коль скоро, согласно всем существующим космогоническим гипотезам, планеты образуются из первичной газопылевой субстанции, химический состав которой аналогичен химическому составу Солнца и звезд, первоначальная их атмосфера состояла в основном из простейших соединений водорода — наиболее обильного элемента в космосе. Больше всего было молекул H_2 , H_2O , CO_2 , NH_3 и CH_4 . Кроме того, первичная атмосфера должна была быть богата инертными газами, прежде всего гелием и неоном. Тот простой факт, что в настоящее время обилие благородных газов на Земле по сравнению с Солнцем ничтожно мало*), означает, что они в свое время диссипировали в межпланетное пространство.

Для понимания эволюции планетных атмосфер особенное значение имеет анализ содержания благородных газов и их изотопов в атмосферах планет земной группы. Это следует из химической инертности этих газов в сочетании с тем, что тяготение планеты должно их удерживать в атмосфере в течение всего времени эволюции атмосферы (за исключением легкого гелия). Выполненный советскими учеными во время полета «Венеры-11» и «Венеры-12» изотопный анализ атмосферы нашей космической соседки дает для этого богатый материал. В табл. 4 приведено относительное содержание разных изотопов благородных газов в атмосферах планет земной группы.

Т а б л и ц а 4

Планета	^{36}Ar (см ³ /г)	$\frac{^{40}Ar}{^{36}Ar}$	^{40}Ar (см ³ /г)	$\frac{^{36}Ar}{^{38}Ar}$	^{20}Ne (см ³ /г)	^{84}Kr (см ³ /г)	^{132}Xe (см ³ /г)	$\frac{^{36}Ar}{^{84}Kr}$
Венера	$2,2 \cdot 10^{-6}$	1,2	$2,6 \cdot 10^{-6}$	5,0	$5,3 \cdot 10^{-7}$	$2,6 \cdot 10^{-8}$		120
Земля	$2,1 \cdot 10^{-8}$	296	$6,2 \cdot 10^{-6}$	5,0	$1,1 \cdot 10^{-8}$	$4,3 \cdot 10^{-10}$	$1,6 \cdot 10^{-11}$	49
Марс	$1,0 \cdot 10^{-10}$	3000	$3,0 \cdot 10^{-7}$	—	$8,0 \cdot 10^{-11}$	$5,0 \cdot 10^{-12}$	$7,5 \cdot 10^{-13}$	32

Обращает на себя внимание, что абсолютное содержание изотопа аргона ^{40}Ar в атмосферах Земли и Венеры довольно близко. Так и должно быть, так как этот изотоп непрерывно образуется из изотопа калия, довольно обильного в коре обеих планет. Также понятно, почему в атмосфере Марса количество ^{40}Ar на порядок меньше, чем в атмосферах Земли и Венеры — ведь масса Марса меньше. Совершенно неожиданно, однако, что «нерадиогенный» изотоп ^{36}Ar в атмосфере Венеры так же обилён, как и радиогенный изотоп ^{40}Ar . Между тем в атмосферах Земли и Марса обилие изотопа ^{36}Ar в сотни раз меньше, чем ^{40}Ar . Столь разительное различие

*) В земной атмосфере имеется довольно значительное количество (около 1 %) аргона. Однако атмосферный аргон образовался позже в результате радиоактивного распада калия и никакого отношения к первоначальной атмосфере не имеет.

должно иметь глубокий космогонический смысл, г. е. оно должно отражать условия образования планет солнечной системы и их атмосфер. М. Н. Изаков из наблюдаемого изотопного состава атмосфер «внутренних» планет делает весьма радикальный вывод, что атмосфера Венеры была «захвачена» из протопланетного облака, между тем как на Земле и особенно на Марсе основная часть атмосферы имеет вторичное происхождение и обусловлена «дегазацией» пород, образующих кору этих планет. Этот важный вывод нуждается, однако, в подтверждении.

Необходимо сразу же подчеркнуть, что современная атмосфера нашей Земли совершенно уникальна. Сейчас уже благодаря выдающимся успехам космонавтики, мы надежно знаем состав атмосфер всех планет земной группы. Подробно об этом речь будет идти в гл. 16. Сейчас мы только подчеркнем, что основным газом в современных атмосферах Марса и Венеры является углекислота (свыше 95%). Между тем свободного кислорода в чрезвычайно разреженной атмосфере Марса всего лишь 0,2%, а на Венере и того меньше.

В земной атмосфере углекислота составляет совершенно ничтожную долю — 0,032 %*). В то же время вулканическая деятельность нашей планеты (так же как Венеры и Марса) щедро поставляет в атмосферу CO_2 . Куда же исчез углекислый газ? Почему в атмосферах наших «соседей» по Солнечной системе он постепенно накопился, а у нас «исчез»? Углекислый газ удаляется из атмосферы Земли двумя процессами. Первый (более мощный) — это химические реакции с горными породами, в которых участвует жидкая вода. Второй — жизнедеятельность покрывающих всю нашу планету растений, которые, используя солнечную энергию с помощью хлорофилла, из нескольких молекул CO_2 и H_2O синтезируют глюкозу. Освободившиеся молекулы кислорода при этом непрерывно поступают в атмосферу. Таким образом, в течение долгой истории Земли благодаря растениям земная атмосфера была практически «очищена» от CO_2 и насыщена молекулами O_2 .

Кислород в земной атмосфере находится в состоянии динамического равновесия. Если бы не жизнедеятельность растений (они поставляют в атмосферу ежегодно 10^6 тонн кислорода), исключительно активные молекулы этого элемента вступили бы в различные химические реакции и исчезли бы из нашей атмосферы за какие-нибудь 10000 лет!**) .

С точки зрения планетолога современная атмосфера Земли представляет собой «астрономический нонсенс» или, проще говоря, чудо. Это надо же — 21 % атмосферы состоит из немислимо химически активного газа. И все это — результат развития жизни на нашей планете! Этот пример со всей наглядностью показывает как развитие жизни на планете приводит к космическим последствиям. В дальнейшем, в частности, при анализе проблемы разумной жизни во Вселенной, мы будем возвращаться к этому вопросу неоднократно.

Сколько же времени на Земле существовала первичная атмосфера? Имеются довольно надежные геологические и геохимические данные, указывающие на то, что уже 3,5 млрд лет назад земная атмосфера была довольно богата кислородом. Жизнь должна была возникнуть на Земле задолго до того, как атмосфера стала богата кислородом, так как последний является продуктом жизнедеятельности растений.

Эта оценка следует из того, что самые древние из известных на Земле организмов — сине-зеленые водоросли имеют возраст вероятно 3,5 — 3,8 млрд лет. Так как эти

*) К сожалению, этот процент растет благодаря неконтролируемому промышленному развитию.

**) Человечество варварски относится к сохранению этого чуда — насыщенной кислородом земной атмосферы. Сплошная вырубка лесов (особенно в Бразильской сельве), а также хаотическое промышленное развитие уже сейчас нарушили кислородный баланс нашей планеты. Можно, конечно, утешаться, что на несколько тысяч лет кислорода еще хватит. Однако существ, исповедывающих такую «философию» («после нас — хоть потоп»), вряд ли следует причислять к виду «*Homo Sapiens*».

организмы довольно сложны, ясно, что от момента зарождения жизни на Земле до их возникновения прошло немало времени. Другими словами, уже на ранних фазах эволюции Земли на ней возникала жизнь.

Схематически путь эволюции органического вещества на Земле можно представить в виде следующей таблицы:

Таблица 5

I	II	III	IV	V
Образование Земли	Возникновение живых систем. Клетка	Эволюция одноклеточных. Возникновение клеточной дифференциации	Эволюция многоклеточных	Человек

О Развитие жизни на Земле можно приурочить к следующим эпохам:
 1) жизнь появилась на очень раннем этапе истории нашей планеты (первые сотни миллионов лет);

2) биологическая эволюция от примитивных бактерий до развитой цивилизации продолжалась беспрецедентно долго (более 4 млрд лет);

3) в процессе эволюции жизни атмосфера планеты из бескислородной стала кислородной.

По современным данным возраст Вселенной около 15 млрд лет, Земли — 4,5; фотосинтез и кислородная атмосфера возникли 3,5—3,8 млрд лет назад, тогда же появились эукариотные организмы (т. е. состоящие из клеток с ядром), первые многоклеточные (без скелета, желеподобные) - 1 млрд лет назад, первые организмы со скелетом — 600 млн лет назад, выход жизни из моря — 400, первые млекопитающие — 65, обезьяны — 35, австралопитек — 3,5 млн лет назад, кроманьонский человек - 40 тысяч лет назад. На рис. 53 показано, как шло усложнение организмов на Земле и некоторые предположения о будущем развитии земной цивилизации О-

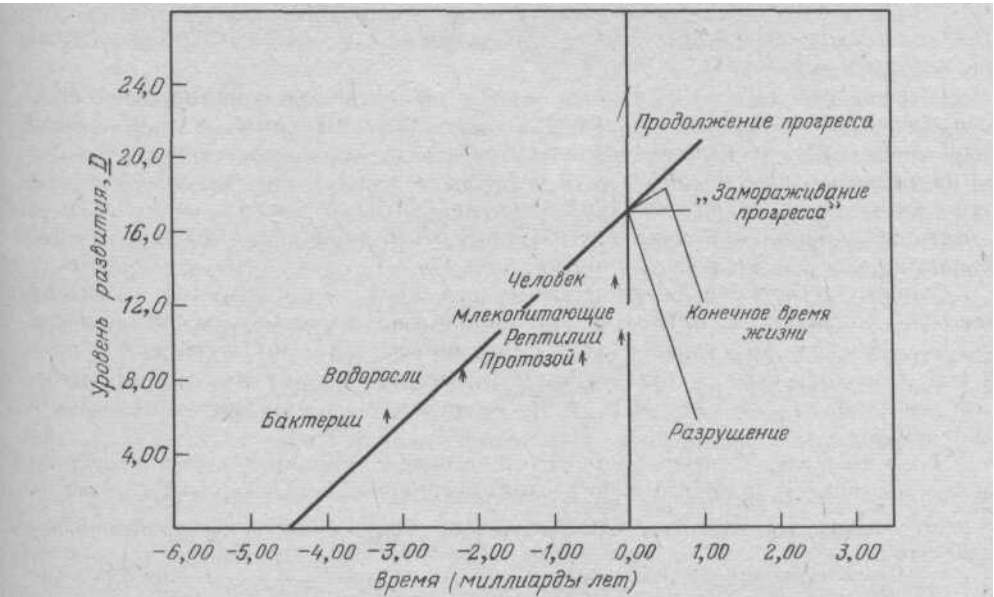


Рис. 53. Зависимость «уровня развития» D (приблизенно), представленного десятичным логарифмом общей биологической информации в битах (ось ординат), от геологического времени в миллиардах лет до настоящего времени (ось абсцисс). Крестиками отмечены некоторые значительные события в истории Земли. Будущее представлено четырьмя возможными сценариями

Рассмотрим теперь более подробно начальные этапы этой эволюции. По-видимому, наибольшие загадки ставит перед нами переход от первой фазы- эволюции ко второй.

В настоящее время накоплен значительный экспериментальный материал, иллюстрирующий, каким образом такие простые вещества, как вода, метан, аммиак, окись углерода, аммонийные и фосфатные соединения и др., превращаются в высокоорганизованные структуры, являющиеся основными строительными блоками клетки — единицы живого. Эти опыты, начатые впервые американскими учеными Кельвином, Миллером и Юри, положили начало новому научному направлению, получившему впоследствии название «пребиологической химии».

Так, например, опытами Миллера доказано, что при прохождении электрических разрядов через смесь метана (CH_4), молекулярного водорода (H_2), аммиака (NH_3) и паров воды (эта смесь довольно хорошо моделирует первичную атмосферу Земли) возникали глицин, аланин и другие аминокислоты, а также ряд органических соединений. Точно так же экспериментально доказано, что в такой смеси образование органических соединений (в частности, аминокислот) может происходить под воздействием ультрафиолетовой радиации. Можно полагать, что в условиях неокисленной земной атмосферы, когда ультрафиолетовое излучение Солнца беспрепятственно могло достигать земной поверхности *), важная роль в образовании первых органических соединений принадлежала этому источнику энергии. В то же время серьезное значение могли иметь и другие источники энергии. Следует подчеркнуть, что уже первые попытки экспериментального изучения проблемы возникновения жизни на молекулярном уровне продемонстрировали возможность многочисленных «вариантов», которые могли иметь место в течение первого миллиарда лет истории Земли.

Таким образом, можно считать доказанным, что под воздействием различных форм энергии на примитивной Земле возникали достаточно сложно организованные органические молекулы.

В синтезе органики наиболее существенную роль должны были играть электрические разряды, ударные волны, ультрафиолетовое излучение Солнца, вулканическое тепло, радиоактивный распад ^{40}K .

Из табл. 6 видно, что основной вклад в процессы абиогенного синтеза вносит ультрафиолетовое излучение Солнца. Однако вопрос об относительной эффективности различных видов энергии не так прост, как это кажется на первый взгляд. В экспериментах по абиогенному синтезу были использованы все источники энергии, перечисленные в табл. 6. При этом выяснилось, что определяющим моментом является не общее количество энергии, а «к. п. д.» той или иной модели образования органических веществ.

Т а б л и ц а 6

Источник	Средняя энергия на всю поверхность Земли (в единицах 10^{30} кал/год)
Распад ^{40}K (в настоящее время)	0,3
Распад ^{40}K (2,6-10» лет назад)	1,2
Ультрафиолетовое излучение Солнца ($\lambda < 1500 \text{ \AA}$)	0,08
» » » ($\lambda < 2000 \text{ \AA}$)	4,5
Вулканизм (лава 1000°C)	0,04
Удары метеоритов	0,05
Молнии	0,05

*) В настоящее время близкая ультрафиолетовая часть солнечного спектра поглощается озоном O_3 , а более далекая — молекулами кислорода O_2 и азота N_2 .

Полезно рассмотреть следующие этапы в эволюции органического вещества на примитивной Земле:

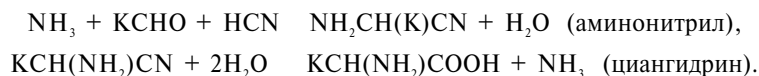
1. Эволюция малых молекул.
2. Образование полимеров.
3. Возникновение каталитических функций.
4. Самосборка молекул.
5. Возникновение мембран и доклеточная организация.
6. Возникновение механизма наследственности.
7. Возникновение клетки.

Необходимо отметить, что в настоящее время не представляется возможным искусственно воспроизвести в лабораторных условиях возникновение механизма матричного копирования, реализуемого в живой клетке нуклеиновыми кислотами. Между тем, по-видимому, в этом состоит суть проблемы возникновения жизни на Земле.

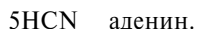
Наиболее изученным этапом в пребиологической химии является эволюция малых молекул. Было экспериментально изучено воздействие всех вышеперечисленных видов энергии на смеси различных газов: водород, метан, аммиак, окись углерода, двуокись углерода, азот, вода, кислород, сероводород. При этом было установлено, что если смесь не была окислительной, то всегда образовывались аминокислоты и другие биологически активные соединения.

Определяющими промежуточными продуктами в синтезе аминокислот, оснований нуклеиновых кислот, Сахаров и порфиринов являются формальдегид и цианистый водород. Образование этих простых продуктов происходит и в газовой, и в водной фазе. Образование же более сложных молекул (аминокислот) происходит главным образом в водной среде.

Среди возможных механизмов образования аминокислот можно указать на синтез Штрекера, как конечный этап превращения аминонитрилов и циангидринов



Что касается синтеза оснований нуклеиновых кислот, то здесь также, как выяснилось, центральную роль играет цианистый водород. Так, при синтезе аденина «суммарную» реакцию образования этого соединения можно записать следующим образом:



При образовании Сахаров в условиях, моделирующих примитивную Землю, происходит щелочная конденсация формальдегида. Протекание этой реакции катализируется гидроокисями щелочно-земельных металлов.

В экспериментах, проведенных Гейбелом и Поннамперумой, водные растворы формальдегида в различных концентрациях нагревались в присутствии каолинита, который используется в качестве природного катализатора. В числе продуктов реакции были отождествлены триозы, тетрозы, пентозы, гексозы. Была отождествлена также рибоза.

Чрезвычайно важной группой соединений, присутствующих в большинстве живых организмов, являются порфирины. Порфириновая структура лежит в основе хлорофилла. Целый ряд важнейших ферментов, таких как каталаза, пероксидаза и др., также имеют порфириновую структуру. В экспериментах по абиогенному синтезу порфирин был идентифицирован как один из продуктов реакции в смеси метан — аммиак — вода — водород под действием электрического разряда.

Наиболее существенным достижением в области пребиологической химии можно считать абиогенный синтез нуклеотидов и полинуклеотидов, осуществ-

вленный впервые Шраммом из углеводов и гетероциклических оснований с помощью метафосфорных эфиров (МФЭ). В процессе синтеза образовывались продукты различной молекулярной массы и структуры, причем нуклеотиды в полинуклеотидной цепи располагались случайно, не образуя какой-либо определенной последовательности.

Значительный интерес представляют также эксперименты Фокса по термической полимеризации аминокислот.

Таким образом, многочисленные эксперименты по абиогенному синтезу продемонстрировали возможность образования основных классов биологических активных соединений небиологическим путем в условиях, моделирующих природные условия, существовавшие на примитивной Земле.

Однако образование самых сложных молекул не решает вопроса об отборе и сохранении определенных типов молекулярных соединений. На определенной стадии усложнения структуры молекул возникает такое принципиально новое свойство их, как возвратный катализ. Образовавшиеся довольно сложные молекулы должны разрушаться (диссоциировать) при поглощении более длинноволнового излучения, чем то, которое стимулировало их образование. Так как поток солнечного излучения в области более длинных волн значительно превосходит поток ультрафиолетового излучения, стимулирующего синтез первичных органических соединений, последние будут разрушаться, и какого-либо накопления их происходить не должно. Заметим, что эта трудность является общей для всех механизмов образования первичных органических соединений, так как неокисленная атмосфера планеты должна быть прозрачной для ультрафиолетовых лучей Солнца. Сейчас намечается несколько путей преодоления этой трудности. Например, можно предположить, что после формирования гидросферы образовавшиеся в ее поверхностных слоях органические соединения путем конвекции переносились на достаточную глубину, куда уже «разрушительное» излучение не доходило.

Зная поток ультрафиолетового излучения Солнца, стимулирующего образование органических веществ, и считая, что вновь образовавшиеся вещества не разрушаются, а постепенно накапливаются, можно оценить количество образующегося таким способом органического вещества на Земле. Такие вычисления произвел Саган, который в предположении, что этот процесс длился 1 млрд лет, нашел, что над каждым квадратным сантиметром земной поверхности могло образоваться несколько килограммов органических соединений. Эта величина представляется достаточно большой. Например, если бы все эти образовавшиеся в раннюю эпоху развития нашей планеты органические вещества растворить в мировом океане, концентрация такого раствора была бы приблизительно 1 %.

Так как есть основания полагать, что объем мирового океана за геологическую историю Земли почти не менялся, можно сделать вывод, что первобытный океан представлял собой 1 %-ный раствор различных органических соединений. Довольно крепкий питательный бульон! Эта среда была весьма благоприятна для образования новых, более сложных органических соединений. В частности, из аминокислот могли синтезироваться различные белковые соединения.

До сих пор предполагалось, что жизнь как-то возникла на всей «осредненной» поверхности первобытной Земли, для чего потребовались сотни миллионов лет. Но, конечно, это могло быть и наверняка было не так. В отдельных местах земной поверхности условия для эволюции сложных молекул в первые примитивные формы жизни могли быть особенно благоприятны. Идеи «локального» возникновения жизни на Земле и притом в сравнительно короткие сроки высказывались неоднократно. Л. М. Мухин предложил интересную гипотезу, что жизнь могла возникнуть в области подводных вулканов.

По всей видимости, именно подводный вулканизм мог играть известную роль в образовании предшественников сложных органических молекул. Действующий

вулкан можно рассматривать не только как источник тепла, но и как источник простых соединений, таких как CO , CH_4 , NH_3 , CO_2 , H_2O , H_2 , H_2S и пр., необходимых для синтеза органического вещества. Реакции, происходящие между этими газами в условиях повышенных температур и давлений, должны приводить к образованию предшественников сложных органических соединений, цианистого водорода и формальдегида. Гидросфера (океан) используется в данной модели как фактор, обеспечивающий стабильность образовавшихся продуктов вследствие больших перепадов температуры в зоне действия подводного вулкана. Кроме того, в области подводного вулкана имеется широкий диапазон давлений, что весьма существенно, так как высокие давления необходимы для повышения выхода продукта в ряде реакций. Наконец, наличие в области подводного извержения зон с температурой 50-100 С обеспечивает прохождение ряда реакций, приводящих к синтезу более сложных органических соединений. Механизмы этих реакций освещены в работах Оро и Поннамперумы.

Образование в процессе извержения твердых частиц обуславливает наличие катализаторов и может способствовать в дальнейшем процессам концентрирования и полимеризации органики.

Л. М. Мухин указывает на некоторые реакции, которые могут иметь место в зоне подводных извержений:

- 1)
$$\text{CH}_4 + \text{NH}_3 \xrightarrow[\text{катализаторы}]{\text{катализаторы}} \text{HCN} + 3\text{H}_2,$$
- 2)
$$2\text{CO} + \text{NH}_3 \xrightarrow{\text{катализаторы}} \text{HCN} + \text{CO}_2 + \text{H}_2,$$
- 3) $\text{CO} + \text{H}_2 \rightarrow$ альдегиды и другие кислородосодержащие соединения, углеводороды.

Таким образом, вследствие возможного образования в зоне действия подводного вулкана HCN и CH_2O , подводные вулканические процессы можно рассматривать как источник небиологического синтеза сложных органических соединений.

Рассмотрим теперь некоторые численные значения, которые носят характер ориентировочных оценок. Масса газа, выброшенного при сильном извержении, имеет порядок величины 10^{12} г. Если принять, что в течение истории развития Земли такие извержения были ежегодно, то при благоприятных условиях могло образоваться до 10^{17} г органических соединений.

«Вулканический» механизм образования сложных молекул может иметь принципиальное значение в условиях, где по ряду причин воздействием ультрафиолетового излучения на исходные материалы можно пренебречь.

Предложенный Мухиным механизм образования сложных молекул не требует наличия метано-аммиачной атмосферы. Было бы интересно проверить этот механизм экспериментально в зоне действия какого-либо подводного вулкана.

Много лет тому назад Бернал высказывался в том смысле, что жизнь могла зародиться в иле небольших лагун. В таких условиях полимеризация молекул может протекать гораздо быстрее, так как микроскопические частицы ила могут выступать в роли своеобразных катализаторов. Это предположение Бернала было подтверждено экспериментально. Любопытно отметить, что некоторые сложные органические молекулы лучше «сопротивляются» разрушительному воздействию ультрафиолетовых лучей, а также нагреву, чем простые. Поэтому следует ожидать, что с течением времени должны «выживать» более сложные молекулы, в то время как простые должны разрушаться. Довольно любопытный пример «естественного отбора» у неживой материи!..

Наряду с описанным «естественным отбором», приводящим к преимущественному образованию сложных органических соединений, будут происходить, и при этом довольно эффективно, «сливания» таких молекул в целые молекулярные

агрегаты, насчитывающие сотни тысяч и миллионы молекул. Такие образования называются «коацерватными каплями». Они неоднократно исследовались экспериментально. На рис. 54 приведена фотография таких капель, сделанная через микроскоп при увеличении в 320 раз. В итоге образования коацерватных капель в них могут быть сконцентрированы все белковые молекулы, присутствующие в мировом океане - растворе. В окружающей воде будут растворены только сравнительно простые, низкомолекулярные соединения.

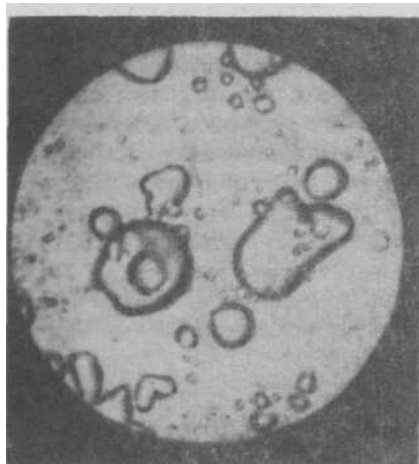


Рис. 54. Коацерватные капли (увеличено в 320 раз)

Академик А. И. Опарин считает, что именно эти коацерватные капли при определенных условиях могли дать начало образованию первичных живых систем. Об этом свидетельствует ряд интересных свойств коацерватных капель, ставших известными в результате лабораторных исследований. В частности, эти капли обладают свойством улавливать и впитывать в свою структуру некоторые вещества из окружающего их низкомолекулярного раствора. В этом А. И. Опарин усматривает зачаточные формы процесса обмена веществ - важнейшего, по его мнению, атрибута жизни. Он подчеркивает, что в мире коацерватов имеют место полные аналоги процесса естественного отбора. По этому поводу он пишет: «Образовавшиеся в земной гидросфере коацерватные капли находились погруженными не просто в воде, а в растворе разнообразных органических веществ и неорганических солей. Эти вещества и соли адсорбировались коацерватными каплями и затем вступали в химическое взаимодействие с веществом самого коацервата. Происходили процессы синтеза. Но параллельно с ними шли и процессы распада. Скорость как тех, так и других процессов зависела от внутренней организации каждой данной капли. Более или менее длительно существовать могли только капли, обладавшие известной динамической устойчивостью, в которых при данных условиях внешней среды скорости синтетических процессов преобладали над скоростями разложения. В обратном случае капли были обречены на исчезновение. Индивидуальная история таких капель быстро обрывалась, и поэтому такие «плохо организованные капли» уже не играли никакой роли в ходе дальнейшей эволюции органической материи» *).

С гипотезой А. И. Опарина в настоящее время трудно согласиться. Наличие аналогов обмена веществ и «естественного отбора» у коацерватов еще не есть доказательство того, что они могли привести к образованию первых примитивных живых организмов. Основными свойствами всякого живого организма, помимо обмена веществ, являются наличие «копирующей системы», «кода», передающего по наследству все характерные признаки данной особи. Между тем у коацерватов ничего подобного нет. Изобилие на первобытной земле всевозможных, в том числе и достаточно сложных, «строительных блоков», из которых построено все живое, еще не объясняет, как возникла и стала функционировать живая субстанция, представляющая собой даже в самых простых формах весьма сложную машину, а если говорить точнее, великолепно работающую современнейшую фабрику - автомат.

С гипотезой А. И. Опарина в настоящее время трудно согласиться. Наличие аналогов обмена веществ и «естественного отбора» у коацерватов еще не есть доказательство того, что они могли привести к образованию первых примитивных живых организмов. Основными свойствами всякого живого организма, помимо обмена веществ, являются наличие «копирующей системы», «кода», передающего по наследству все характерные признаки данной особи. Между тем у коацерватов ничего подобного нет. Изобилие на первобытной земле всевозможных, в том числе и достаточно сложных, «строительных блоков», из которых построено все живое, еще не объясняет, как возникла и стала функционировать живая субстанция, представляющая собой даже в самых простых формах весьма сложную машину, а если говорить точнее, великолепно работающую современнейшую фабрику - автомат.

*) Опарин А. И., Фесенков В. Г. Жизнь во Вселенной.—М.: Изд-во АН СССР 1956.

«Управляющая система» этой фабрики сосредоточена в одномерной структуре ДНК, хранящей информацию, записанную на языке, состоящем из четырех букв (оснований). Система осуществляет перевод этого языка на язык строящихся по ее командам белков, состоящий из 20 букв (аминокислот).

Как произошел качественный скачок от неживого к живому, гипотеза А. И. Опарина совершенно не объясняет. Только привлечение основных представлений современной молекулярной биологии, а также кибернетики, может помочь решению этой важнейшей, основной проблемы. Впрочем, пока не ясно, есть ли такое решение вообще.

Итак, центральной проблемой происхождения жизни на Земле является реконструкция эволюции механизма наследственности. Жизнь возникла только тогда, когда начал действовать механизм репликации. Ведь любая сколь угодно сложная комбинация аминокислот и других сложных органических соединений — это еще не живой организм. Можно, конечно, предположить, что при каких-то исключительно благоприятных обстоятельствах где-то на Земле возникла некая «праДНК», которая и послужила началом всему живому на Земле. Вряд ли, однако, это так, если гипотетическая «праДНК» была вполне подобна современной. Дело в том, что современная ДНК сама по себе совершенно беспомощна. Она может функционировать только при наличии белков-ферментов. Думать, что чисто случайно, путем «перетряхивания» отдельных блоков — многоатомных молекул, могла возникнуть такая сложнейшая машина, как «праДНК» и нужный для ее функционирования комплекс белков-ферментов,—это значит верить в чудеса. Куда, например, более вероятно предположить, что какая-нибудь мартышка, беспорядочно барабанив по клавиатуре пишущей машинки, случайно напечатает 66-й сонет Шекспира... Выход из этого затруднительного положения может состоять в том, что сам репликационный механизм за первые сотни миллионов лет развития «пражизни» претерпел огромную эволюцию от простого к сложному. К сожалению, успехи в этой важнейшей области пока незначительны.

Рич, однако, указал на значительное сходство строения молекул ДНК и РНК, которые тем не менее выполняют в клетке совершенно различные функции. ДНК является носителем генетической информации, РНК служит для превращения этой информации в реальные молекулы белка, т. е. для непосредственного синтеза видо-восpecificического белка.

Особого внимания заслуживает открытие у вируса табачной мозаики и у некоторых других вирусов не двух, а только одной нуклеиновой кислоты, более простой.— РНК. Эта РНК оказалась способной осуществлять функции обеих нуклеиновых кислот — передачи наследственной информации и синтеза белка.

Можно допустить, что обе нуклеиновые кислоты произошли от одной общей более примитивной молекулы. Усложняясь и специализируясь в процессе эволюции, эта «прануклеиновая» кислота превратилась в функционально различные типы молекул ДНК и РНК. Возможно, что этой первичной нуклеиновой кислотой могла быть молекула, близкая к более простой РНК. Подобно РНК вируса табачной мозаики она обладала способностью к передаче наследственной информации и к синтезу белка. Возможно также, что вирусы, содержащие только одну РНК (филогенетически более раннее образование), следует рассматривать как современные модификации древней, примитивной формы жизни.

Все это может пролить некоторый свет на пути возникновения и развития живых существ от более простых форм управления и примитивной жизни к более сложным формам. Если небелковая («неживая») молекула РНК в подходящей среде образует живые системы, то не на этом ли пути можно обнаружить «мостик» между неживой и живой природой? Решающее слово в этом важнейшем вопросе принадлежит различным будущим биохимическим и генетическим исследованиям.

Для образовавшихся на планете первых примитивных организмов высокие дозы жесткой радиации могут представлять смертельную опасность, так как мутации будут происходить так быстро, что естественный отбор не поспевает за ними.

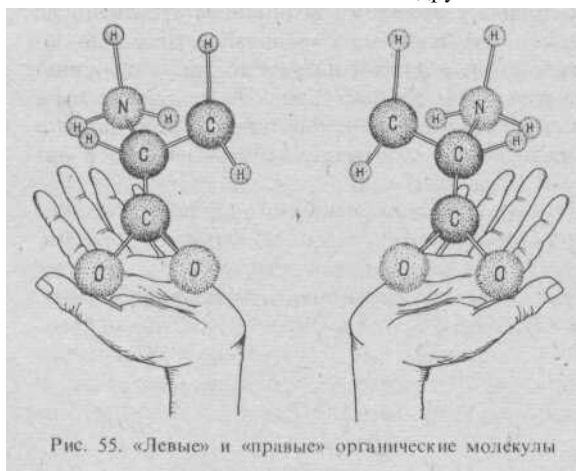
Мы уже упоминали в гл. 5, что примерно один раз в сотни миллионов лет около Солнца вспыхивает сверхновая звезда, и в нашей планетной системе уровень космических лучей увеличивается в десятки и сотни раз. Однако для сравнительно короткоживущих примитивных жизненных форм такое увеличение уровня жесткой радиации не представляет серьезной опасности. Кроме того, длительность периодов повышенной интенсивности космических лучей сравнительно невелика (десяtkи тысяч лет). Другим возможным источником губительной жесткой радиации мог быть повышенный уровень радиоактивности на первобытной Земле. Однако расчеты показывают, что этот уровень вряд ли превышал современный более чем в 10 раз. Солнечное рентгеновское излучение в те времена, так же как и сейчас, не проникало через толщу атмосферы. И только один вид жесткой радиации имел высокую интенсивность — ультрафиолетовое излучение Солнца в области длин волн 0,29 — 0,24 мкм, для которого первобытная атмосфера Земли, в отличие от современной, была прозрачной.

Так как Солнце в те времена излучало примерно так же, как и сейчас, мы можем оценить поток его излучения на Земле в указанной спектральной области. Этот поток оказывается равным $5 \cdot 10^3$ эрг/(см²·с), т. е. примерно в 300 раз меньше полного потока солнечного излучения. Смертельная доза такой радиации для большинства современных микроорганизмов составляет 10^5 — 10^6 эрг/см². Радиационная опасность отсутствует в том случае, когда за время жизни одного поколения живых организмов доза радиации меньше приведенной величины. Имеются некоторые основания полагать, что время жизни первобытных примитивных организмов было достаточно велико, например, несколько недель. Если считать, что для них доза в 10^3 эрг/см² была опасной, то поток ультрафиолетовой радиации должен быть не больше 10^{-3} эрг/(см²·с), т. е. в 5 млн раз меньше реального потока солнечного излучения. Отсюда следует важный вывод, что первичные живые организмы могли образоваться и развиваться только на достаточно большой глубине под водой. Слой воды в несколько десятков метров уменьшает поток ультрафиолетового излучения в десятки миллионов раз и тем самым обеспечивает необходимую для развития живых организмов «броню». Это является еще одним важным аргументом в пользу утверждения, что жизнь на нашей планете возникла и развивалась первоначально в воде, причем на достаточно большой глубине.

Мы остановились только на некоторых основных вопросах возникновения жизни на Земле и по аналогии — на других планетах. В этой проблеме еще очень много

неясного. Например, все белковые соединения, входящие в состав живого вещества, имеют «левую асимметрию». Что это означает? Дело в том, что большое количество органических соединений может существовать в двух формах. Эти формы отличаются одна от другой противоположной ориентацией отдельных группировок атомов — некоторая группировка атомов в одной форме является зеркальным изображением соответствующей группировки в другой.

Когда происходит лабораторный синтез такого соединения,



всегда «правые» и «левые» формы присутствуют в одинаковом количестве, так как «наращивание» молекул путем присоединения атомов и атомных группировок происходит случайным образом. Почему же в «живых» органических соединениях всегда присутствуют только «левые» формы?

Еще Пастер указал, что «асимметричный синтез» может происходить при наличии какого-нибудь природного асимметричного фактора. И действительно, если в лабораторных условиях синтезировать некоторые органические соединения под воздействием поляризованного по кругу света, то в зависимости от направления вращения светового вектора получают преимущественно «правые» или «левые» формы синтезируемых веществ. К сожалению, таким способом трудно объяснить асимметрию «живых» молекул, так как в солнечном излучении отсутствует сколько-нибудь значительная составляющая, поляризованная по кругу. Впрочем, нельзя исключать того, что после прохождения значительной толщи первобытного океана, вода которого, быть может, обладала соответствующими оптическими свойствами, такая составляющая и возникала. Этот вопрос требует специального исследования.

Другой возможный путь асимметричного синтеза был указан Берналом. При синтезе некоторых органических веществ на поверхности оптически активных кристаллов (например, кварца) могут возникать формы определенной симметрии. Следует, однако, отметить, что в природе распространены как «правые», так и «левые» кристаллы. Поэтому не совсем ясно, каким образом в живом веществе молекулы имеют асимметрию только одного знака и вряд ли асимметричный синтез в естественных условиях первобытной Земли мог происходить таким способом. Так или иначе, вопрос о причине асимметрии живой субстанции пока остается открытым.

Заслуживает внимания еще такой вопрос: почему жизнь на Земле не возникает из неживого вещества в настоящее время? И вообще — жизнь на Земле возникла однократно или многократно? Против возможности повторного зарождения жизни на нашей планете из неживой субстанции можно выдвинуть такой серьезный аргумент: ранее возникшая жизнь не даст возможность новому зарождению жизни. Микроорганизмы и вирусы буквально съедают уже первые ростки новой жизни. Другим аргументом против «повторного» зарождения жизни является ничтожно малая вероятность этого процесса. Ведь нельзя исключить возможность того, что жизнь на Земле возникла случайно (см. ниже).

Существует еще одно обстоятельство, на которое, может быть, стоит обратить внимание. Хорошо известно, что все «живые» белки состоят из 20 аминокислот, между тем как всего аминокислот известно свыше 100. Не совсем понятно, чем отличаются эти 20 аминокислот от остальных своих «собратьев»^{*)}. Нет ли какой-то глубокой связи между происхождением жизни и этим удивительным явлением? Мы еще раз должны подчеркнуть, что центральная проблема возникновения жизни на Земле — объяснение качественного скачка от «неживого» к «живому» — все еще далека от ясности. Недаром один из основоположников современной молекулярной биологии проф. Крик на Бюраканском симпозиуме в сентябре 1971 г. сказал: «Мы не видим пути от первичного бульона до естественного отбора. Можно прийти к выводу, что происхождение жизни — чудо, но это свидетельствует только о нашем незнании».

Все же не будем отчаиваться — и эта твердыня непознанного будет взята; помощью этому является гигантский прогресс современной молекулярной биологии.

^{*)} Впрочем, некоторые количества других аминокислот имеются у низших организмов. Следует, однако, заметить, что у этих организмов ДНК отличаются от обычных.

14. От сине-зеленых водорослей до человека

Выше мы уже говорили, что жизнь на Земле возникла еще тогда, когда ее возраст исчислялся всего лишь сотнями миллионов лет. Носителями жизни в ту отдаленную эпоху были одноклеточные, лишенные клеточных ядер организмы — бактерии и сине-зеленые водоросли. Первые клетки с ядрами появились около 3,5 миллиардов лет тому назад (ср. «Космический календарь» — см. с. 278). Потребовалась половина времени эволюции Земли, чтобы это произошло — хорошая иллюстрация медленности процесса эволюции жизни на Земле. Примерно к этому же времени относится и появление многоклеточных организмов, по-видимому, возникших из колоний одноклеточных с прогрессивно дифференцирующимися функциями клеток. С этого времени дальнейшая эволюция характеризовалась огромным многообразием форм.

Существующая периодизация развития жизни на Земле дана в табл. 7, где указаны также эпохи начала соответствующих периодов.

Т а б л и ц а 7

Эра	Период	Возраст (начало периода) 10^8 лет
Кайнозойская	Четвертичный	1
	Третичный	65
Мезозойская	Меловой	140
	Юрский	190
	Триасовый	225
Палеозойская	Пермский	250
	Каменноугольный	280
	Девонский	350
	Силурийский	400
Протерозойская	Кембрийский	550
	Верхний протерозой	1600
	Нижний протерозой	2600
Архейская		4000

В протерозойскую эпоху жизнь на Земле начала становиться космическим фактором. К этому времени относится начало формирования биосферы Земли, полностью преобразившей наружные слои поверхности нашей планеты и ее атмосферу. Жизнедеятельность организмов привела к накоплению в атмосфере Земли свободного кислорода (фотосинтез!) и извлечению из нее углекислоты. До этого организмы развивались в лишенной кислорода среде. Фотосинтез начался около 3,5 миллиарда лет назад.

Первоначально жизнь на Земле развивалась только в ее гидросфере. Выход жизни на сушу — важнейший этап в ее развитии. Это произошло в кембрийском периоде около 500 миллионов лет назад, когда возраст Земли был только на 10% меньше нынешнего! До чего же медленно шла эволюция жизни на Земле! Могучей движущей силой этой эволюции был дарвиновский естественный отбор, сочетающийся со способностью организмов к мутациям. В свою очередь отбор определялся ограниченностью ресурсов сформировавшейся и развивавшейся биосферы, противодействующей чудовишной потенциальной способности жизни к неограниченной экспансии. Жесткий естественный отбор невероятно развивал способность видов к адаптации в условиях изменяющейся окружающей среды. Например, обусловленное жизнедеятельностью организмов изменение состава атмосферы в сторону насыщения ее кислородом оказалось губительным для большинства анаэробных форм. Ведь свободный кислород с его огромной химической активностью — смер-

тельный яд для таких организмов. И только немногие формы смогли не только приспособиться к изменившимся атмосферным условиям, но и использовать их для своего дальнейшего развития. Так жизнь стала «аэробной».

Бурное развитие жизни началось в палеозойскую эру. Мы уже упоминали, что в Кембрийский период началась колонизация суши. По-видимому, это происходило в мелководных лагунах, где на окаймляющей их прибрежной кромке появились пленки водорослей. В этот период море кишело уже довольно высокоорганизованными животными — трилобитами, которых насчитывалось свыше тысячи видов. Это были предки нынешних членистоногих. У трилобитов уже развился орган зрения. Отдельные особи достигали размеров порядка метра. Наряду с трилобитами (ныне полностью вымершими) кембрийские моря кишели иглокожими, моллюсками и плеченогими. Появились первые раковины.

В силурийском периоде растения покоряют сушу. Этот процесс получил особенное развитие в Девоне. Растительный мир обогатился папоротниками, хвощами. В морях появились первые рыбы. Первые животные вышли на сушу. В следующем каменноугольном периоде произошел небывалый расцвет растительного Царства, чему, возможно, способствовала увеличившаяся вулканическая активность Земли, сопровождающаяся значительным выделением углекислоты. Это было царство амфибий, уже освоивших размножение на суше. В это же время появились первые пресмыкающиеся. Воздух, наполнился летающими насекомыми. После пермского периода, сопровождавшегося значительными климатическими изменениями и обусловленными ими значительными изменениями растительного и животного мира, наступила мезозойская эра. Это было царство рептилий, достигших небывалого разнообразия форм. Но уже в начале мезозоя появились первые млекопитающие. Катастрофически быстрое повсеместное вымирание динозавров уже давно привлекает к себе всеобщее внимание. Было выдвинуто много гипотез, объясняющих причину этой настоящей катастрофы, постигшей жизнь на Земле (см. с. 75 и конец этой главы).

Наступившая новая кайнозойская эра ознаменовалась очередной перестройкой биосферы. Строение земной поверхности приблизилось к современному. Наступило царство млекопитающих. И вот пришла эра человека. Это случилось, по-видимому, около 15 миллионов лет назад, когда появился наш самый отдаленный предок — полуобезьяна — получеловек рамапитек, ископаемые остатки которого обнаружены в Индии. Время появления человека 2,7 млн лет назад получается на основании расчетов скорости изменений в генной структуре человека.

Поражает чудовищное богатство процесса видообразования в течение эволюции жизни на Земле. Создается впечатление о какой-то фантастической расточительности и даже «избыточности» формообразования в живой природе. В самом деле, оценки палеонтологов приводят к значению ~500 миллионов видов, существовавших за все время эволюции жизни на Земле! Заметим, что в настоящее время насчитывается около 2 миллионов видов (из которых ~75% — насекомые). Любопытно, что число видов современных млекопитающих достигает 3500, из которых 2500 видов грызунов.

Как уже неоднократно подчеркивалось, развитие жизни на Земле привело к коренной перестройке поверхностных слоев земли и ее атмосферы. В этой связи любопытно привести данные о суммарной массе живого вещества на Земле. Соответствующие данные, полученные по оценке советских авторов, приведены в табл. 8 (с. 156).

Из этой таблицы видно, что основная масса живого вещества сосредоточена в зеленых растениях. Обращает на себя внимание относительная бедность мирового океана живым веществом. Любопытно еще отметить, что суммарная масса всего живущего человечества около 100 миллионов тонн — величина не «такая уже малая»!

Таблица 8

	Континенты			Океан		
	растения	животные + микроорганизмы	итого	растения	животные + микроорганизмы	итого
Миллиарды тонн	2400	20	2420	0,2	3	3,2
Проценты	99,2	0,8	100	6,3	93,7	100

В нашу задачу, конечно, не может входить сколько-нибудь подробное описание эволюции жизни на Земле и связанная с этим эволюция биосферы. Это отдельная и большая тема *). Но мы должны обратить внимание на то, что эта эволюция представляет собой неразрывную последовательность процессов, причем каждый элемент этой последовательности реализовывался путем огромного количества случайных событий. В процессе этой эволюции природа как бы «пробовала» очень много вариантов, из которых большинство приводило к тупикам. Но подобно тому, как ручеек воды причудливо прокладывает свое русло через пересеченную местность, общее направление эволюции от примитивных сине-зеленых водорослей к человеку прослеживается вполне уверенно. В этом общем направлении ни одно из звеньев эволюционного процесса не может быть выброшено.

Рассмотрим в виде примера пресмыкающихся, которые стали бурно размножаться на суше в середине каменноугольного периода. Это им принадлежит великое «изобретение» — откладывание заключенных в плотную скорлупу яиц, из которых вылуплялось потомство. Один знаток рептилий в этой связи очень точно заметил: «... уже в первом яйце, отложенном первой рептилией на суше, заключалось и пение птиц, и человеческая мысль**»). И мы имеем все основания сказать, что отдаленными предками человека являются рептилии. Ну, а что было бы, если бы не случилось великое вымирание динозавров в конце мелового периода, вымирание, обусловленное какой-то случайной, скорее всего, — космической причиной? Совершенно очевидно, что эволюция жизни на Земле пошла бы как-то иначе. Во всяком случае млекопитающие бы получили бы такого фантастического развития, так это случилось после освобождения ниш биосферы, до этого занятых рептилиями. И очень могло быть, что их эволюция зашла бы в тупик.

Мы неоднократно подчеркивали, что движущей силой эволюции жизни на Земле является дарвиновский естественный отбор в комбинации с непрерывно происходящими мутациями. Но является ли это единственным фактором эволюции? До сих пор этот вопрос служит предметом оживленных и даже ожесточенных дискуссий в эволюционной биологии. Среди накопившегося огромного количества фактов о развитии жизни на Земле есть и такие, которые явно противоречат концепции естественного отбора, во всяком случае, в его упрощенной форме, к сожалению, весьма распространенной у биологов. Известны, например, опыты, когда группе крыс предоставляли неограниченные возможности питания. Сперва они быстро размножались, но потом без всякой видимой причины размножение прекратилось и крысы стали вырождаться. Похоже на то, что им как-то вдруг стало «скучно жить». А всем известные эпидемии массовых самоубийств мелких грызунов леммингов — как их уложить в простую схему естественного отбора?

Не все благополучно и во взаимоотношениях эмбриологии с эволюционной теорией. Почему, например, у некоторых зародышей на какой-то стадии их развития появляются признаки, соответствующие эволюционно более поздним ста-

*) См., например, очень содержательную и интересную книгу Камшилов М. М. Эволюция биосферы. — М.: Наука, 1979.

**) См. Карп А. Рептилии. — М.: Мир, 1975.

дням развития? Этот список недоразумений можно было бы приумножить. Создается впечатление, что наряду с естественным отбором в эволюции жизни на Земле действуют еще какие-то факторы, роль которых пока еще окончательно не выяснена. Или, во всяком случае, естественный отбор есть процесс неизмеримо более сложный, чем это обычно полагают.

Все это еще более усложняет и без того невероятно сложный процесс эволюции жизни и делает его еще более неповторимым, и, если можно так выразиться, «капризным». Если даже где-то на какой-нибудь подходящей планете и возникла когда-то жизнь, ее развитие, обусловленное чудовищно длинной цепью других случайных обстоятельств, практически никогда не повторит развитие жизни на Земле. Не может быть и речи о «тиражировании» эволюции жизни во Вселенной*). Вероятность такого «тиражирования» неизмеримо меньше, чем выигрыш автомобиля в спортлото. Ситуацию совершенно не меняет то обстоятельство, что очагов жизни во Вселенной может быть очень много. Например, в Галактике число таких очагов может быть $\sim 10^8$, если сделать «сверх-оптимистическое» предположение, что почти на каждой планете обязательно возникает жизнь. Дело в том, что вероятность реализации той же самой последовательности случайных событий, которая на Земле привела к появлению человека, невообразимо меньше, чем 10^{+8} .

Едиственное, что мы можем сказать,— это то, что однажды возникшая жизнь будет эволюционировать в сторону усложнения и повышения ее адаптации к меняющимся условиям внешней среды. Однако никаких более конкретных соображений о характере, этапах и конечных результатах такой эволюции сказать нельзя.

Остановимся, наконец, на некоторых моментах, связанных с заключительным этапом эволюции жизни на Земле, который привел к появлению человека — носителя разумной жизни. Несомненно, что возникновение разумной жизни ознаменовало собой новый важный этап в развитии материи во Вселенной (неживая материя — жизнь — разумная жизнь). Современная палеонтология прослеживает отдаленных предков человека до полуобезьян рамапитека и кениятека (15 миллионов лет). Заметим, что по мере развития палеонтологии эпоха существования предков человека все более отодвигается назад. Давно ли было время, когда древнейшим предком человека считали питекантропа, возраст которого всего лишь порядка сотни тысяч лет? Как же произошло выделение человека как ветви от ствола приматов? Когда и при каких обстоятельствах?

Конечно, огромную и даже решающую роль в этом процессе сыграл труд. Но все же — почему был выделен один (а может быть, и не один) вид приматов? По какому признаку и по каким причинам? На этой самой ранней заре развития труд, рассматриваемый как сознательная коллективная деятельность, еще не мог играть своей решающей роли. Имеется множество гипотез, пытающихся объяснить, чем же отличались эти первые обезьяны, через миллионы лет превратившиеся в людей, от своих четвероруких сородичей. Автор этой книги, например, несколько лет назад с удивлением узнал, что причиной могли быть... паразиты, одолевавшие некий вид обезьян. Последние вынуждены были много чесаться, что сперва освободило, а потом и развило их передние конечности. И пусть читатель не подумает, что это какая-то шутка или мистификация — речь идет об оригинальной гипотезе, во всяком случае не худшей, чем другие. Очень может быть, что в становлении человека не малую, а может быть, и решающую роль сыграл его величество случай.

Думать, что возникновение мыслящих существ есть фатально неизбежный заключительный этап эволюции жизни на Земле — значит, стоять на чисто идеалистических позициях. Ибо это означало бы веру, что вся Вселенная имела конечной целью своего развития появление мыслящих существ. Но Вселенная существует объективно, вне сознания и воли человека. Вспомним пушкинское: «... и рав-

*) Очень удачный термин «тиражирование» предложен Я. И. Фурманом.

нодушная природа...». Александр Сергеевич хорошо понимал то, что не могут или не желают понять некоторые не в меру оптимистически настроенные адепты повсеместной распространенности разумной жизни во Вселенной. Вывод из приведенных выше рассуждений прост, хотя, может быть, и печален: совершенно необязательно, чтобы однажды возникшая на какой-нибудь планете жизнь на некотором этапе своей эволюции стала разумной. На Земле это случилось по каким-то пока неясным, скорее всего, случайным (как и все в конкретном процессе эволюции жизни) причинам после четырех миллиардов лет развития. И мы не можем сделать оценку вероятности того, что однажды возникшая на какой-то планете жизнь когда-нибудь станет разумной. Очень может быть, что эта вероятность исчезающе мала.

Не следует забывать, что разум человека обладает огромной избыточностью. Это означает, что для сохранения вида и для обеспечения своего существования в конкретной борьбе с другими животными более чем достаточно разума неандертальца, не говоря уже о кроманьонце. И невольно вспоминается чудовищно гипертрофированные защитные средства гигантских хищных рептилий мезозоя. Эти средства были неправдоподобно избыточны. Природа эволюционного процесса приводит иногда к большой расточительности. И все же может случиться, что мозг человека, рога трицератопса и резцы саблезубого тигра имеют одинаковую эволюционную природу...

Так или иначе, но развив свой мозг, человек скачком вышел из равновесия с окружающей средой-биосферой, которая сформировалась за несколько миллиардов лет и частью которой он являлся. Этому процессу особенно способствовало наступление технологической эры, происшедшее всего каких-то 350 лет назад. За этот ничтожный срок развитие человечества приняло подлинно взрывной характер. Об этом речь будет идти в следующей части нашей книги. Сейчас мы только подчеркнем, что в итоге этого взрывного процесса человек стал реальной угрозой самому существованию биосферы. Его неконтролируемая деятельность уже привела к ряду необратимых последствий в экологии. Например, практически исчезли крупные хищники, радикально изменились условия взаимосвязи между различными экологическими нишами, наконец, человечество стоит перед реальной угрозой ядерного самоуничтожения. Под угрозу поставлены атмосфера и гидросфера Земли! И только вера в то, что человек есть действительно разумное существо, позволяет нам надеяться, что при лучшей организации общества человечество придет в уже новое состояние равновесия с окружающей средой.

Мы невольно отвлеклись от нашей темы, но, как говорится, «у кого что болит». Заметим только в заключение, что возникновение современной технологической эры вряд ли было фатально неизбежным. Ведь существовали же тысячелетия высококультурные народы (например, майя) без современной технологии. Все дело, по-видимому, в идеологии и философии, которые исповедует данное общество. Но это уже другой вопрос.

<> Вернемся еще раз к проблеме катастрофического вымирания видов. Оказалось, что эпоха гибели динозавров была не единственной катастрофой такого типа. Работы по статистическому анализу палеонтологических данных, относящихся к морским животным, показали, что в течение последних 250 млн лет подобные события повторялись многократно и, что самое любопытное, периодически, с интервалом около 26 млн лет. Последнее такое событие произошло около 13,5 млн лет назад. Эпоха вымирания динозавров (65 млн лет назад) четко совпадает с одним из пиков, причем с наиболее мощным.

Геологические отложения, относящиеся к этой эпохе, замечательны тем, что они сильно обогащены иридием. Его содержание в тысячу раз больше нормы. При этом обогащенный слой очень тонкий — всего около 1 см. Было выдвинуто предположение, что иридий попал на Землю в результате падения астероида диаметром

в несколько километров. Мощность взрыва, имевшего место при падении, оценивается в 10^7 мегатонн. Он должен был сопровождаться сильным запылением атмосферы, понижением средней температуры на несколько десятков Кельвинов, ураганными ветрами, всем, что предсказывается в хорошо известных прогнозах последствий глобальной ядерной войны. Однако столкновение с астероидом — дело случайное, откуда же периодичность? Остроумная гипотеза была выдвинута американскими учеными Мюллером, Дэвисом и Хатом. Они предположили, что Солнце является двойной звездой. Его компаньон — холодная невидимая звезда с массой примерно в десять раз меньше солнечной, движется по эллиптической орбите, причем наибольшее удаление от Солнца составляет 150000 а. е., а наименьшее — около 30000 а. е. Период обращения этой гипотетической звезды-спутника, получившей звучное имя «Немезида» (древнегреческая богиня возмездия), составляет 26 млн лет. В эпоху максимального сближения с Солнцем Немезида вторгается в облако Оорта — самую внешнюю часть Солнечной системы, в которой медленно (со скоростями всего лишь около 1 см/с) ползут по круговым орбитам миллионы комет. В спокойное время, когда Немезида находится далеко, лишь редкие случайные возмущения вырывают из облака Оорта отдельные кометы, посылают их в сторону Солнца, и они становятся наблюдаемыми. Однако, когда возвращается Немезида, облако Оорта приходит в состояние, можно сказать, дикого бешенства. Кометы его покидают в огромном числе, и тысячи их устремляются к Солнцу. Некоторое количество кометных ядер (а это тело размером в несколько километров, отличающееся от астероидов главным образом присутствием большого количества льда) падает на Землю в эти эпохи и вызывает катастрофические изменения климата, вымирание обширных групп живых организмов.

Серьезным аргументом в пользу гипотезы о Немезиде могла бы быть статистика времен образования астроблем — геологических форм, представляющих собой остатки древних кратеров, возникших при падении крупных космических тел, таких как астероиды или кометные ядра. Однако количество известных образований такого рода мало — менее 100. и хотя период получается близкий (около 8 млн лет), нет убедительного совпадения по фазе. Мощный иридиевый слой найден только один, хотя имеются указания и на существование других.

Ясно, что периодичность в вымирании видов исключает гипотезу о вспышках сверхновых как о главной причине явления, хотя они тем не менее могли играть роль в биологической эволюции. Гипотеза о Немезиде является не единственно возможным объяснением периодического характера вымирания. Рампино и Слоутерс (США) обратили внимание на то, что Солнце совершает осцилляции относительно плоскости Галактики с периодом около 30 млн лет. При прохождении через галактическую плоскость возможна в принципе встреча с мощными облаками межзвездной пыли, достаточно плотными, чтобы заметно уменьшить солнечную энергию, достигающую земной поверхности.

Очевидно, что самым лучшим аргументом в пользу гипотезы о Немезиде было бы прямое наблюдение. Надо искать холодную звезду с малой светимостью и необычно большим собственным движением. Дело это трудное, но не безнадежное, и в случае успеха оно приведет к одному из величайших открытий за всю историю пауки, сравнимому разве что с созданием системы Коперника <>.

75. «Есть ли жизнь на Земле?»

Волнующий вопрос о жизни на других планетах занимает умы астрономов (и не только астрономов) вот уже несколько столетий. Возможность самого существования планетных систем у других звезд только сейчас, как мы видели в гл. 9, становится предметом серьезных научных исследований. Раньше же вопрос о жизни на других планетах был областью чисто умозрительных заключений. Между тем Марс, Венера и другие планеты Солнечной системы уже давно были известны как несамосветящиеся твердые небесные тела, окруженные атмосферами. Давно стало ясно, что в общих чертах они напоминают Землю, а если так, почему бы на них не быть жизни, даже высокоорганизованной и, кто знает, разумной?

Однако существует большая дистанция между догадками и реальным знанием. Нет сейчас смысла останавливаться на огромном количестве гипотез и литературных произведений, посвященных этой увлекательной проблеме. Наша задача — попытаться кратко изложить ее современное состояние.

Вполне естественно считать, что физические условия, господствовавшие на «только что» образовавшихся из первоначальной газопылевой среды планетах земной группы (в эту группу, как известно, входят Меркурий, Венера, Земля и Марс), были очень сходными, в частности их первоначальные атмосферы были одинаковы. Поэтому, вообще говоря, можно ожидать, что условия для возникновения живой материи на этих планетах были если не одинаковыми, то похожими.

В предыдущей главе мы определили живую материю как сложный молекулярный агрегат, способный к «печатанию» себе подобных систем и подверженный мутациям. Безусловно, такой агрегат мог возникнуть на основе определенных химических реакций, протекающих в определенных условиях. Поэтому проблема возникновения жизни есть в значительной степени проблема химическая.

Основными атомами, входящими в состав тех молекулярных комплексов, из которых образовалось живое вещество, являются водород, кислород, азот и углерод. Роль последнего особенно важна. Углерод — четырехвалентный элемент, способный образовывать с другими атомами кратные связи и соединяться одинаково легко с водородом и кислородом. Поэтому только углеродистые соединения приводят к образованию длинных молекулярных цепей с богатыми и изменчивыми боковыми ответвлениями. Именно к такому типу принадлежат различные белковые молекулы.

В популярной литературе часто приходится читать, что на других планетах жизнь может возникнуть не обязательно на углеродной основе. «Заменителем» углерода обычно называют кремний. Кремний довольно обилен в космосе. В атмосферах звезд и туманностях его содержание (по числу атомов) всего лишь в 5–6 раз меньше, чем углерода, т. е. достаточно велико. Вряд ли, однако, кремний может играть роль «краеугольного камня» жизни. По некоторым причинам его соединения не могут обеспечить такой богатый «ассортимент» боковых ответвлений в сложных молекулярных цепочках, как у углеродных соединений. Между тем богатство и сложность таких боковых ответвлений именно и обеспечивают огромное разнообразие свойств белковых соединений, а также исключительную «информативность» ДНК, что совершенно необходимо для возникновения и развития жизни.

Как мы видели в предыдущей главе, важнейшим условием для возникновения и развития жизни на планете является наличие на ее поверхности достаточно большого количества жидкой среды. В такой среде находятся в растворенном состоянии органические соединения и могут создаваться благоприятные условия для синтеза на их основе сложных молекулярных комплексов. Кроме того, жидкая среда необходима только что возникшим примитивным живым организмам для защиты от

губительных ультрафиолетовых лучей, которые в те времена могли свободно проникать до поверхности недавно сформировавшейся планеты.

Из самых общих соображений следует ожидать, что такой жидкой оболочкой может быть только вода и жидкий аммиак. Образование последнего требует сравнительно низкой температуры поверхности планеты. Вообще значение температуры первоначальной планеты для возникновения на ней жизни весьма велико. Если температура достаточно высока, например выше 100°C , а давление атмосферы не очень велико, на ее поверхности не может образоваться водная оболочка, не говоря уже об аммиачной. В таких условиях говорить о возможности возникновения жизни на планете, конечно, не приходится.

Исходя из сказанного, мы можем ожидать, что условия для возникновения в отдаленном прошлом жизни на Марсе и Венере могли быть, вообще говоря, благоприятными. Вряд ли они были благоприятными на Меркурии, так как его температура относительно высока, а масса мала, что способствует быстрой диссипации газов, и прежде всего водорода, необходимых для возникновения на его поверхности водной оболочки. На рис. 56 приведена фотография Меркурия, полученная с расстояния 200000 км с борта американской автоматической межпланетной станции «Маринер-10». Поражает сходство рельефа поверхности Меркурия и Луны. Жидкой оболочкой на Венере и Марсе могла быть только вода, а не аммиак, что следует из анализа физических условий на этих планетах в эпоху их формирования. Но возможность еще не означает действительность. Вопрос о том, есть ли (или была) жизнь на Марсе и Венере, должен быть, прежде всего, решен астрономическими наблюдениями и исследованиями при помощи космических аппаратов.

Очень трудно получить путем астрономических наблюдений явные указания на наличие жизни на той или другой планете. Не следует забывать, что даже в самые хорошие телескопы при наиболее благоприятных условиях минимальные размеры деталей, еще различимых на поверхности Марса, равны 100 км.

Земная атмосфера, вернее ее беспокойствие, является основной помехой, не позволяющей наблюдать на поверхностях планет детали меньших размеров. Кореи-



Рис. 56. Фотография Меркурия, полученная АМС «Маринер-10» 29 марта 1974 г.

ное изменение этой ситуации произошло только после того, как американская автоматическая станция «Маринер-4» получила первые фотографии поверхности Марса с близкого расстояния (см. гл. 16).

Чтобы положение, в котором находятся астрономы, стало более понятным, вообразим себе оснащенную самыми Лучшими современными астрономическими инструментами большую обсерваторию, расположенную на Марсе. Могут ли вообразимые марсианские астрономы, работающие на этой первоклассной обсерватории, доказать наличие жизни на Земле? С марсианского небосклона Земля казалась бы им очень яркой звездой, лишь немного уступающей по блеску Венере, наблюдаемой с Земли. Подобно Венере, она наблюдалась бы в разных фазах. Так как Земля более удалена от Солнца, чем Венера, условия ее наблюдений с Марса были бы более благоприятны, чем условия наблюдений Венеры с Земли. И все же воображаемым марсианским астрономам было бы очень трудно установить факт наличия на Земле жизни.

Несомненно, они наблюдали бы сезонные изменения цветов отдельных больших пространств на Земле, например массивов наших пахотных земель и лесистых стран умеренного пояса. Марсианские теоретики, однако, наверняка, придумали бы ряд гипотез, объясняющих такие изменения, и среди них была бы гипотеза о возможности жизни на Земле... Вряд ли они пришли бы на основе только таких наблюдений к выводу о наличии жизни на нашей планете, тем более — разумной жизни.

Регулярно наблюдая Землю в течение нескольких десятилетий, они несомненно заметили бы большие изменения на ее поверхности. Например, систематическое истребление лесов вряд ли осталось бы незамеченным. Однако определенных выводов они не смогли бы сделать. Ведь и на Марсе мы наблюдаем систематические и довольно большие изменения. Например, с поверхности этой планеты почти совсем исчезло известное образование, называемое Озером Солнца. Знаменитый Скиапарелли, открывший пресловутые «каналы Марса», наблюдал Озеро Солнца как резкое пятно почти круглой формы, однако через 3—4 десятилетия вместо резкого пятна можно было наблюдать довольно вытянутую группу темных пятен. Имеются и многочисленные свидетельства других изменений на поверхности красной планеты. Сами по себе такие изменения весьма интересны, но служить неопровержимыми доказательствами наличия жизни на планете они, конечно, не могут. Заметим, кстати, что на поверхности Луны, почти наверняка лишенной жизни, наблюдался ряд изменений, впрочем, значительно меньшего масштаба.

Можно ли с нашей воображаемой марсианской обсерватории наблюдать следы человеческой деятельности, например всякого рода искусственные сооружения — города, водоемы, плотины? Вряд ли, если учесть, что разрешающая способность телескопов такова, что деталей размерами меньше 100 км обнаружить нельзя. Ведь размеры искусственных сооружений меньше. Ночное освещение земных городов-гигантов: Нью-Йорка, Москвы, Токио, Парижа, Лондона, Чикаго — на пределе чувствительности аппаратуры, по-видимому, можно было бы обнаружить. Представим себе, что городская освещенность в 10 раз больше, чем от полной Луны, причем такая освещенность имеет место в области размером в 10 км. Тогда марсианские астрономы на темной стороне Земли (напомним еще раз, что Земля с Марса, подобно Луне с Земли, наблюдалась бы в разных фазах) могли бы наблюдать звездочку 16-й величины. Однако вследствие рассеяния света от освещенной Солнцем части Земли вряд ли они смогли бы ее обнаружить.

Карл Саган подверг более подробному рассмотрению вопрос о возможности наблюдать из космоса следы человеческой деятельности на Земле. Земля многократно фотографировалась из ближнего космического пространства с помощью фотографических камер, установленных на американских и советских спутниках. Например, специальная программа такого рода была выполнена на серии амери-

канских метеорологических спутников «Тирос» и «Нимбус». Для своего анализа американский ученый использовал результаты этих исследований. Иногда на таких фотографиях причудливые сочетания облаков (которыми покрыта большая часть Земли) создают иллюзию искусственных сооружений (рис. 57). Через разрывы облаков иногда удается наблюдать значительные участки суши. Например, на рис. 58 через такой большой разрыв виден восточный угол США, а на рис. 59 — южная оконечность Индостана и остров Цейлон. Куски суши, полученные на этих фотографиях, принадлежат к числу наиболее густо населенных областей земного шара, а на рис. 58 видна одна из наиболее развитых в технологическом отношении стран. И все же никаких следов деятельности человека, даже при самом тщательном анализе таких фотографий, обнаружить не удастся. Заметим, что на этих фотографиях разрешаются детали в несколько километров.

Из сотен тысяч таких фотографий, полученных на спутниках серии «Тирос» с разрешением около 1 км, только одна выдает присутствие жизни на Земле (рис. 60). На этой фотографии виден кусок Канадской территории в штате Онтарио. В нижнем левом углу снимка отчетливо видна система широких параллельных полос. Это следы лесозаготовок, запорошенные снегом, что увеличило контраст фотографии. Но разве эта совершенно уникальная (одна из сотен тысяч!) фотография могла дать повод для радикального вывода о жизни на Земле! Ведь марсианские астрономы легко могли бы придумать куда более естественные причины для объяснения регулярных деталей, видимых на этой фотографии (например, геологические причины).

Анализируя фотографии, полученные на этих спутниках, с еще более высоким разрешением (например, несколько сотен метров), Саган смог обнаружить несколько деталей, имеющих вид прямых линий. Хорошо, что он заранее знал, что одна такая деталь — это автострада в штате Теннесси. Ведь точно такая же деталь на другом снимке была получена от вполне естественного образования — узкой, прямой песчаной косы в Марокко... Итак, даже такое разрешение недостаточно для бесспорного обнаружения следов разумной деятельности человека на Земле.

Саган обращает также внимание на важный фактор, делающий наши гигантские города невидимыми из космоса: это грязная, непрозрачная атмосфера над такими городами — увы, продукт высокоразвитой цивилизации... Например, американские космонавты ни разу не могли наблюдать из космоса город-гигант Лос-Анджелес! Как говорится, тут комментарии излишни...

Заметим, однако, что существуют спутники специального назначения, позволяющие различать на поверхности Земли детали в несколько метров! Конечно, от таких спутников скрыть следы разумной жизни на Земле уже невозможно.

Такие явления, как ядерные взрывы в нижней атмосфере, которые — увы! — иногда происходят на Земле, безусловно были бы видны с Марса, как кратковременные очень яркие вспышки света. Все же, учитывая относительную редкость ядерных испытаний и быстроту протекания процесса взрыва, вероятность их обнаружения была бы крайне малой. Впрочем, создание специальной весьма оперативной «службы Земли» (подобно существующей у нас «службы Солнца») могло бы привести к успеху. Однако и в этом случае цивилизованные марсианские астрономы вряд ли сочли бы эти кратковременные вспышки света признаками жизни, тем более разумной. Даже мы, живя на Земле, никак не можем такие варварские эксперименты, имеющие конечной целью уничтожение всего живого на нашей прекрасной планете, считать проявлением какого бы то ни было разума...

Итак, очень непросто обнаружить прямые и явные признаки жизни даже на самой ближайшей планете. Впрочем, мы сейчас укажем на один способ такого обнаружения, логически бесспорный. Представим, что наша воображаемая марсианская обсерватория оснащена современными радиотелескопами — устройствами, позволяющими обнаружить и измерить радиоизлучение различных небесных тел.

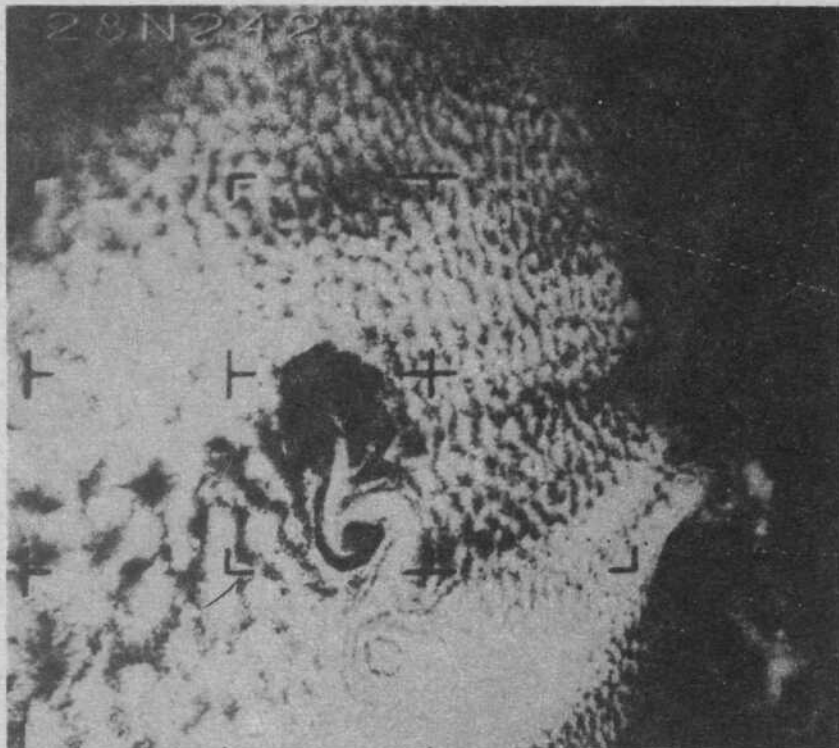


Рис. 57. Облачный покров над Калифорнией. Фотография получена со спутника «Нимбус-1»

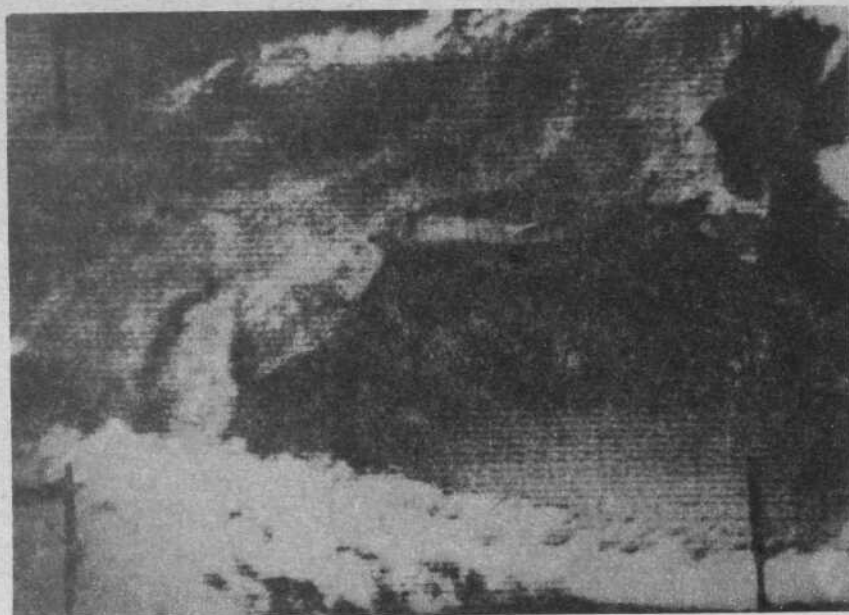


Рис. 58. Фотография восточных районов США. Получена со спутника «Тирос-7»

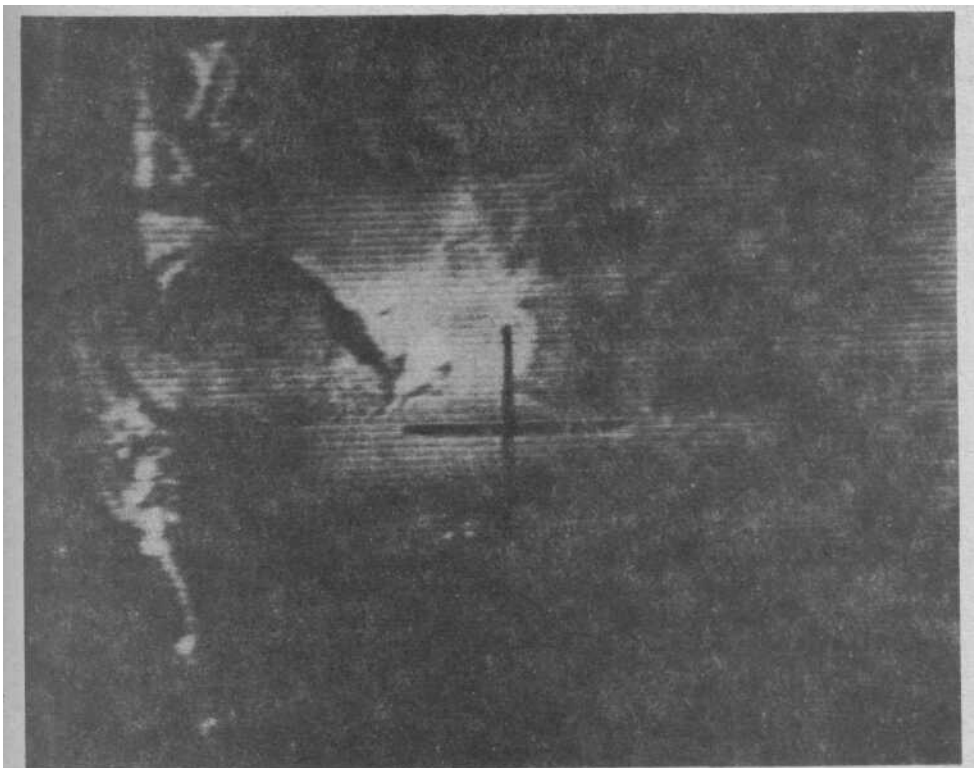


Рис. 59. Южная оконечность Индостана. Фотография получена со спутника «Тирос-5»

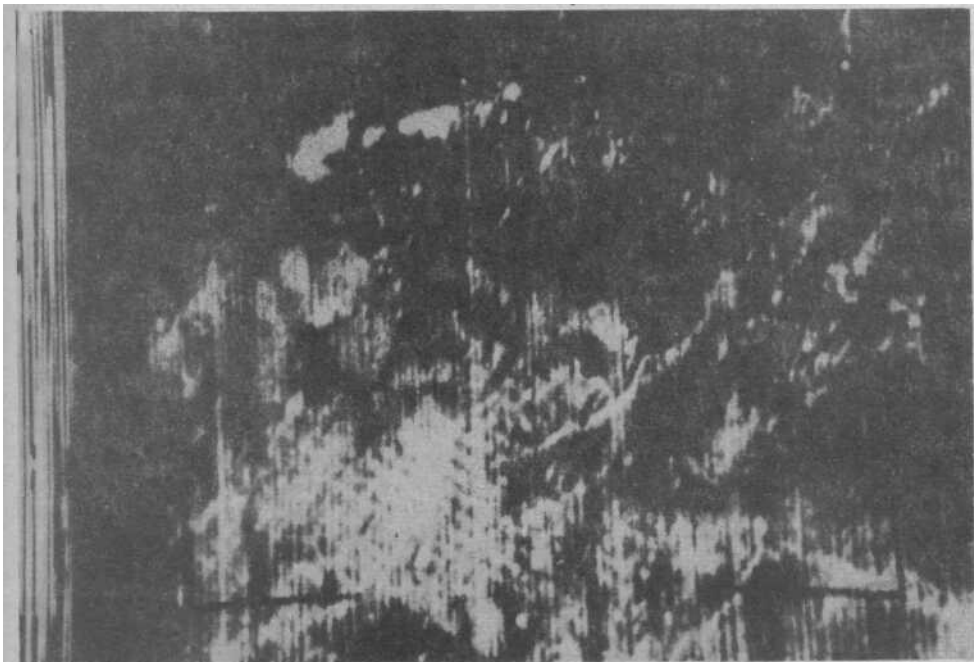


Рис. 60. Часть территории Канады (штат Онтарио). Фотография получена со спутника «Тирос-2»

Марсианские астрономы, подобно земным, исследовали бы радиоизлучение планет. И тут они сделали бы одно потрясающее открытие: на метровом диапазоне волн наша скромная планета Земля посылает в пространство почти такой же мощности поток радиоизлучения, как и Солнце, в периоды, когда на нем нет пятен! Земля на этом диапазоне излучает в миллионы раз больше, чем Венера или Меркурий. Открытие это можно было бы сделать, применяя довольно «скромные» радиотелескопы. Дальнейшие исследования несомненно показали бы, что различные участки поверхности нашей планеты излучают неодинаково, так как была бы найдена периодическая зависимость радиоизлучения Земли от времени, вызванная ее вращением вокруг своей оси. Например, когда к Марсу были бы обращены Африка, Южная и Центральная Азия, уровень радиоизлучения падал бы, а когда Европа и Северная Америка — сильно возрастал. Однако, по-видимому, больше всего марсианских радиоастрономов удивило бы то обстоятельство, что несколько десятков лет назад Земля на метровых волнах излучала в миллион раз слабее. Анализируя все эти факты, умные марсиане поняли бы, правда далеко не сразу, что это радиоизлучение нельзя объяснить действием естественных сил природы, что оно может иметь только искусственный характер. Значит, на Земле есть разумная жизнь! Что и говорить, это было бы замечательным открытием!

В чем же дело? В чем причина столь мощного радиоизлучения Земли? И не мистификация ли это вообще? Нет, мы далеки от попыток шутить на столь серьезную тему. Все описанное вполне соответствует действительности. На Земле имеется несколько тысяч телевизионных передатчиков. Если учесть среднюю мощность каждого такого передатчика (около 20 кВт), ширину полосы частот, в которых происходит излучение, среднюю длительность работы каждого такого передатчика (скажем, 6 часов в сутки), а главное, что все волны телевизионного диапазона (1,5—6 м) совершенно беспрепятственно проходят через земную (так же, как и марсианскую) атмосферу, то мы получим именно ту картину, которую должны были бы наблюдать воображаемые марсианские астрономы.

Автор этой книги произвел соответствующий количественный расчет, на основе которого и была нарисована описанная выше картина марсианских радиоастрономических наблюдений *). Для специалистов, может быть, небезынтересно будет знать, что так называемая «яркостная температура» Земли на метровых волнах, обусловленная работой телевидения, близка к нескольким сотням миллионов градусов, что в сотни раз выше «радиояркости» Солнца на этих волнах в периоды, когда на его поверхности нет или почти нет пятен. Заметим еще, что, кроме телепередатчиков, на Земле есть огромное число радиостанций и прочих устройств, мощно излучающих в ультракоротковолновом диапазоне.

На этом примере мы впервые столкнулись с «космическим» характером жизнедеятельности разумных существ. Эта деятельность привела к тому, что по такой важной характеристике, как мощность и характер радиоизлучения, Земля стала резко отличаться от всех остальных планет Солнечной системы. Несомненно, что космический характер деятельности есть существенный атрибут развития разумной жизни. В следующих главах этой книги мы уделим этому очень важному и интересному вопросу достаточно много места.

Но означает ли само по себе отсутствие мощного радиоизлучения на метровых волнах от Марса отсутствие там высокоразвитой разумной жизни? Вообще говоря, нет, потому что, несомненно, потери энергии, связанные с телевидением, рано или поздно будут сокращены. Ведь это же варварство, что подавляющая часть энергии, излученной телепередатчиками, бесполезно уходит в мировое пространство! Несомненно, что прогресс науки и техники приведет к тому, что электромагнитные

*) Усредненная мощность земного радиоизлучения в метровом диапазоне, как можно подсчитать, близка к 1 Вт/Гц.

волны будут идти по определенным каналам без ненужного рассеяния. Некоторые шаги в этом направлении уже делаются. Естественно предположить, что высокоразвитые разумные существа будут расходовать электромагнитную энергию не так расточительно, как мы сейчас.

Таким образом, непосредственно обнаружить с достоверностью следы жизни на Земле наблюдениями с Марса весьма непросто. Можно, однако, для этого применить косвенные методы. Дело в том, что развитая жизнь на какой-нибудь планете является могучим фактором, преобразующим ее атмосферу и кору. Не случайно наружные слои нашей планеты, включающие также мировой океан и атмосферу, получили название «биосфера». Согласно исследованиям академика В. И. Вернадского (который ввел в науку само понятие «биосфера»), последняя начинается с глубины 3 км под поверхностью Земли и охватывает почти всю гидросферу и атмосферу. Он пришел к выводу, что все наружные слои земной коры переработаны жизнедеятельностью различных организмов на 99%. Как мы видели в предыдущей главе, практически весь кислород в земной атмосфере есть продукт фотосинтеза растений. Благодаря своей огромной химической активности атмосферный кислород непрерывно вступает в соединения с различными элементами земной коры. Если бы не непрерывное возобновление кислорода, обусловленное жизнедеятельностью растений, он исчез бы из атмосферы всего лишь за несколько тысяч лет. Можно сделать вывод, что наличие свободного кислорода в атмосфере планеты является признаком того, что на ней имеется жизнь, создавшая биосферу.

Биосфера не только создает кислород в атмосфере планеты. Живые организмы, особенно бактерии, за сотни миллионов лет своей «кипучей деятельности» преобразили лицо нашей Земли. Они могут разлагать даже самые стойкие химические соединения, входящие в состав алюмосиликатов и гранитов, составляющих большую часть земной коры. Так постепенно образовалась почва. Причина деятельности живых организмов, преобразующей лицо планеты, кроется в процессах обмена веществ, являющихся неотъемлемым атрибутом жизни. Эти процессы представляют собой химические реакции весьма большого количества типов. Все это приводит к потенциально огромной способности живых существ к размножению. Основная тенденция развивающейся жизни — переработать как можно больше «неживого» вещества, чтобы этот «строительный» материал использовать для построения новых особей.

Если бы этот процесс не сталкивался с суровыми ограничениями, накладываемыми самой природой, прежде всего ограниченностью «строительных ресурсов», за какие-нибудь сутки масса живого вещества превзошла бы массу планеты. Количество живого вещества в земной коре согласно подсчетам В. И. Вернадского, составляет примерно 10^{14} — 10^{15} т. Это в несколько миллионов раз меньше массы земного шара и только в несколько тысяч раз меньше массы земной коры.

Коль скоро наши воображаемые марсианские наблюдатели обнаружили бы вокруг Земли мощную кислородную атмосферу, они должны были бы с необходимостью сделать вывод о наличии на Земле жизни. Если бы количество свободного кислорода в атмосфере было ничтожно мало, так что его можно было обнаружить только на пределе чувствительности приборов, еще можно было бы выдвигать различные гипотезы о «небиогенном» происхождении земного кислорода. Впрочем, эти гипотезы были бы довольно сомнительны. Но такое огромное количество кислорода, которое наблюдается на Земле, можно объяснить только жизнедеятельностью организмов. Итак, химический состав земной атмосферы позволил бы наблюдателям марсианской обсерватории сделать со всей определенностью вывод, что жизнь на Земле существует. Означает ли, однако, отсутствие в спектре планеты линий и полос, указывающих на наличие в ее атмосфере кислорода, что планета безжизненна? Строго говоря, нет. Именно с таким случаем мы встречаемся при исследовании вопроса о возможности жизни на Марсе.

16. *«Есть ли жизнь на Марсе, нет ли жизни на Марсе...»*

После того как мы в предыдущей главе имели возможность убедиться, что обнаружить признаки жизни на какой-нибудь планете с расстояния, исчисляемого десятками миллионов километров,— задача далеко не простая, можно проанализировать существующие наблюдательные данные о планетах Солнечной системы для выяснения вопроса о возможной их обитаемости. В первую очередь мы остановимся на самой «перспективной» в этом отношении планете — Марсе.

Нет нужды приводить основные астрономические сведения о Марсе — они достаточно часто приводились в научно-популярной литературе. Интересующихся большими подробностями мы отсылаем к монографии В. И. Мороза «Физика планеты Марс» (М.: Наука, 1978).

Прежде всего рассмотрим, что представляет собой марсианская атмосфера. Прямые спектроскопические наблюдения указывают, что в атмосфере присутствует углекислота CO_2 в количестве, примерно в 30 раз большем, чем в земной атмосфере, хотя марсианская атмосфера в 150 раз более разрежена, чем земная на уровне моря.

Каков же химический состав марсианской атмосферы?

Углекислый газ является основной составляющей марсианской атмосферы — примерно 95%. Измерения, проведенные на американских космических аппаратах «Викинг-1» и «Викинг-2» показали, что остальные 5 % — это аргон и азот. Аргон, или, точнее, его изотоп с атомным весом 40, составляет, как известно, около 1 % земной атмосферы. Он образуется непрерывно в результате радиоактивного распада изотопа ^{40}K , находящегося в земной коре. Так как Марс и Земля по своим основным планетарным характеристикам (размеры, состав коры, плотность и т. д.) являются «родственниками», следует ожидать, что этот же процесс должен приводить к появлению аргона и на Марсе. Поскольку кислорода в марсианской атмосфере очень мало, то аргон наряду с азотом оказывается одной из главных компонент марсианской атмосферы.

До последнего времени не существовало сколько-нибудь надежных спектроскопических данных, указывающих на наличие в атмосфере Марса водяных паров. Однако в 1963 г. американские ученые Спинрад, Мюнх и Каплан уверенно обнаружили в спектре Марса очень слабые полосы водяного пара. Из этих наблюдений следует, что количество водяных паров в атмосфере Марса составляет около одной тысячной от CO_2 . Отсюда можно сделать вывод, что его атмосфера отличается исключительной сухостью. В незначительных количествах в ней содержится СО (0,06%) и озон O_3 ($10^{-3}\%$).

Еще недавно большинство астрономов считали, что так называемые «полярные шапки» Марса суть не что иное, как иней, покрывающий большие области около полюсов планеты. Однако в настоящее время вся совокупность данных наблюдений говорит о том, что сезонные «полярные шапки» — это, главным образом, сухой лед, т. е. затвердевшая углекислота CO_2 . Так как ось вращения Марса наклонена к плоскости его орбиты почти на такой же угол, что и Земля, там наблюдается смена времен года. Вообще говоря, климат Марса отличается большой суровостью. Средняя температура поверхности этой планеты приблизительно на 40 К ниже, чем на Земле. В течение суток температура почвы колеблется на 60—80 К. Амплитуда годовых колебаний в полярных областях достигает 100—120 К, в то время как в экваториальных она равна 30 К. Температура полярных областей достигает зимой — 120 °С.

Следует иметь в виду, что в отдельных областях поверхности Марса микроклимат может существенно отличаться в лучшую сторону от описанных выше весь-

ма суровых «средних» условий. Например, благодаря вулканической активности там могут быть области с более высокой температурой и сравнительно большим содержанием водяных паров. В таких областях условия для развития жизни могут быть, конечно, более благоприятными.

В 1964 г. Синтон и Стронг опубликовали результаты наблюдений Марса в инфракрасных лучах (длины волн 7—13 мкм). На этих волнах наблюдается в основном тепловое излучение поверхности планеты, в то время как на более коротких волнах Марс светит преимущественно отраженным солнечным излучением.

Т а б л и ц а 9

Широта, градусы	Часы марсианского времени						Широта, градусы	Часы марсианского времени					
	7	8	11	12	13	14		7	8	11	12	13	14
+14	−78	−91	+10	+16	+14	+8	−2	−64	−16	+16	+22	+22	+7
+10	−64	−19	+13	+26	+28	+15	−8	−55	−10	+19	+22	+20	+14
+8	−54	−11	+18	+26	+23	+20	−12	−42	−6	+18	+18	+18	+8

Наблюдения Синтона и Стронга производились при помощи большого телескопа обсерватории Маунт Паломар с зеркалом диаметром в 5 м. Это дало возможность исследовать инфракрасное излучение от отдельных участков поверхности планеты. По интенсивности инфракрасного излучения можно было вычислить температуру соответствующих областей в разное время марсианских суток. Температуры поверхности Марса (°C) для разных широт и моментов марсианских суток приведены в табл. 9, из которой видна огромная разница между утренней и дневной температурами. Интересно, что около местного марсианского полдня температура поверхности планеты достигает +28 °C. В то же время температура воздуха на Марсе, даже у самой его поверхности, очень низка и всегда ниже нуля. Уже на высоте около 15 км температура падает даже в экваториальных областях до −100 °C.

Новую эру в исследованиях Марса открыли американские и советские автоматические межпланетные станции «Маринер» и «Марс» (рис. 61), которые, начиная с 1962 г., планомерно посылались к Марсу. Впервые автоматическая станция «Маринер-4» передала на Землю фотографии поверхности этой планеты, полученные со сравнительно близкого расстояния (~10000 км). Эти фотографии выявили на поверхности Марса огромное количество кратеров самых различных размеров. Любопытно отметить, что только один астроном на Земле довольно давно предсказал, что поверхность Марса должна быть покрыта кратерами. Это был выдающийся эстонский астроном Эпик, работавший в Ирландии. Однако на это предсказание не

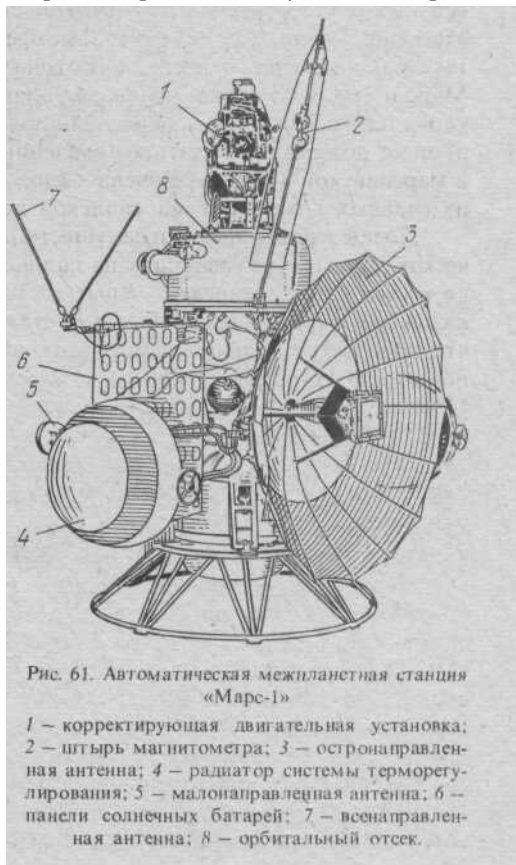


Рис. 61. Автоматическая межпланетная станция «Марс-1»

1 — корректирующая двигательная установка; 2 — четыре магнитометра; 3 — остронаправленная антенна; 4 — радиатор системы терморегулирования; 5 — малонаправленная антенна; 6 — панели солнечных батарей; 7 — всенаправленная антенна; 8 — орбитальный отсек.

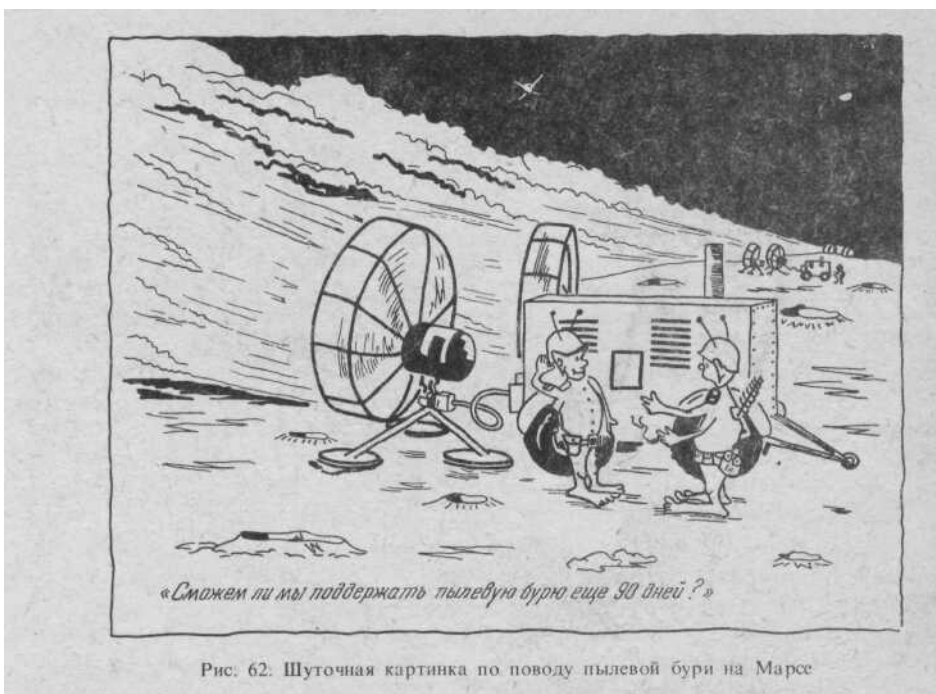


Рис. 62. Шуточная картинка по поводу пылевой бури на Марсе

было обращено должного внимания. Для всего «астрономического мира» открытие кратеров на поверхности Марса было полной неожиданностью...

Важные результаты в съемках поверхности Марса были достигнуты в конце 1971 г. американской автоматической станцией «Маринер-9». Поначалу съемкам сильно мешала огромной силы пылевая буря, на много недель закрывшая непроницаемой мглой поверхность планеты. Это дало повод организаторам полета «Маринер-9» для веселых шуток (рис. 62).

Когда буря утихла, «Маринер-9» выполнил высококачественную «космофотосъемку» поверхности Марса, охватывающую всю его поверхность. Некоторые из переданных на Землю фотографий поверхности Марса приведены на рис. 63 а—в.

<> Практически одновременно с «Маринером-9» работал «Марс-3» — советский искусственный спутник планеты Марс. На нем проводились фотометрические исследования поверхности и атмосферы в разных диапазонах <>

В 1974 г. четыре советские автоматические межпланетные станции — «Марс-4», «Марс-5», «Марс-6» и «Марс-7» — продолжили программу изучения Марса. В результате этих исследований природа марсианской атмосферы значительно прояснилась. Приводим основные результаты этих измерений, не останавливаясь на технических подробностях. Мы сюда включили также результаты наземных наблюдений, выполненные самыми совершенными методами на крупнейших телескопах.

Установленные на советских автоматических станциях «Марс-3» и «Марс-5» «индикаторы влажности» — особая аппаратура, чувствительная к инфракрасным лучам, поглощаемым водяными парами, — позволили надежно найти распределение паров N_2O над поверхностью Марса. Выяснилось, что это распределение весьма неравномерно, колеблясь от неизмеримо малого значения до 100 мкм осажденной воды.

Среднее значение полного давления марсианской атмосферы близко к 0,006 земного атмосферного давления (около 5 мм рт. ст.). Эта величина оказалась значительно ниже принимавшегося раньше значения. Вообще следует заметить, что на

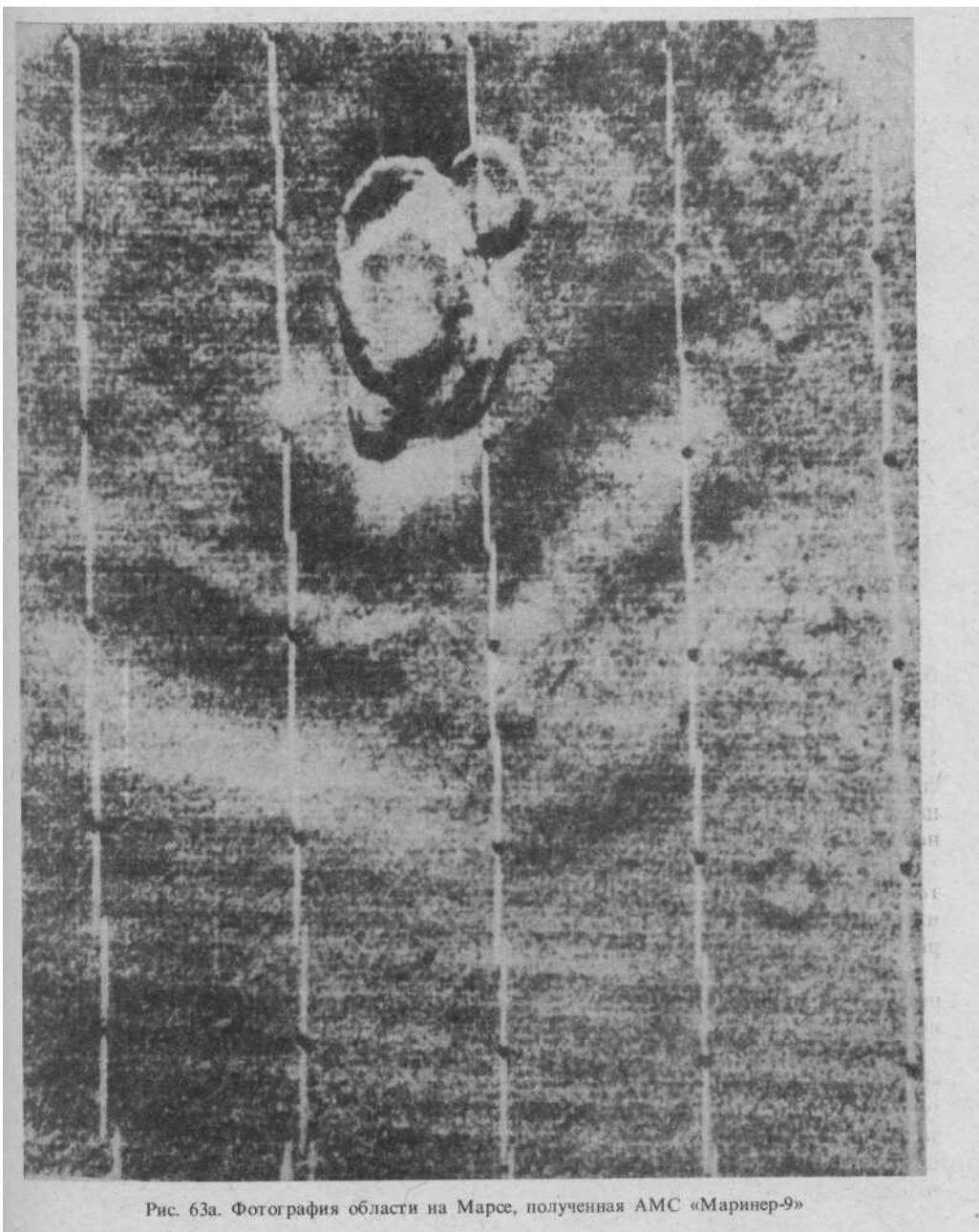


Рис. 63а. Фотография области на Марсе, полученная АМС «Маринер-9»

протяжении последних двух десятилетий наблюдалась тенденция к непрерывному снижению давления марсианской атмосферы. Так, например, известный исследователь Марса де Вокулер около 30 лет назад вывел значение для давления атмосферы Марса 65 мм рт. ст. По наблюдениям, выполненным во время противостояния Марса в 1963 г., было найдено, что давление на Марсе составляет только 20 мм рт. ст. И вот сейчас оно принимается еще в 4 раза меньшим! Такое низкое давление достигается на Земле только на высоте 30 км над уровнем моря.

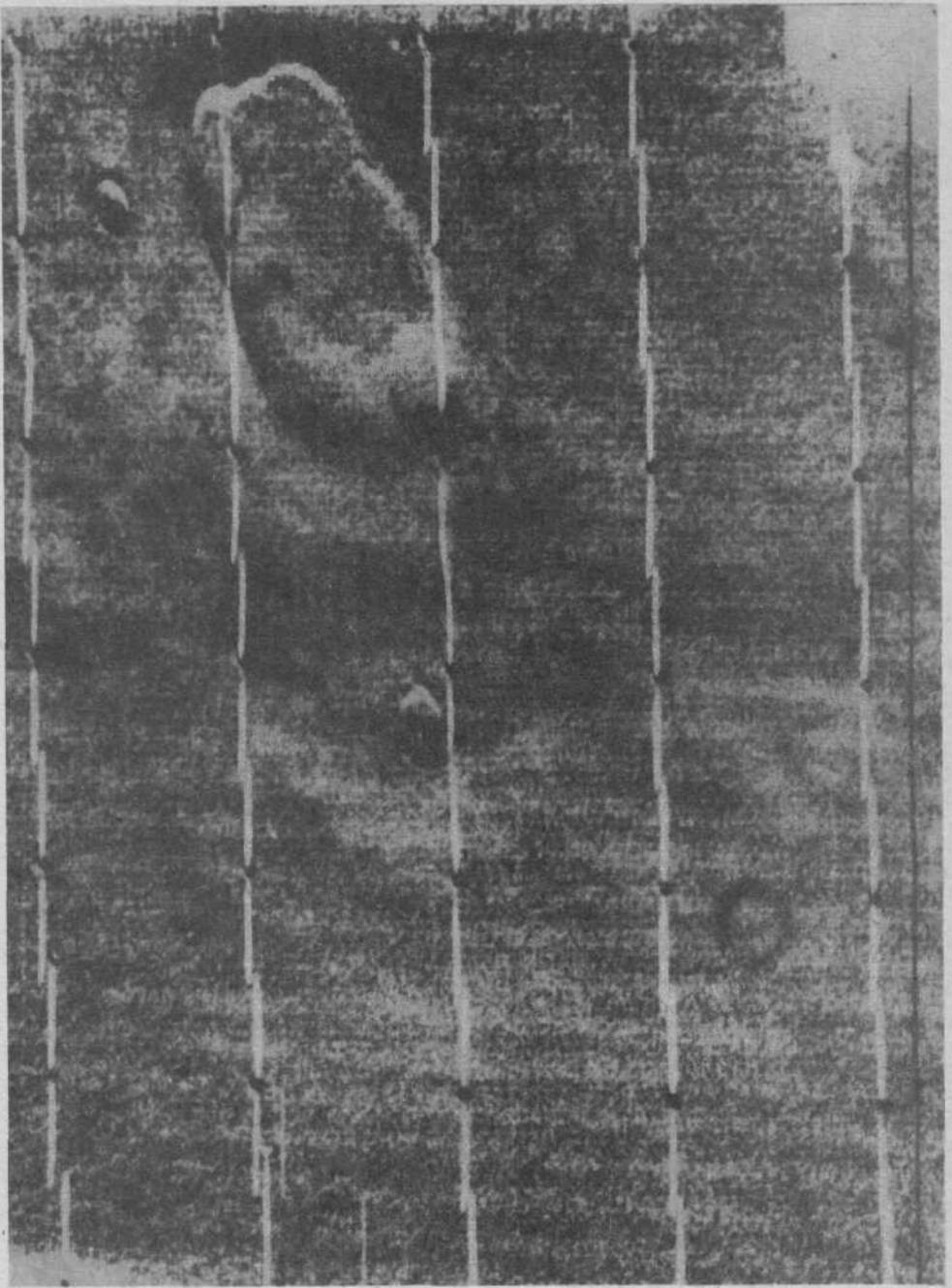


Рис. 636. Фотография области на Марсе, полученная АМС «Маринер-9»



Рис. 63в. Фотография области на Марсе, полученная АМС «Маринер-9»

Следует, однако, заметить, что на поверхности Марса наблюдаются огромные перепады высот, до 25 км. По этой причине атмосферное давление на поверхности Марса сильно зависит от высоты того или иного участка. Есть места (впадины), где атмосферное давление почти вдвое больше среднего, есть и такие высокогорные области, где давление вдвое меньше среднего. Конечно, удивительного в этом нет ничего. Вообразим себе, что у нас на Земле исчез мировой океан. Тогда разность высот между океанскими впадинами и высокогорными плато была бы 7—10 км. Конечно, разница в высоте между вершинами Гималаев и отдельными узкими провалами в океане типа Филиппинской или Марианской впадин составляет около 20 км. Но это, так сказать, «экстремальные» значения перепадов высот. Очень возможно, что на Марсе будут найдены разные малые области с еще большей разностью высот. Но в целом степень «изрытости» поверхности Марса (в смысле отклонения от идеальной сфероидальной формы) значительно больше, чем на Земле, что, по-видимому, объясняется меньшим значением силы тяжести на этой планете.

Специальный интерес представляет строение верхней атмосферы Марса. На высоте около 300 км основной составляющей атмосферы является атомарный кислород. Несомненно, это объясняется фотодиссоциацией углекислого газа (плотность второго и более тяжелого ее продукта, CO, падает быстрее с высотой, чем плотность O). Начиная с высоты около 400 км преобладающей компонентой марсианской атмосферы становится атомарный водород H. На этой высоте в каждом кубическом сантиметре содержится около 10000 атомов водорода. Следует ожидать, что здесь содержится примерно такое же количество гелия, однако на расстояниях в несколько тысяч километров атмосфера должна уже состоять практически из чистого водорода. Чисто водородная внешняя атмосфера Марса прослеживается вплоть до огромных расстояний в 20000 км, образуя своего рода «корону». Аналогичная водородная «корона» окружает Землю, а также Венеру. Водородная корона Марса была исследована на американских и советских автоматических станциях с помощью специальных приемников, чувствительных к излучению в резонансной линии водорода «Лайман альфа». Это излучение возникает при рассеянии солнечных ультрафиолетовых квантов атомами водорода, находящимися в верхней атмосфере Марса. По той же причине эту линию излучают атомы водорода в верхней атмосфере Земли и Венеры.

Так же, как и в случае верхней атмосферы Земли, атомы водорода в верхней атмосфере Марса должны «улетучиваться» (или, как говорят, «диссипировать») в межпланетное пространство. Поэтому должен быть непрерывно действующий источник их пополнений.

Таким источником может быть только диссоциация водяных паров в более глубоких слоях марсианской атмосферы. Оказывается, что даже того скромного количества паров H_2O , которое там имеется, вполне достаточно для этой цели.

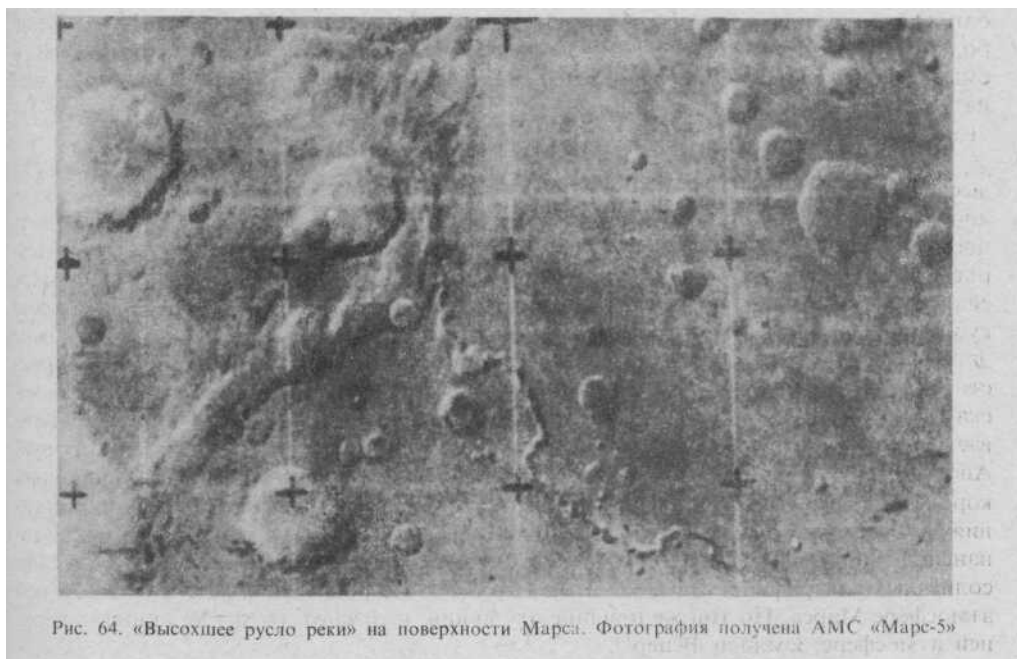
Таким образом, климат Марса и его атмосфера не очень-то благоприятствуют развитию жизни на нем, хотя, конечно, не исключают ее возможности. Уместно в этой связи напомнить, что в Антарктиде люди живут при температурах марсианских полярных областей. Там зарегистрирована самая низкая температура на Земле 82°С. Конечно, человек в Антарктиде создает свою искусственную биосферу. Все же возможности приспособлений организмов к суровым природным условиям весьма велики. Следовательно, сама по себе суровость климатических условий на Марсе не исключает возможности наличия на нем жизни.

Кроме того, в последние годы серьезно обсуждается возможность резких колебаний климатических условий на Марсе в течение его «геологической» (лучше сказать, «ареологической») истории.

Когда протяженная «сезонная» полярная шапка, состоящая из углекислоты, весной исчезает, в центре ее остается яркое пятно диаметром в несколько сотен ки-

лометров, сохраняющееся в течение всего лета. Это скопление льда H_2O . В прошлом ледяные шапки могли таять, существенно меняя условия на поверхности «красной планеты». Оценочные расчеты показывают, что атмосферное давление могло быть тогда в десятки раз больше. Эту эпоху связывают с периодом высокой вулканической активности. Высокая концентрация водяного пара могла способствовать образованию на поверхности Марса более или менее значительных открытых водоемов.

На рис. 64 приведена фотография участка Марса, полученная советской АМС «Марс-5». На ней отчетливо видна извивающаяся линия, очень похожая на русло



реки. Такие образования найдены на Марсе в значительном количестве. Характерная структура, форма, наличие «притоков», «наносов» и т. д., — все указывает на то, что мы имеем здесь дело с настоящими сухими руслами. Трудно оценить их возраст, скорее всего, он достигает многих сотен миллионов лет и даже миллиардов лет. Наличие «сухих русел» является аргументом в пользу того, что на Марсе в прошлые геологические эпохи была более плотная атмосфера и более мягкий климат, пригодный даже для земных форм жизни.

На поверхности Марса видны отдельные темные пятна — так называемые «моря», хотя ничего общего с земными морями они не имеют. В этом отношении эти образования вполне подобны лунным морям. Как показывают тщательные телескопические наблюдения, у марсианских морей имеются в большом количестве отдельные структурные детали и пятна различной окраски. Эти пятна отличаются большой изменчивостью. Преобладающие тона окраски марсианских морей — оливковые, зеленоватые и даже синеватые. Более обширные пространства на поверхности Марса, окружающие моря, имеют серовато-красноватый цвет. Они получили название «пустынь». Возможно, что это название в какой-то степени отражает их природу.

Когда в каком-нибудь из полушарий Марса наступает весна, полярная шапка начинает довольно быстро уменьшаться в размерах (рис. 65). На ее краях появляет-

ся темная кайма шириной в несколько сотен километров. Волна «потемнения» распространяется в сторону более низких марсианских широт. При этом отдельные детали морей заметно темнеют. С наступлением осени волна потемнения начинает перемещаться в обратном направлении. На первый взгляд естественно связать описанные только что сезонные изменения деталей на поверхности Марса с увлажнением его почвы.

Систематические сезонные изменения цвета морей Марса от сероватых к зеленоватым тонам раньше многие исследователи связывали с сезонными изменениями окраски марсианской растительности. С другой стороны, ряд авторов считает, что сезонные изменения окраски морей вызваны изменениями цветов заключенных в почве Марса солей при повышении влажности почвы. Таким образом, сами по себе сезонные изменения цвета отдельных деталей на поверхности Марса еще не

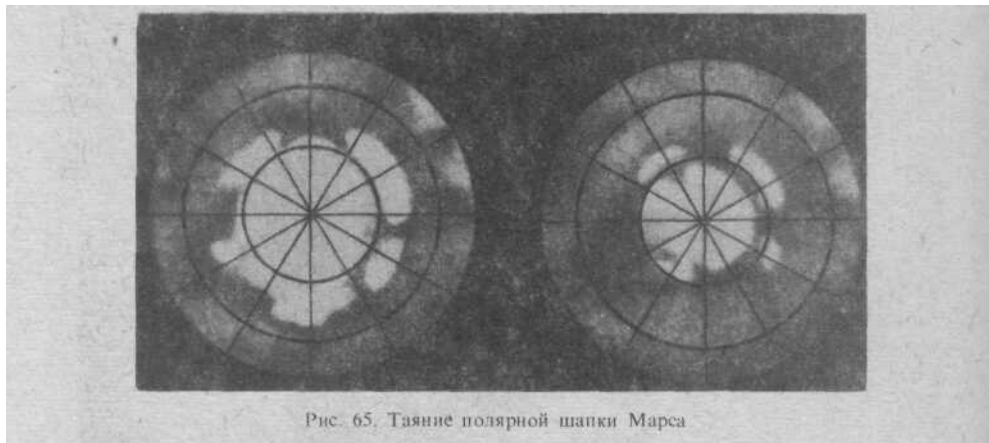


Рис. 65. Таяние полярной шапки Марса

говорят о наличии там растительного покрова. Точно так же отсутствие или наличие слабого провала в спектре около длины волны 0,5 мкм, которое может быть обусловлено хлорофиллом, решительно ничего не говорят о наличии или отсутствии жизни на Марсе. Такого провала в спектре Марса не обнаружено. Но еще Г. А. Тихов — большой энтузиаст идеи обитаемости Марса — показал, что под влиянием суровых природных условий полоса поглощения хлорофилла может сильно измениться. Даже небольших вариаций в структуре боковых ветвей молекулы хлорофилла (которые вполне возможны) достаточно, чтобы сильно изменить его спектрально-отраженные свойства.

Большинство астрономов вообще считают, что никакой жизни на Марсе в настоящее время нет. В частности, такой радикальной точки зрения держался американский астроном Мак Лофлин. Согласно его гипотезе темные моря Марса — результат вулканической активности этой планеты. Моря, по Мак Лофлину, — отложения вулканического пепла на больших участках поверхности планеты. Он нашел, что очертания этих морей хорошо согласуются с направлениями ветров в атмосфере Марса. Гипотеза Мак Лофлина довольно хорошо объясняет вековую (т. е. не сезонную) изменчивость деталей на поверхности планеты. Точно так же непринужденно объясняется темная окраска морей химическими процессами, происходящими в неокисленной, слабо увлажненной атмосфере Марса. Сезонные изменения окраски морей объясняются изменениями в направлении ветров, а также изменениями влажности и температуры. До недавнего времени серьезным возражением против гипотезы Мак Лофлина считалась предполагаемая им сильная вулканическая деятельность на Марсе. Однако само по себе возражение, конечно, нельзя считать решающим. Мы слишком мало еще знаем о природе тектонической активно-



Рис. 66. Фотография гигантского кратера на Марсе

сти планет, в частности Марса, чтобы только на этом основании оспаривать справедливость той или иной гипотезы.

- Вулканическая деятельность на Марсе в активной форме пока не обнаружена, однако конические горы вулканического происхождения найдены. Одна из них так велика, что в виде яркой точки видна с Земли («Nix Olimpica» — «снега Олимпа»). Фотографии, полученные с орбиты «Маринера-9», показали, что эта скромная яркая точка представляет собой конус диаметром около 500 км и высотой 20 км, увенчанный огромным кратером. Это самый большой вулкан в Солнечной системе (рис. 66).

Имеется, однако, другой любопытный тип сезонных изменений на поверхности Марса, о котором мы еще пока не говорили. Согласно наблюдениям французского астронома Дольфюса, поляризация света, отраженного от темных марсианских морей, зависит характерным образом от времени года. Интересно, что у марсианских

пустынь этого не наблюдается. Эти изменения поляризации можно попытаться объяснить, предположив, что имеет место рассеяние солнечного света частицами диаметром около 0,1 мкм, причем эти частицы периодически меняют свои размеры или поглотительную способность.

Напрашивается объяснение поляризационных изменений марсианских морей, состоящее в том, что там имеются огромные колонии быстро размножающихся организмов (например, бактерий). К сожалению, это объяснение не единственно возможное. Пожалуй, более вероятно предположение, что поверхность Марса покрыта мелкими твердыми песчинками, увеличивающимися в своих размерах при повышении влажности атмосферы. Пока неясно, как можно объяснить поляризационные измерения Дольфуса в рамках гипотезы Мак Лофлина.

В свое время много шума произвел другой метод для решения вопроса о возможности существования жизни на Марсе. В инфракрасном спектре Марса Синтон как будто обнаружил полосу поглощения в области 3,4—3,7 мкм. Очень интересно, что эта полоса наблюдается только в спектре темных морей и совершенно отсутствует в спектрах пустынь. Известно, что такие полосы поглощения характерны для многих органических соединений. В дальнейшем, однако, выяснилось, что наблюдения Синтона были ошибочны. Но если даже считать, что обнаруженные в спектре Марса полосы в области длин волн 3,4—3,7 мкм действительно принадлежат некоторым органическим молекулам, то отсюда еще нельзя сделать вывод, что на Марсе обнаружена жизнь.

Как мы видели в гл. 13, органические молекулы, пусть даже сложные,—это еще не жизнь. Вполне возможно, что на поверхности Марса имеются органические соединения. Такие соединения могли образоваться, когда на Марсе еще была первобытная атмосфера. Если предположить, что жизнь на Марсе по каким-либо причинам не смогла возникнуть, то это будет означать, что в его атмосфере никогда не было достаточного количества кислорода. Следовательно, не было процессов окисления образовавшихся органических молекул и они могли оставаться как бы в «законсервированном состоянии» до настоящего времени. Правда, такая «консервация» вряд ли была бы возможна, если бы до поверхности Марса доходили губительные ультрафиолетовые лучи Солнца. Имеются все основания полагать, что для ультрафиолетовых лучей марсианская атмосфера значительно прозрачнее земной. Попутно заметим, что при беспрепятственном падении на поверхность Марса ультрафиолетовой радиации *) становится довольно проблематичной сама возможность существования там жизни.

Таким образом, известная сентенция нашего популярного киноактера Филиппова: «Есть ли жизнь на Марсе, нет ли жизни на Марсе — это пока науке неизвестно» — оказывается не такой уж далекой от истины. Правда, вся совокупность изложенных фактов заставляет считать существование живых организмов на этой интереснейшей планете маловероятным. Важнейшее значение имеют, однако, прямые эксперименты на межпланетных автоматических станциях.

В 1976 г. на поверхность Марса были посажены две автоматические лаборатории «Викинг-1» и «Викинг-2». Главной задачей этого выдающегося космического эксперимента было дать ответ на все тот же сакраментальный вопрос: «Есть ли жизнь на Марсе»? С помощью автоматических химических лабораторий был выполнен анализ грунта с целью найти указания на присутствие там микроорганизмов. В частности, важно было узнать, идут ли там процессы фотосинтеза, обмена веществ и усвоения углекислоты — привычные для нас атрибуты жизни. Результаты этих весьма дорогостоящих и широко разрекламированных экспериментов оказались несколько неопределенными. Тем не менее, скорее всего, никаких достоверно

*) В марсианской атмосфере практически отсутствует кислород, а следовательно и озон, который экранирует ультрафиолетовое излучение в области 2000-3000 Å.

установленных признаков жизни в грунте Марса обнаружено не было. Особенно обескураживающими были результаты хроматографического анализа. Этот анализ не обнаружил никаких следов органических соединений — продуктов жизнедеятельности гипотетических микроорганизмов марсианского грунта. Заметим, что такой же прибор при пробах антарктического грунта нашел там значительное количество, ископаемых органических соединений. Даже эти обескураживающие результаты не смогли убедить энтузиастов жизни на Марсе. Они уже договариваются до того, что мол, если в местах посадки «Викингов» никаких следов жизни не обнаружено, то где гарантия, что в других областях Марса ее нет? Против такого «аргумента», однако, можно привести довод чисто экономического характера. Каждый из «Викингов» обошелся в сотни миллионов долларов (стоимость современного радиотелескопа с диаметром зеркала 100 м и со всем дополнительным оборудованием ~ 15 миллионов долларов). Не слишком ли дорогое удовольствие посылать десятки и сотни таких экспедиций?

17. Возможность жизни на других телах Солнечной системы

Нам остается обсудить вопрос о возможности жизни на Венере, а также на некоторых других планетах Солнечной системы. Долгое время Венера рассматривалась астрономами, а больше — литераторами как идеальная обитель жизни.

Казалось бы, все необходимые условия для развития жизни на этой планете имеются. Ее размеры, масса, сила тяжести почти такие же, как и на Земле. Она покрыта пеленой облаков (из-за которых никогда не видна ее поверхность) и окружена мощной (по выражению М. В. Ломоносова, «знатной») атмосферой. Венера купается в лучах Солнца. Ведь поток солнечного излучения через единицу ее поверхности почти в два раза больше, чем на Земле.

Увы, чем больше мы изучаем нашу космическую соседку, тем менее вероятны предположения о наличии там каких бы то ни было форм жизни. Как это ни покажется парадоксальным, исключительно суровые природные условия на поверхности Марса значительно более благоприятствуют развитию там жизни, чем на заведомо теплой (к сожалению, слишком теплой) Венере.

Прежде всего, в последние годы было показано, что Венера вращается вокруг своей оси значительно медленнее Земли и Марса. Проблемой определения периода вращения Венеры астрономы занимаются уже много десятилетий.

Вращение планеты должно вследствие эффекта Доплера приводить к смещению фраунгоферовых линий в спектре отраженного солнечного света. Его величина соответствует периоду вращения около 4 суток. Другой способ сводится к определению скорости перемещения слабых деталей, видимых на ультрафиолетовых фотографиях планеты. Он также дает период около 4 суток. Однако все эти наблюдения относятся к довольно высоким областям атмосферы, около 70 км над поверхностью, и на самом деле дают не скорость вращения твердого тела планеты, а просто среднюю скорость ветра, перемещающего венерианские облака по линиям, приблизительно параллельным экватору. Картина этих движений была довольно детально изучена в результате фотографирования Венеры с близкого расстояния, проведенного на американском космическом аппарате «Маринер-10».

Истинную скорость вращения планеты позволяет определить только радиолокационный метод. Общеизвестно, что таким методом по времени запаздывания отраженного от планеты радиоимпульса можно с большой точностью определить расстояние до нее.

Изучая, однако, характер отраженного сигнала, можно получить еще дополнительную информацию о свойствах планеты. Если посылаемый на Венеру радиоимпульс сосредоточен в очень узком интервале частот (или, как говорят в радиотехнике, является «узкополосным»), то у отраженного сигнала интервал частот, вообще говоря, увеличивается. В самом деле, благодаря вращению планеты примерно половина излучения будет отражаться от той ее стороны, которая в данный момент движется от наблюдателя, а половина — от той стороны, которая движется к наблюдателю. Из-за явления Доплера это приведет к соответствующему уменьшению и увеличению частот отраженного сигнала. Так как мы можем анализировать только полный импульс, отраженный от всей поверхности планеты (а не, скажем, от ее правой части), то, очевидно, интервал частот, в котором сосредоточено отраженное излучение, будет больше, чем у посылаемого радиоимпульса. Он будет тем больше, чем больше скорость вращения планеты.

Именно такие эксперименты были поставлены, начиная с 1961 г., в СССР и США, но первая попытка не привела к однозначным результатам. Было установлено, однако, что период вращения Венеры не менее 10 дней и есть большая ве-

роятность, что этот нижний предел следует поднять до 190 дней. Так как период обращения этой планеты вокруг Солнца равен 225 дням, то можно было ожидать, что периоды вращения вокруг ее оси и обращения вокруг Солнца одинаковы. Именно это наблюдается, например, у Луны. Однако действительность оказалась более «богатой». Тщательные американские и советские радиолокационные наблюдения привели к удивительному результату: направление вращения Венеры обратное (по сравнению с направлением вращения других планет, в частности Земли), а период вращения — 243 дня, причем ось вращения перпендикулярна к плоскости ее орбиты. По этой причине воображаемый наблюдатель, находящийся в каком-нибудь пункте поверхности Венеры, видел бы восход и заход Солнца всего лишь два раза в году (разумеется, венерианском). Ясно, что это не благоприятствует развитию жизни на планете, хотя, конечно, не исключает полностью такую возможность. Любопытно, что во время нижнего соединения (т. е. когда расстояние между Венерой и Землей минимально) Венера повернута к Земле всегда одной и той же стороной.

Любопытно также, что, как сравнительно недавно выяснилось, такой же особенностью обладает и Меркурий. Радиолокационным методом был определен период вращения этой планеты, оказавшийся в точности равным $2/3$ периода его обращения вокруг Солнца.

По-видимому, факт медленного вращения обеих планет имеет глубокое космогоническое значение, т. е. его причина связана с условиями образования и последующей эволюции планет земной группы. Среди прочих гипотез, пытающихся объяснить это необычное явление, обращает на себя внимание одна, высказанная разными авторами. Эта гипотеза частично подкреплена математическими расчетами и, на наш взгляд, заслуживает самого серьезного внимания. Прежде всего требует объяснения чрезвычайно малый период осевого вращения Венеры. Если медленное вращение Меркурия еще можно объяснить действием солнечных приливов, то такое же объяснение для Венеры сталкивается со значительными трудностями. И тут выдвигается гипотеза, что Венеру затормозил... Меркурий, некогда бывший ее спутником!

Наша Земля обладает относительно очень крупным спутником - Луной. По существу, в этом случае можно даже говорить о двойной планете. За миллиарды лет система «Земля — Луна» под влиянием приливов претерпела значительную эволюцию. Было, например, время, когда обе планеты были весьма близки и период вращения Земли исчислялся немногими часами*). Можно полагать, что еще более значительную эволюцию претерпела двойная система «Венера — Меркурий». Так же, как и в случае системы «Земля — Луна» вначале нынешние две внутренние планеты образовали очень тесную пару с быстрым осевым вращением. Из-за приливов расстояние между планетами увеличивалось, а осевое вращение замедлялось. Когда большая полуось орбиты достигла ~500 тыс. км, эта пара «разорвалась», т. е. планеты перестали быть гравитационно связанными. Заметим, что разрыв пары «Земля — Луна» не произошел по причине сравнительно малой массы Луны и большего расстояния до Солнца. Как след этих давно минувших событий, остался значительный эксцентриситет орбиты Меркурия и общность ориентации Венеры и Меркурия в нижнем соединении. Эта гипотеза также объясняет отсутствие спутников у Венеры и Меркурия и сложный рельеф поверхности Венеры, который можно объяснить деформацией ее коры мощными приливными силами от довольно массивного Меркурия.

Недавно с помощью наземных оптических наблюдений было обнаружено, что самая удаленная от Солнца планета Плутон является двойной. Его спутник в пять

*) Любопытно, что анализ срезов кораллов приводит к выводу, что в Девонском периоде в году было ~450 суток.

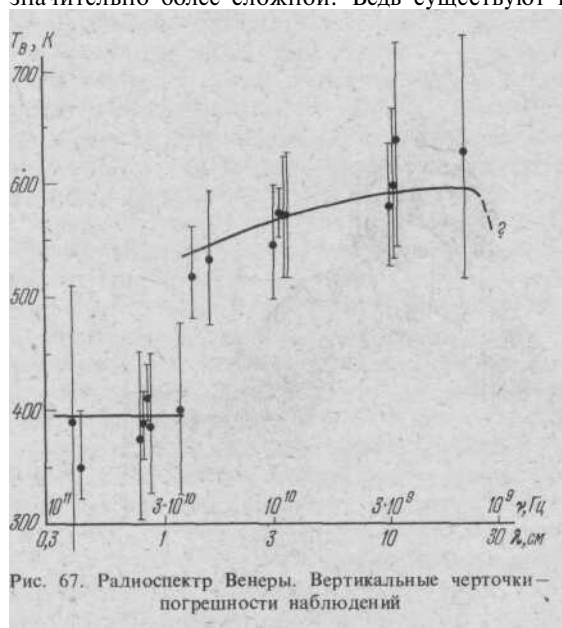
раз меньше Плутона в поперечнике и удален от него на 35000 км, причем период обращения равен семи часам. Не является ли двойственность общим свойством небольших планет, обусловленным условиями их образования? Как же тогда быть с Марсом? И не был ли его спутником гипотетический Фаэтон, якобы оставивший после себя пояс астероидов? Впрочем, мы увлеклись и нам пора вернуться к планете Венере.

Большое значение для проблемы обитаемости Венеры имеет вопрос о температуре ее поверхности. До последнего времени астрономическими методами можно было определить температуру только вершины облачного слоя, сплошной пеленой окутывающего поверхность планеты. Эта температура оказалась довольно низкой: около -40°C . Однако очевидно, что никаких выводов о температуре поверхности Венеры отсюда нельзя сделать. Даже высота облачного слоя над поверхностью планеты была неизвестна.

Крупнейшим достижением радиоастрономии было измерение температуры поверхности Венеры. Такое измерение оказалось возможным потому, что для радиоволн облака этой планеты почти прозрачны. Поверхность планеты, как всякое нагретое тело, излучает электромагнитные волны, в частности радиоволны. Из физики известно, что мощность теплового излучения нагретого тела совершенно определенным образом зависит от его температуры. Поэтому, измерив поток радиоизлучения от планеты, можно в принципе путем простых вычислений найти температуру ее излучающей поверхности. Правда, на практике задача оказывается значительно более сложной. Ведь существуют и другие физические процессы, которые могут привести к довольно

мощному радиоизлучению, например грозовые разряды в атмосфере планеты. Но, производя наблюдения на разных волнах радиодиапазона, можно доказать, что радиоизлучение действительно является тепловым. Это будет верно в том случае, если на всех волнах эквивалентная температура (определяемая по потоку радиоизлучения на соответствующей волне) окажется одинаковой.

На рис. 67 приведены результаты измерений эквивалентной радиотемпературы Венеры на разных волнах. Вертикальные черточки, как обычно, указывают на вероятные погрешности измерений. Кроме того, измерялась зависимость эквивалентной температуры от фазы планеты. Выводы из радио-



астрономических наблюдений Венеры можно сформулировать следующим образом: 1) в очень широком диапазоне длин волн от 1,3 до 20 см эквивалентная радиотемпература Венеры находится в пределах 550—600 К; 2) на миллиметровых волнах эквивалентная температура значительно ниже и близка к 400 К. Переход от одной температуры к другой происходит где-то около длины волны 1,3 см.

Наиболее вероятное объяснение радиоастрономических данных состоит в следующем. На волнах более 1,3 см атмосфера Венеры прозрачна. Поэтому измеренная радиотемпература есть температура поверхности планеты, которая, как оказывается, необыкновенно высока. Уменьшение эквивалентной температуры Венеры

на волнах миллиметрового диапазона объясняется поглощением углекислого газа CO_2 .

Изучение зависимости эквивалентной температуры Венеры от фазы планеты позволило сделать вывод, что разница ночных и дневных температур сравнительно невелика.

Эти результаты оказались для астрономов довольно неожиданными. Однако ничего сверхъестественного в столь высокой температуре Венеры нет. Представим себе, что в атмосфере Венеры содержится газ, сравнительно прозрачный для видимого излучения Солнца и почти непрозрачный для инфракрасного теплового излучения планеты. В этом случае отвод тепла от поверхности планеты будет сильно затрудняться, и даже та относительно небольшая доля солнечных лучей, которая проникает сквозь облачный слой, сможет нагреть поверхность до высокой температуры. Это явление часто называют «парниковым эффектом», хотя этот термин не совсем точно отражает суть дела.

Парниковый эффект создается в результате поглощения в полосах углекислого газа и некоторых других молекул, таких как H_2O , которые в атмосфере Венеры

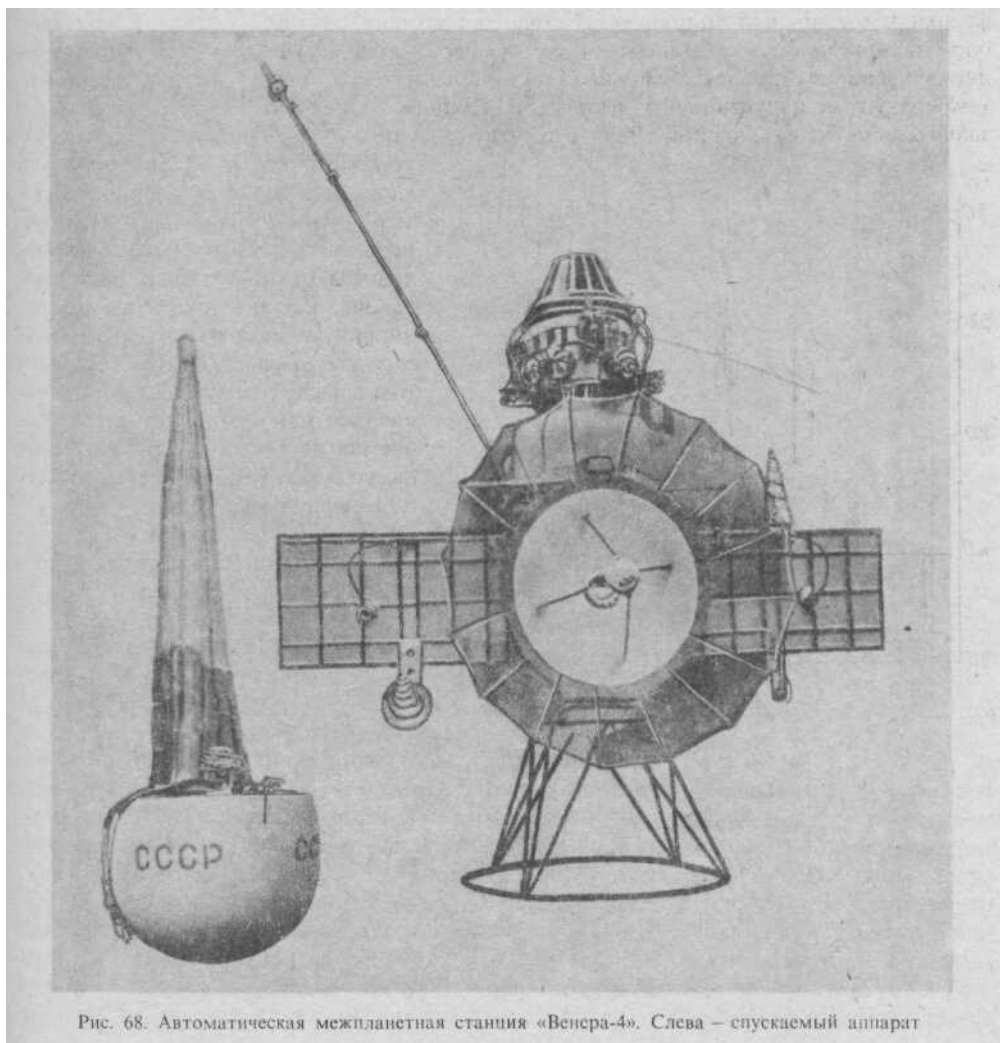


Рис. 68. Автоматическая межпланетная станция «Венера-4». Слева — спускаемый аппарат

присутствуют в сравнительно небольшом количестве, но сильно поглощают инфракрасное излучение.

Выдающиеся результаты были получены на советских автоматических станциях «Венера-4» (рис. 68), «Венера-5» и «Венера-6». Историческое значение имеет мягкая посадка спускаемого аппарата на поверхность Венеры, выполненная во время полета автоматических станций «Венера-7» и «Венера-8». Учитывая очень трудные условия, при которых был осуществлен этот блестящий эксперимент (огромная величина атмосферного давления на Венере, высокая температура), его следует отнести к числу крупнейших достижений современной космонавтики. В процессе мягкой посадки производились прямые измерения основных характеристик венерианской атмосферы — температуры и давления, которые по телеметрическому каналу передавались на Землю. Таким образом удалось получить «разрез» атмосферы этой планеты, что имеет выдающееся научное значение. Американцы также продолжали исследования Венеры с помощью автоматических станций.

В результате мы сейчас достаточно хорошо знаем физические условия в атмосфере и на поверхности этой планеты, бывшей до сравнительно недавнего времени едва ли не самым загадочным членом Солнечной системы. Кратко изложим теперь основные результаты этих исследований.

Атмосфера Венеры на 97 % состоит из молекул углекислого газа CO_2 . Обнаружено некоторое количество водяных паров (около 0,05 % по атмосфере в среднем).

Кроме того, как это следует из последних наземных наблюдений, в атмосфере Венеры обнаружены сравнительно незначительные примеси газов CO (0,01 %), HCl ($6 \cdot 10^{-5}$ %), NF ($5 \cdot 10^{-7}$ %). Очень важным является результат, полученный на советских автоматических станциях: количество молекулярного азота плюс благородные газы не превышает 5 %. Таким образом, эти компоненты атмосферы, столь существенные на Земле, в атмосфере Венеры играют заведомо второстепенную роль.

Давление у поверхности планеты достигает гигантского значения около 100 атмосфер! Измерения на станции «Венера-7» показали, что температура атмосферы у поверхности Венеры около 480 °C. Интересно, что высота тропопавзы и верхней границы облачного слоя Венеры составляет около 70 км. Фотометр, установленный на «Венере-8», показал, что облачный слой хорошо пропускает рассеянное солнечное излучение — освещенность на поверхности всего лишь в несколько десятков раз меньше, чем над облаками.

По-прежнему большой интерес представляет вопрос о составе частиц облачного слоя Венеры. Следует заметить, что, несмотря на все успехи в исследованиях этой планеты, нам пока еще не известно, из чего состоят ее облака. Соблазнительная возможность считать, что частицами, образующими облака Венеры, являются льдинки (так же, как в случае земных облаков), не проходит. Этому противоречат спектральные и поляризационные наблюдения. Было отмечено, что этим наблюдениям удовлетворяет предположение, по которому венерианские облака состоят из сферических частиц, образуемых водным раствором серной кислоты.

1975 год ознаменовался новым выдающимся достижением советской космонавтики. Автоматические межпланетные станции «Венера-9» и «Венера-10» были выведены на орбиту вокруг Венеры и стали искусственными спутниками этой планеты. Спускаемые аппараты этих станций совершили мягкую посадку на поверхность Венеры. Пожалуй, самым впечатляющим результатом этих экспериментов является получение панорамных фотографий поверхности Венеры, отличающихся удивительной отчетливостью. Впоследствии были запущены к Венере и другие советские космические аппараты.

<> В марте 1986 г. завершился проект «Вега» («Венера — Галлей») - самый сложный и результативный в истории советских исследований Солнечной системы

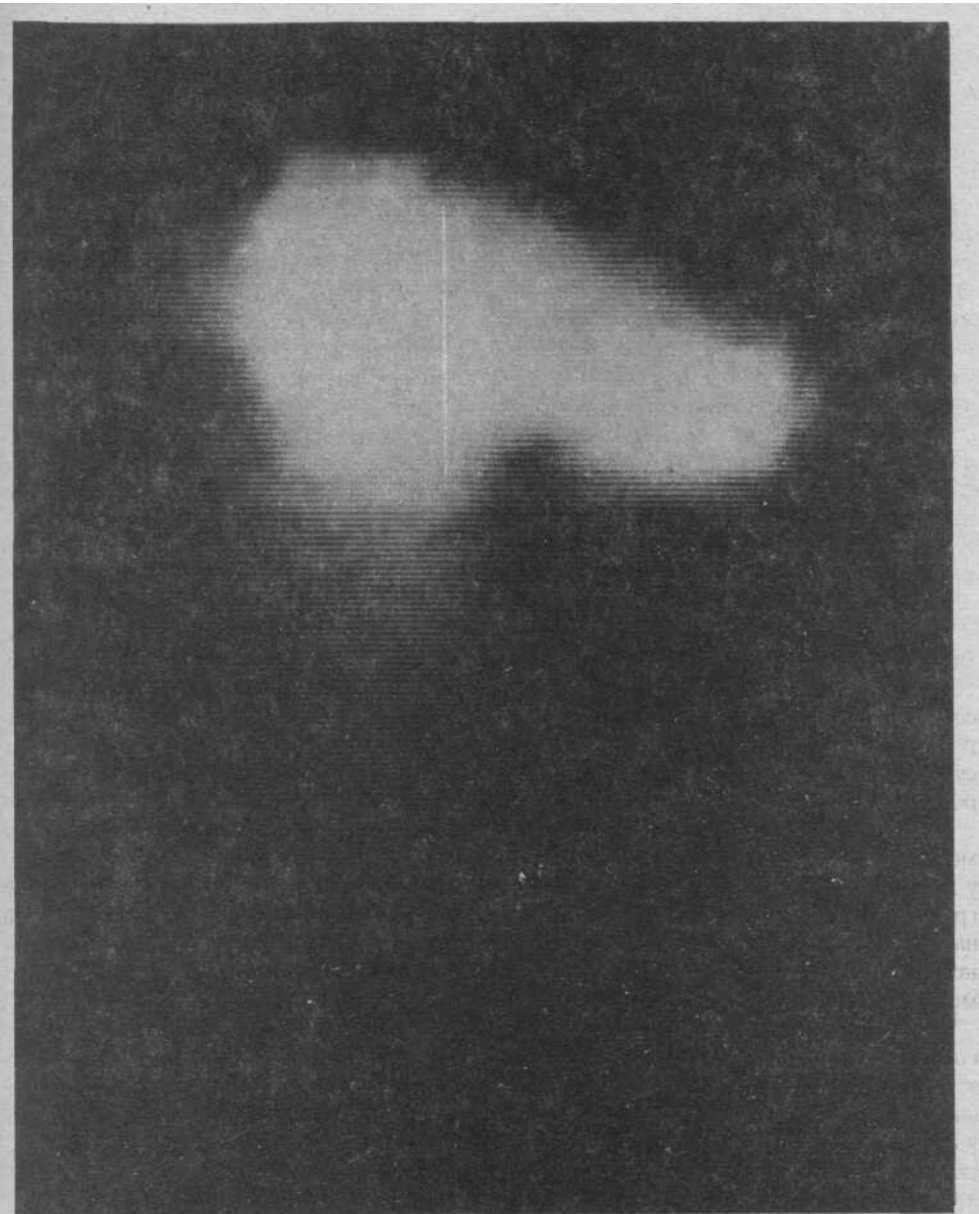


Рис. 69. Изображение ядра кометы Галлея, полученное станцией «Вега-2» с расстояния около 8000 км. Угол фазы (Солнце — объект — аппарат) около 30° . Размер кадра примерно 30×30 км. Скорость пролета относительно ядра была 78 км/с. Мощные пылевые выбросы несколько маскируют поверхность ядра, но детальная фотометрическая обработка позволила определить его форму, размеры, альbedo

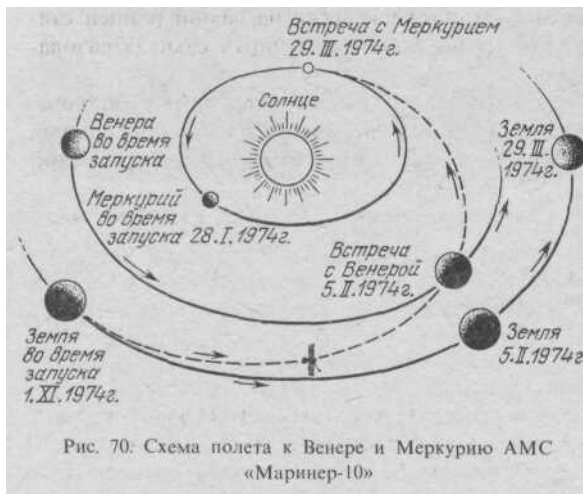
при помощи космических аппаратов. Он состоял из трех частей: изучение атмосферы и поверхности Венеры при помощи посадочных аппаратов; изучение динамики атмосферы Венеры посредством аэростатных зондов (аэростаты были впервые в мире запущены в атмосферу другой планеты); пролет через газопылевую атмосферу (кому) кометы Галлея и детальное изучение ее ядра. Научный руководитель

проекта «Вега» — академик Р. 3. Сагдеев. Станция «Вега-1» совершила пролет через кому 6 марта 1986 г., а станция «Вега-2» — 9 марта.

Научные организации многих стран (СССР, Австралии, НРБ, ВНР, ГДР, ПНР, Франции, ФРГ) участвовали в разработке научных приборов для «Веги», а также систем обеспечения научных экспериментов на борту и на Земле. Впервые в наших космических проектах возможности международной кооперации были использованы столь широко.

По каждому из трех направлений, о которых говорилось выше, были получены интереснейшие результаты. Самое любопытное среди них — это физические характеристики ядра кометы Галлея. Ядра комет — их центральные тела — наблюдались до сих пор с Земли только как звездообразные объекты на большом расстоянии от Солнца (~ 10 а. е.), когда активность кометы отсутствовала, да и таких наблюдений было очень мало. Во время пролета аппаратов «Вега-1» и «Вега-2» впервые ядро кометы исследовалось как пространственно-разрешенный объект; были определены его структура, размеры, инфракрасная температура. С помощью этих аппаратов были произведены оценки состава ядра и характеристики поверхностного слоя. Ядро кометы Галлея — это монолитное тело неправильной формы: его большая ось равна 14 км, а малая — около 7 км (рис. 69). Ядро покидает около 10^{30} молекул воды в секунду. Это означает, что испарение идет по всей поверхности, следовательно, состоит оно из льда. Вместе с тем поверхность черная (альbedo около 5 %) и горячая (яркостная температура более 375 К). Эта, казалось бы, противоречивая картина укладывается в простую модель — так называемую модель «мартовского сугроба»: лед отделен от внешнего пространства слоем черного пористого вещества с низкой теплопроводностью. Этот слой принимает солнечное излучение, часть его переизлучает в инфракрасном диапазоне, часть передает еще и ледяному конгломерату. Молекулы H_2O , образующиеся в результате испарения последнего, диффундируют вверх и покидают комету. При этом они отрывают отдельные частицы от поверхностного слоя, и к потоку газа добавляется поток пыли. Поверхностный слой в отдельных местах поверхности время от времени взламывается (если слой становится слишком толстым и поры закупориваются); тогда образуется активная область с мощным истечением вещества. Толщина пористого слоя невелика (~ 1 см), он очень быстро обновляется — верхний слой «сдвигается», а снизу налипают новые частицы. Характерное время полного обновления слоя — около суток.

Исследование кометы Галлея, проведенное на аппаратах «Вега», позволило сделать выбор среди нескольких обсуждавшихся ранее моделей кометного ядра —



монолит, группа нескольких крупных тел, рой частиц — в пользу первой из них и существенно ее уточнить. Грубая схема приобрела черты живого природного явления. Оказалось, например, что в состав кометного ядра входят органические соединения. В принципе это не так уж удивительно, если вспомнить, что радиоастрономы нашли множество органических молекул в межзвездной среде <>.

Большой вклад в изучение ближайших к Солнцу планет — Венеры и Меркурия — был сделан запущенной в 1973 г. американской автоматической станцией

«Маринер-10». Очень интересна орбита этого объекта. Аппарат был выведен на орбиту полета к Венере и пролетел от нее на расстоянии около 6000 км. При этом притяжение Венеры снизило орбитальную скорость «Маринера-10», в результате чего он попал на орбиту Меркурия (рис. 70). С тех пор он три раза проходил вблизи Меркурия, причем зимой 1974—1975 гг. на рекордно малом расстоянии около 200 км. Впервые были получены и переданы на Землю сотни изображений поверхности планеты исключительно высокого качества (см. рис. 70).

Первое впечатление от этих фотографий такое, будто на них изображена Луна. Поверхность Меркурия испещрена кратерами. Изучение кратеров Луны, Марса и Меркурия позволяет сделать вывод, что все они образовались примерно в одну эпоху, удаленную от нас на 4,5 миллиарда лет. Отсюда вытекают важные для планетной космогонии следствия. Например, можно сделать вывод, что на Меркурии никогда не было достаточно плотной атмосферы, способной сгладить рельеф его поверхности. Не было и мощных тектонических процессов, действующих в том же направлении. Поражают перепады температуры Меркурия: на ночной стороне она составляет -175°C , на дневной $+275^{\circ}\text{C}$. Впрочем, этот факт астрономам был известен уже давно по наблюдениям с поверхности Земли.

Весьма интересные фотографии облачного слоя Венеры в ультрафиолетовых лучах были получены «Маринером-10» во время его сближения с Венерой. Кроме подтверждения периода движения этих облаков в 4 суток (см. выше), был обнаружен совершенно новый феномен, получивший название «Око Венеры». Эта деталь всегда находится вокруг точки поверхности планеты, лежащей на прямой, соединяющей ее центр и Солнце. На фотографии это «око» видно как темное пятно. «Око» состоит из мощных потоков атмосферы, которые создают огромную зону высокого давления. Можно полагать, что энергия потоков атмосферы (берущаяся, в конечном итоге, из солнечной энергии) через «око» распределяется путем циркуляции по всей планете. Если это так, то причиной высокой температуры поверхности планеты может быть не «парниковый эффект», а «венерианская метеорология», неизмеримо более мощная, чем земная. Интересно, что в самых глубоких слоях атмосферы Венеры скорость движения воздушных масс очень мала. Именно по этой причине гористый рельеф Венеры (установленный методами радиолокации) до сих пор не «сглажен». Таким образом, причина высокой температуры поверхности Венеры пока еще не совсем ясна.

Похоже, что описанные только что природные условия на поверхности нашей космической соседки исключают возможность существования там каких бы то ни было форм жизни. Например, никакие белковые соединения при таких условиях существовать не могут. Наконец, отсутствие гидросферы даже на самой ранней стадии формирования планеты должно было чрезвычайно затруднить само образование первых примитивных живых существ.

Как это ни может показаться парадоксальным, в настоящее время большие планеты и особенно их спутники можно считать значительно более подходящими для жизни, чем Венера. В частности, такого мнения придерживается американский планетолог Саган.

Простые органические соединения могли синтезироваться в атмосферах больших планет, во многих отношениях напоминающих первичную атмосферу Земли. В качестве внешнего «стимулятора» для такого синтеза можно предположить либо электрические разряды, либо ультрафиолетовое излучение Солнца. Радиоастрономические наблюдения дают некоторые указания на наличие мощных электрических разрядов в атмосфере Юпитера.

Довольно часто на сравнительно длинных волнах (15—20 м) гигантская планета дает мощные «вспышки» радиоизлучения длительностью в несколько секунд. Возможно (хотя это и не доказано), что такое излучение связано с грозовыми разрядами огромной мощности. Атмосфера Юпитера охвачена бурными конвективны-

ми движениями. Образующиеся органические молекулы могут опускаться поэтому на довольно значительную глубину. Возможно, что температурные условия там более подходящие для синтеза сложных органических соединений, чем на более высоких уровнях атмосферы, в частности над плотным облачным слоем, образующим видимую поверхность Юпитера. Очевидно, что на некоторой глубине температура атмосферы должна лежать в пределах $0 \div +50^{\circ}\text{C}$, т. е. быть примерно такой же, как на Земле.

До недавнего времени Марс и его система спутников являлись самыми удаленными от Солнца объектами, которые исследовались «прямыми» методами при помощи космической техники. Но вот в начале марта 1972 г. с американского космодрома имени Кеннеди была запущена автоматическая межпланетная станция «Пионер-10». Пролетев за 21 месяц свыше миллиарда километров, эта станция 4 декабря 1973 г. прошла на минимальном расстоянии 130000 км от Поверхности Юпитера (вернее, от густого слоя облаков, закрывающих поверхность этой гигантской планеты). При осуществлении этого полета пришлось преодолевать значительные трудности. Например, из-за того, что Юпитер удален от Солнца в 5,2 раза больше, чем Земля, поток солнечного излучения там в 27 раз меньше. Это заставило организаторов полета отказаться от солнечных батарей — основного источника энергии на борту «марсианских» и «венерианских» автоматических межпланетных станций. Вместо этих батарей на борту «Пионера-10» были установлены два радиоизотопных термоэлектрических генератора мощностью 140 Вт, которые непрерывно и безотказно работали.

Одним из важнейших результатов полета «Пионера-10» было преодоление разного рода опасностей, связанных с некоторыми неприятными областями околоземного космоса. Прежде всего определенное беспокойство вызывало прохождение этого аппарата через пояс астероидов, где частота метеорных ударов могла быть угрожающе высока. Но все обошлось благополучно, и космонавты будущего это, конечно, учтут. Учёные также выражали сомнения, смогут ли приборы «Пионера-10» выдержать ожидаемую огромную интенсивность радиационных поясов гигантской планеты. Эти опасения были не напрасны. Уже на расстоянии 700000 км от планеты установленные на борту «Пионера-10» приборы стали указывать на весьма быстрый рост уровня радиации, который удваивался через каждые десять часов. Уровень жесткой радиации почти достиг предельно допустимого значения, но все же приборы не вышли из строя.

Существование мощных радиационных поясов Юпитера установлено было свыше 15 лет назад из анализа радиоастрономических наблюдений этой гигантской планеты. Полет «Пионера-10» позволил существенно уточнить характеристики этих поясов, несравненно более мощных, чем околоземные. Приборы, установленные на этом аппарате, позволили измерить магнитное поле Юпитера, среднее значение которого 4 Э. Очень интересна структура этого поля. На самом деле там имеются два магнитных поля: одно типа земного («дипольное»), но только несимметричное по отношению к телу планеты, и второе, связанное с его мощными радиационными поясами. Взаимодействие быстро вращающейся магнитосферы Юпитера с солнечным ветром приводит к ускорению заряженных частиц до весьма высоких энергий. Эти частицы могут попадать даже во внутренние области Солнечной системы.

Хотя специальных телевизионных камер на борту «Пионера-10» не было, с помощью особого сканирующего радиолокационного устройства по телеметрическому каналу была передана информация, позволившая с исключительной четкостью получать цветные изображения облачного слоя, покрывающего Юпитер. Качество этих изображений несравненно лучше полученных на лучших земных телескопах. С большой детальностью было получено изображение знаменитого «красного пятна», было открыто несколько меньших «красных пятен», а также масса других деталей, которые весьма быстро меняются со временем. Вообще, весь

облачный слой Юпитера охвачен бурными движениями, связанными с переносом большого количества энергии.

Установленный на «Пионере-10» ультрафиолетовый спектрометр позволил по измеренным спектральным линиям определить химический состав атмосферы гигантской планеты. Оказалось, что на 82 процента (по числу атомов) она состоит из водорода, на 17 процентов из гелия и только 1 % дают все остальные элементы вместе взятые, которые входят в состав разных химических соединений. Химический состав атмосферы Юпитера до удивления похож на солнечный и резко отличается от земного. Сходство со звездой — Солнцем — еще более усиливается по Следующей причине. Несколько лет назад было установлено, что в далекой инфракрасной области спектра Юпитер излучает в 2,5 раза больше энергии, чем получает от Солнца во всем спектре, в том числе и в видимой его части. Следовательно, в отличие от остальных планет, Юпитер есть «самосветящееся» космическое тело. Источником энергии излучения Юпитера скорее всего является его непрерывное сжатие. Подсчеты показывают, что для этого достаточно сжиматься на 1 миллиметр в год. Таким образом, строго говоря, Юпитер является не планетой, а маленькой протозвездой (см. гл. 4).

Подобно Земле, Марсу и Венере Юпитер окружен водородной «короной», простирающейся вплоть до орбиты его ближайшего большого («галилеевского») спутника Ио. Этот спутник, так же как и другой, называемый Ганимедом, имеет атмос-

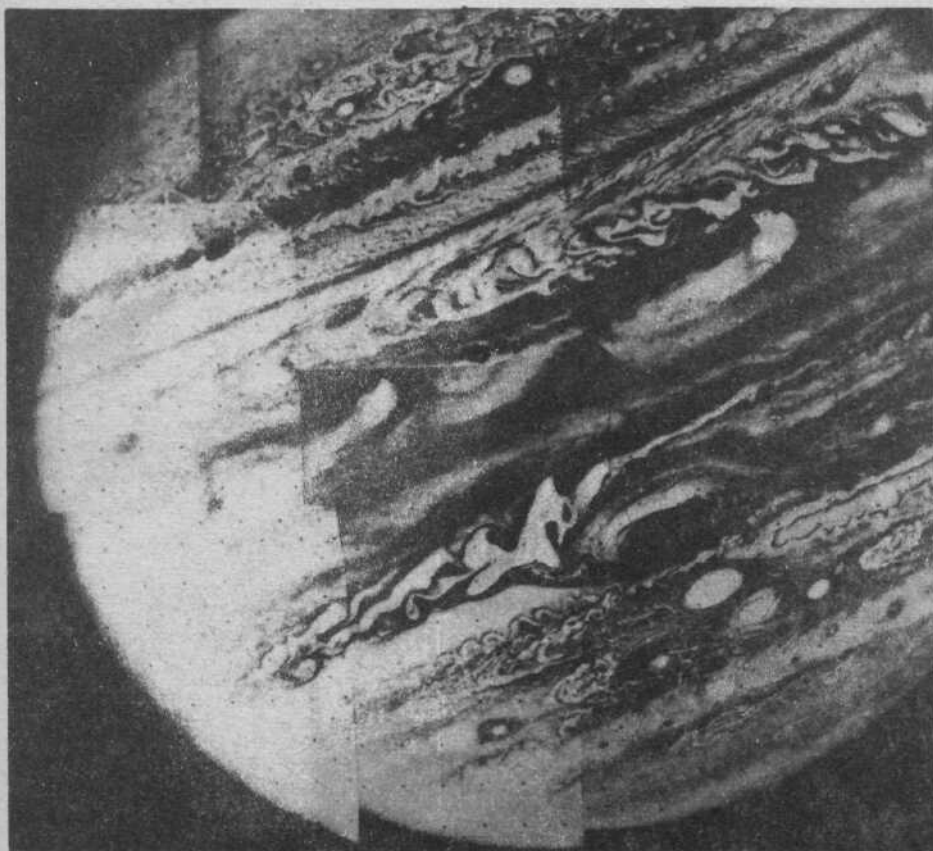


Рис. 71. Фотография Юпитера, полученная АМС «Вояджер-2»



Рис. 72. Кольцо Юпитера (фотография получена АМС «Вояджер-2»)

феру, плотность которой в миллион раз меньше земной. Спутник Ио замечателен еще тем, что сильно влияет на мощность всплесков длинноволнового радиоизлучения Юпитера (см. выше). Он как бы выполняет функции «космического громоотвода». Наблюдения с борта «Пионера-10» позволили уточнить массу Ио, которая составляет 1,22 массы Луны.

Через год после «Пионера-10» был запущен «Пионер-11» с той же научной программой, которая была успешно выполнена после сближения его с Юпитером в декабре 1974 г. В отличие от «Пионера-10», который силой юпитерова притяжения будет выброшен за пределы Солнечной системы и в 1987 г. пересечет орбиту Плутона (см. гл. 19), «Пионер-11» осенью 1979 г. прошел через систему Сатурна, между поверхностью этой планеты и ее знаменитым кольцом. Об этом будет сказано немного дальше.

Выдающиеся результаты были получены в 1979 г. на двух межпланетных автоматических станциях «Вояджер». Поражают воображение великолепные фотографии Юпитера, в том числе его знаменитого Красного пятна (рис. 71). Сенсационным было открытие кольца вокруг Юпитера (рис. 72), состоящего, как и кольцо Сатурна, из огромного количества мелких твердых частиц. В этой связи



Рис. 73. Вулканы на спутнике Юпитера Ио: слева — на лимбе, справа — на терминаторе, внизу — схематический рисунок извержения вулкана на Ио (АМС «Вояджер-2»)

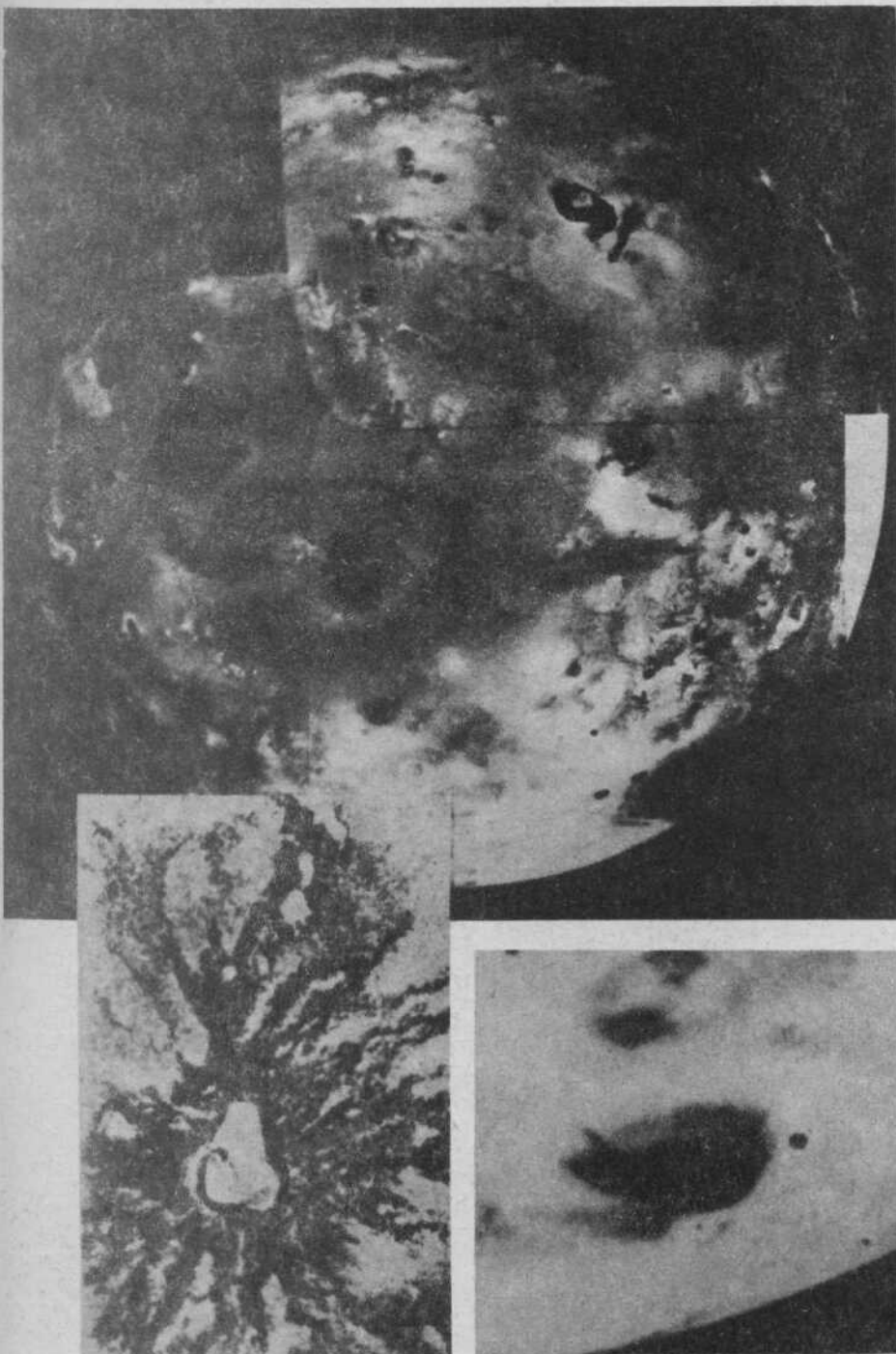


Рис. 74. Фотография спутника Юпитера Ио и деталей его поверхности (АМС «Вояджер-2»)

заметим, что существование кольца вокруг Юпитера несколько лет назад было предсказано советским астрономом С. К. Всехсвятским. К этому выводу он пришел, анализируя старые фотографии Юпитера, на которых одна экваториальная полоса (меняющаяся со временем) была истолкована им как тень от кольца. Никто, однако, к этой работе серьезно не отнесся...

Но, пожалуй, самым выдающимся результатом, полученным на «Вояджерах», является обнаружение действующих вулканов на Ио — самом внутреннем из галактических спутников Юпитера (рис. 73 и 74). Этот спутник обращается вокруг гигантской планеты в ее мощной магнитосфере, что и определяет целый ряд его особенностей. На «Вояджере-2» были получены великолепные фотографии и других галилеевых спутников (рис. 75, 76 и 77).

В начале сентября 1979 г. после 6 1/2 лет полета через систему Сатурна прошла знаменитая автоматическая межпланетная станция «Пионер-11», о которой речь шла выше. На этой станции были получены уникальные фотографии колец Сатурна, в частности, была открыта новая система колец. Выяснилось, наконец,

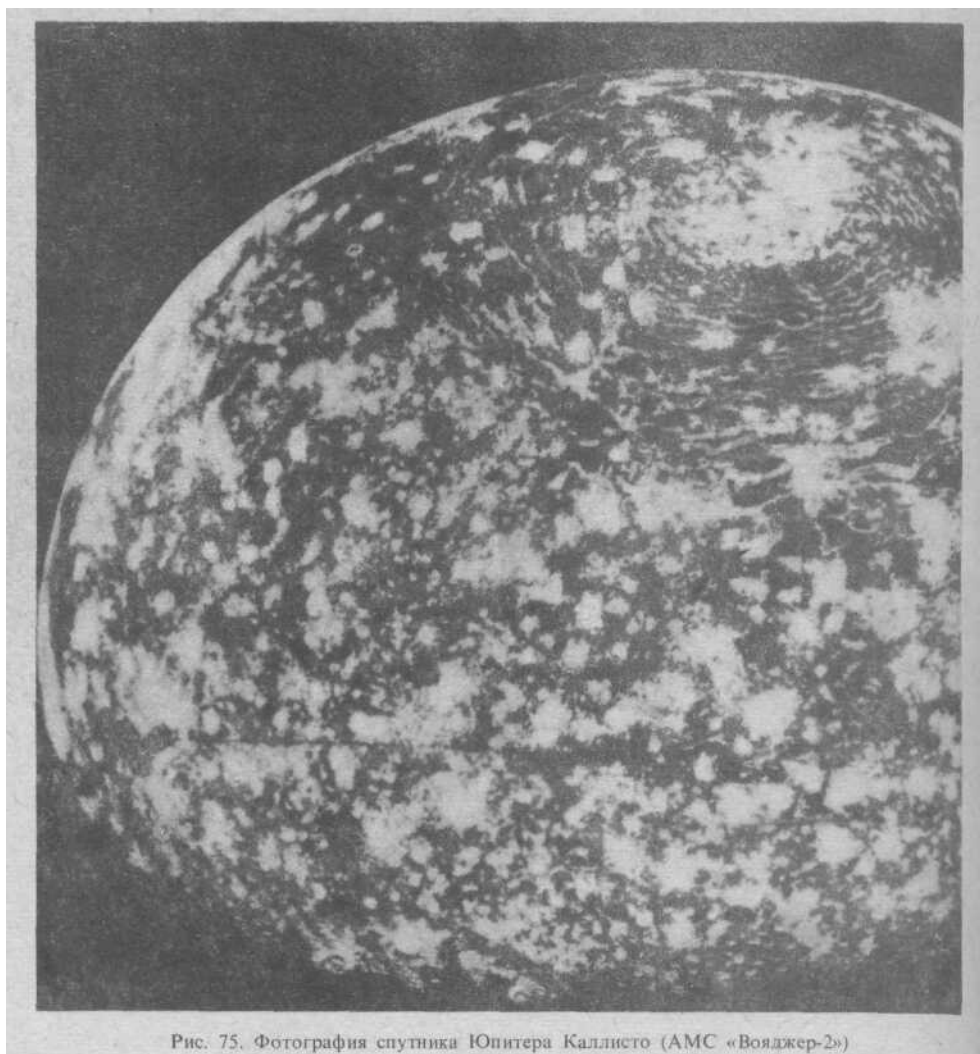


Рис. 75. Фотография спутника Юпитера Каллисто (АМС «Вояджер-2»)

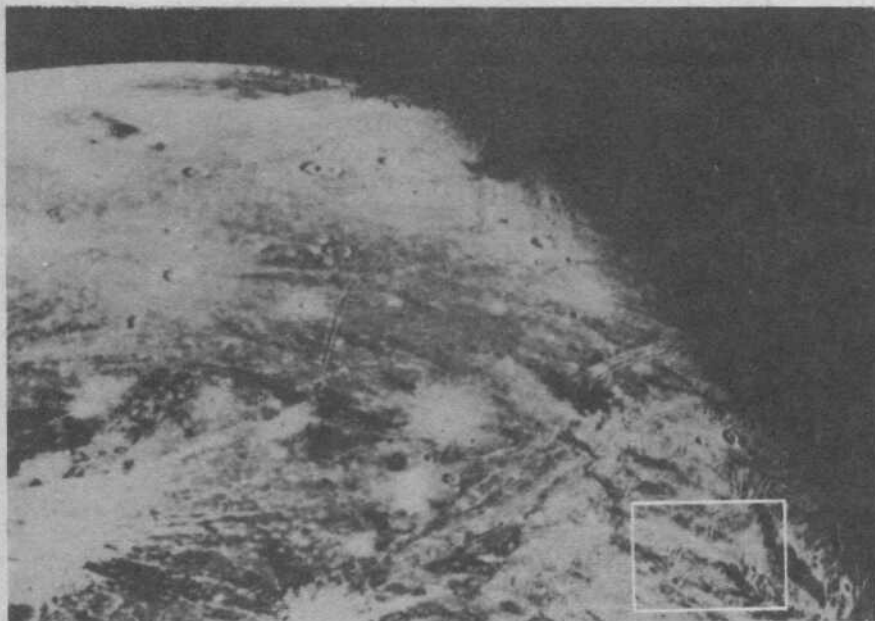


Рис. 76. Фотография спутника Юпитера Ганимед и деталей его поверхности (АМС «Вояджер-2»)

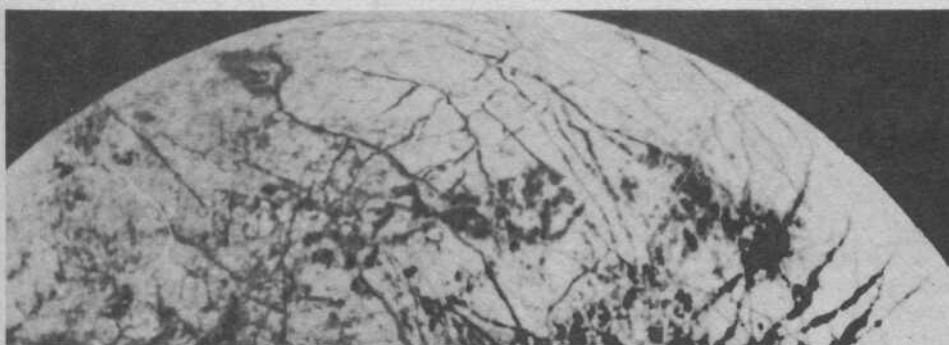


Рис. 77. Фотография спутника Юпитера Европа (АМС «Вояджер-2»)

что кольца Сатурна состоят из мелких кусочков льда размерами ~ 1 см. Еще был открыт новый маленький спутник. Особый интерес представляет проведенное на «Пионере-11» исследование атмосферы крупного спутника Сатурна — Титана. Наконец, было доказано, что Сатурн подобно Юпитеру излучает в инфракрасных лучах примерно в два раза больше энергии, чем получает от Солнца. Это означает, что Сатурн имеет свой внутренний источник энергии, который, несомненно, связан с непрерывным сжатием этой гигантской планеты. «Пионер-11», честно поработав для науки, уходит из нашей Солнечной системы в межзвездное пространство, неся на себе весточку о нашей цивилизации (см. гл.19).

Не исключено, что образующиеся в атмосфере Юпитера (а также других больших планет) органические соединения должны растворяться в аммиачных или водяных капельках, из которых состоят нижние ярусы облаков.

Представляет определенный интерес обсуждение возможности жизни на аммиачной основе. Оказывается, что можно провести далеко идущую аналогию между процессами растворения в аммиаке и воде, а также между «аммиачными» органическими соединениями и «обычными», являющимися основой живого вещества на Земле, где «жизненной средой» была вода. Температура плавления аммиака достаточно высокая. То же следует сказать и о температуре кипения. У аммиака высокая удельная теплоемкость и достаточно большая (хотя и меньшая чем у воды) диэлектрическая постоянная. Он является очень хорошим растворителем. Все перечисленные свойства жидкого аммиака делают его потенциально способным при некоторых условиях сыграть роль «жизненной среды», подобно воде на заре возникновения жизни на нашей планете.

Можно установить полное соответствие между «обычными» солями и органическими соединениями, с одной стороны, а «аммиачными» — с другой. Оказывается, что для этого надо заменить ион O^- на аминную группу NH^- , а ион гидроксид-иона OH^- на амин NH_2 . При такой замене, например, муравьиной кислоте $HCOOH$ будет соответствовать соединение $HCNHNH_2$, а метилому эфиру CH_3OCH_3 — соединение CH_3NHCH_3 . На аммиачной основе таким способом можно построить аналоги «обычных» аминокислот, а затем сколь угодно сложные аналоги всевозможных белковых соединений. Вполне допустимы аммиачные аналоги нуклеиновых кислот, пуринов и пиридинов. Наконец, можно представить аналоги ДНК и РНК с их кодом наследственности.

Аналогом окисления при такой «аммиачной» жизни является присоединение ионов NH_4^+ или N^+ , в то время как конечным продуктом жизнедеятельности вместо воды и углекислого газа будет аммиак и циан. Таким образом, можно сказать, что гипотетические аммиачные организмы «пьют» аммиак и «дышат» азотом, в то время как земные «водные» организмы пьют воду и дышат кислородом...

Не будем фантазировать, как могут выглядеть аммиачные организмы. Это во всяком случае преждевременно. В результате спектроскопических исследований Юпитера был обнаружен водяной пар в его атмосфере, так что необходимость в подобных фантазиях может быть не столь уж велика. Мы хотели бы только подчеркнуть, что современной науке не противоречит гипотеза о возможном существовании примитивных организмов на больших планетах, хотя, по мнению автора, вероятность того, что эта гипотеза справедлива, весьма мала, если не равна нулю.

В заключение этой главы нужно сказать хотя бы несколько слов об открытии сложных органических соединений внутри некоторых метеоритов. Среди каменных метеоритов иногда наблюдаются так называемые «углистые хондриты». Они составляют примерно 1 % от всех каменных метеоритов. У этих метеоритов отмечаются повышенное содержание углерода (до 3 %). Кроме того, углистые хондриты богаты серой, водой и некоторыми другими сравнительно легко испаряющимися веществами. Именно в таких хондритах еще в первой половине XIX в. бы-

ли обнаружены органические вещества. В настоящее время в составе некоторых углистых хондритов обнаружены довольно сложные органические соединения: высокомолекулярные парафиновые углеводороды и жирные кислоты. В 1960 г. из одного метеорита было выделено весьма сложное органическое соединение, подобное цитозину. Известно, что цитозин входит в состав молекулы ДНК. Большой интерес вызвал тонкий химический анализ метеорита, упавшего в Австралии в 1969 г. Среди углеводородных соединений, обнаруженных внутри этого «космического гостя», следует отметить 16 видов аминокислот. Из них пять относятся к числу тех 20 видов, из которых «конструируются» живые белки, а 11 — из числа тех 80, которые в состав земных белков не входят. Очень существенно, что среди обнаруженных аминокислот одна половина имеет «левую» асимметрию, а другая — «правую» (см. гл. 13). Так как все «живые» молекулы аминокислот на нашей планете имеют «левую» асимметрию, ясно, что их «космические сестры», обнаруженные в австралийском метеорите, имеют небιологическое происхождение. Вместе с тем это очевидное доказательство того, что обнаруженные в метеорите аминокислоты действительно синтезировались в космосе, а не являются результатом загрязнения космического гостя земным веществом, так как в последнем случае наблюдалась бы только «левая» асимметрия.

Неоднократно появлялись сообщения об обнаружении в углистых хондритах включений овальной формы, имеющих внешнее сходство со спорами водорослей. При облучении ультрафиолетовым цветом эти включения люминесцировали. Кроме того, при применении особых реактивов, используемых для выявления веществ «биологического» происхождения, они окрашивались.

По этим признакам некоторые исследователи считали (и считают) эти включения окаменевшими остатками микроорганизмов. Появились даже гипотезы, объясняющие их происхождение. Бернал, например, считал, что мыслимы две гипотезы, объясняющие это явление.

Согласно первой гипотезе, метеорит некогда был выброшен с поверхности планеты, на которой была жизнь. Не совсем тривиальна вторая гипотеза. Некогда, полагал Бернал, вместе с земной пылью при вулканическом извержении в межпланетное пространство могли быть выброшены микроорганизмы и споры. Блуждая в Солнечной системе, такие пылинки могли «прилипнуть» к какому-нибудь метеориту и вместе с ним вернуться на свою «родину» — Землю.

Что можно сказать по поводу изложенного? Прежде всего, никак нельзя считать доказанным, что обнаруженные в некоторых углистых метеоритах маленькие включения действительно являются отпечатками микроорганизмов. Одно только морфологическое сходство, конечно, не может быть основанием для такого вывода. Вполне возможно, что эти включения представляют собой минералы или высокомолекулярные углеводороды абиогенного происхождения. Нельзя также полностью исключить возможность «загрязнения» метеоритов после их падения земными микроорганизмами. Такие загрязнения могут возникнуть в процессе микробиологического исследования метеоритов.

В последние годы как в американской, так и в советской печати появилось несколько сенсационных сообщений об «открытии» в углистых метеоритах живых микроорганизмов. Так, например, Банриев и Мамедов «обнаружили» в железном Сихотэ-Алинском метеорите особую разновидность живых бактерий. Однако скоро выяснилось, что это «открытие» является недоразумением и что эксперименты были поставлены исследователями неграмотно. Всегда следует помнить, что в истории науки известно много случаев, когда желаемое принималось за действительное. Не случайно старая китайская поговорка гласит: «Если ты очень ждешь друга — не принимай стук своего сердца за топот копыт его коня»...

Впрочем, история науки знает и другое. Например, долгие десятилетия официальная наука не признавала, что с неба могут падать камни. Но, во всяком

случае, тщательное изучение и скрупулезная проверка фактов при всех условиях совершенно необходимы.

Допустим теперь (хотя это и представляется нам крайне маловероятным), что отпечатки микроорганизмов в метеоритах действительно имеют космическое происхождение. Мы не будем обсуждать здесь первую гипотезу Бернала, которая нам кажется столь же маловероятной, как и тривиальной. Значительно больший интерес представляет вторая его гипотеза.

Можно ли представить выбрасывание из Земли в космическое пространство отдельных зародышей жизни? Совершенно очевидно, что этот вопрос имеет самое прямое отношение к гипотезе панспермии. Поэтому мы коротко коснемся современного состояния этой гипотезы.

Как известно, еще в 1907 г. известный шведский химик Сванте Аррениус высказал предположение, что жизнь на Земле не возникла из неживой субстанции, а была занесена в виде спор микроорганизмов из других миров. Такие споры могут как угодно долго выносить холод космического пространства. Для них не страшен господствующий там высокий вакуум. Под воздействием светового давления споры могут совершать грандиозные космические путешествия — от планеты к планете и от звезды к звезде. Попадая при благоприятных условиях на какую-нибудь подходящую планету, они оживают и дают начало жизни на ней.

Против гипотезы панспермии в том виде, в каком она была сформулирована, выдвигался ряд возражений преимущественно философского характера. Между тем сама по себе эта идея никоим образом не противоречит философии материализма. Почему обязательно надо считать, что жизнь на Земле возникла из неживой субстанции, а не была занесена в виде спор? Более того, исходя из представления о множественности обитаемых миров, вполне логично исследовать вопрос об обмене живыми организмами между планетами, об «опылении» одной планеты другой. Только научный анализ этой проблемы с привлечением новейших результатов, полученных в астрономии, биологии и сопредельных с ними науках, позволит отменить или «утвердить в правах гражданства» гипотезу панспермии.

Попытка такого анализа была сделана Саганом. Он считает, что отдельные микроорганизмы могут быть выброшены за пределы планеты электрическими силами. В случае, если размеры микроорганизмов находятся в пределах 0,2—0,6 мкм (т. е. близки к длинам волн видимого света), давление излучения звезды выбросит их за пределы данной планетной системы. Такие малые размеры имеют споры и вирусы. Световое давление от звезды не сможет «выталкивать» организмы как больших, так и меньших размеров. В конечном итоге, из-за совместного действия гравитационного притяжения и светового давления звезды такие организмы выпадут на ее поверхность (это известное «явление Пойнтинга — Робертсона» *).

Согласно вычислениям Сагана, выброшенные из Земли споры могут достигнуть орбиты Марса уже через несколько недель, орбиты Нептуна — через несколько лет, а до ближайших к нам звезд они долетят за несколько десятков тысяч лет. Чтобы пересечь Галактику, им потребуется несколько сотен миллионов лет. Мы полагаем, однако, что в последнем случае сроки будут значительно больше вычисленных Саганом. Он исходит из того, что споры в межзвездном пространстве движутся почти прямолинейно со средней скоростью в несколько десятков километров в секунду. В действительности споры должны двигаться так же, как и частицы межзвездной пыли, к которым они близки по размерам и массе.

*) Вследствие абберации света сила светового давления на движущееся тело будет иметь составляющую, направленную против движения, что приведет к непрерывному торможению сил. Это и есть эффект Пойнтинга — Робертсона. По этой причине, например, обращающиеся вокруг Солнца пылинки, размеры которых больше 0,5 мкм, будут непрерывно выпадать на Солнце. Для частиц, размеры которых меньше 0,5 мкм (но больше 0,2 мкм), сила светового давления превышает силу гравитационного притяжения. Такие частицы будут выталкиваться за пределы Солнечной системы.

Межзвездные пылинки движутся вместе с межзвездным газом, плотность которого примерно в 100 раз больше, чем пыли. Движение же облаков межзвездного газа носит беспорядочный, нерегулярный характер. Такие облака, продвинувшись, на расстояние в несколько десятков световых лет, могут резко изменить направление своего движения и даже слиться с другими облаками. В таких условиях движение спор (так же как и межзвездных пылинок) будет похоже на беспорядочное движение малых частиц в некоторых растворах (так называемое «броуновское движение»). Вычисления показывают, что для того, чтобы переместиться на расстояние 1000 световых лет (это примерно 1/20 размеров Галактики), споре потребуется несколько сотен миллионов лет, а для перемещения через всю Галактику — сотни миллиардов лет, что в ~10 раз превышает возраст нашей звездной системы.

Спорам, путешествующим по межпланетным и межзвездным пространствам, грозят большие опасности. Аррениус не учитывал, например, радиационную опасность, что вполне естественно для его времени. Между тем этот вопрос для всей концепции панспермии может иметь решающее значение. В пределах планетных систем основной опасностью является ультрафиолетовое излучение центральной звезды, длина волны которого меньше 0,3 мкм. Такое излучение губительно для микроорганизмов. Подсчеты, аналогичные выполненным в гл. 13, показывают, что микроорганизмы получают смертельную дозу излучения еще задолго до того, как они достигнут орбиты Марса. Исходя из этих соображений, Саган приходит к любопытному выводу, что обмен живыми микроорганизмами может быть только между планетами, достаточно удаленными от их солнца. Например, в нашей Солнечной системе живые споры могут переноситься от Урана к Нептуну.

Что касается выбрасывания спор за пределы планетных систем, то разные звезды в этом отношении имеют весьма различную эффективность. Например, у карликовых сравнительно холодных звезд световое давление совершенно недостаточно для того, чтобы выбросить микроорганизмы в межзвездное пространство. С другой стороны, имеются основания полагать (см. гл. 10), что около сравнительно горячих массивных звезд планетных систем нет. Таким образом, «активные» звезды заключены в довольно узких спектральных пределах — приблизительно от F2 до G5.

Из-за губительного ультрафиолетового излучения Солнца в настоящее время жи и в ы е споры космического происхождения не могут, по-видимому, выпадать на Землю*). Можно, однако, предположить, что в первоначальный период существования нашей планеты ультрафиолетовое излучение Солнца имело значительно меньшую интенсивность, чем сейчас. Выдвинув такую гипотезу, Саган получил интересный результат. Чтобы в течение первого миллиарда лет своей истории Земля получила только одну спору из космоса, нужно считать, что каждая из звезд Галактики (а их примерно 10^{11}) имеет обитаемую планету и что за миллиард лет каждая планета выбрасывает в космос 1 т спор. Разумеется, эти числа можно варьировать. Например, если обитаемых планет во Вселенной 10^8 , то каждая из них должна выбрасывать в космос за 1 млрд лет 1000 т спор.

Сейчас совершенно ничего нельзя сказать о том, сколько может выбрасывать в космос спор такая обитаемая планета, как наша Земля. Поэтому, полагает Саган, в настоящее время гипотезу панспермии нельзя считать заведомо ошибочной, хотя аргументов в ее пользу также нет. По его мнению, наиболее вероятно найти следы живой субстанции на спутниках внешних планет, особенно на довольно крупном спутнике Нептуна — Тритоне.

Можно, однако, выдвинуть несколько возражений против выводов Сагана. Во-первых, ультрафиолетовое излучение Солнца в течение первых сотен миллионов

*) Следует заметить, однако, что если спора попадет в какую-нибудь расщелину на пылинке, она будет надежно «забронирована» от губительного воздействия ультрафиолетовых лучей. Такую естественную возможность всегда надо учитывать.

лет существования нашей планеты было примерно таким же, как и сейчас. Даже в начале этого периода, когда Солнце было еще сжимающейся звездой, его температура не очень сильно отличалась от современной. Это следует хотя бы из рассмотрения рис. 14, где приведены эволюционные треки звезд на диаграмме «спектр — светимость». Во-вторых, Саган почему-то забывает, что споры из межзвездного пространства будут выталкиваться давлением солнечного света за пределы Солнечной системы. Ведь с самого начала предполагается, что такие споры выталкиваются световым давлением за пределы тех планетных систем, где они зародились. Наконец, за сотни миллионов лет блужданий в межзвездной среде они могут получить смертельную дозу радиации, которая присутствует в форме космических лучей. Ведь поток первичных космических лучей там практически такой же, как и на Земле. За это время через такую спору размером в 10 мкм пройдет примерно 10 млрд частиц сверхвысоких энергий, из которых добрая сотня тысяч будет поглощена веществом споры. Это соответствует дозе излучения в несколько миллиардов рентген. Последствия такой «бомбардировки» могут быть только летальными *).

Большую опасность для спор, блуждающих в межзвездном пространстве, могут представлять горячие звезды, которые на огромные расстояния, исчисляемые сотнями световых лет, ионизируют и сильно нагревают межзвездный газ. В таких обширных областях межзвездной среды, окружающих горячие звезды, космические пылинки, в том числе и споры, могут быть полностью разрушены.

Крик и Оргелл приводят два чисто биологических аргумента в пользу гипотезы «направленной панспермии». Они полагают, что химический состав живых организмов в какой-то степени должен отражать химический состав среды, в которой проходила их эволюция. Поэтому присутствие в составе организмов элементов, исключительно редких на Земле, может служить «намеком» на то, что жизнь зародилась далеко за пределами нашей планеты, где химический состав среды совсем иной. Почему, например, довольно важное место в жизнедеятельности клеток занимает молибден, в то время как гораздо более обильные и химически сходные с ним хром и никель заметной роли в биохимических процессах не играют? Между тем известны очень редкие звезды с аномально высоким содержанием молибдена. Может быть, они окружены богатыми молибденом планетами?

Другим аргументом в пользу этой гипотезы является универсальность генетического кода (см. гл. 12). В самом деле, почему все живущие организмы — от простейших до человека — используют совершенно одинаковый генетический код? Ведь мыслимо множество модификаций такого кода. Панспермия непринужденно объясняет эту удивительную особенность; хотя, конечно, это можно объяснить «борьбой за существование» организмов с разными генетическими кодами.

В общем, доводы Крика и Оргелла нельзя считать очень серьезными, но внимания они заслуживают. В высшей степени неожиданную и беспрецедентно смелую гипотезу выдвинули Хойл и Викрамасинг. Довольно давно известную широкую полосу поглощения, наблюдаемую в спектрах инфракрасных галактических источников и обычно приписываемую межзвездным частицам льда, они предложили считать обусловленной находящимися в межзвездной среде бактериями, сходными со спорами! Единственным основанием для столь смелой гипотезы является значительно лучшее совпадение профилей полосы поглощения, обусловленной бактериями, чем при поглощении межзвездными льдинками подходящих размеров (рис. 78). Такой аргумент, однако, представляется совершенно недостаточным. Например, можно подобрать такое распределение размеров льдинок, которое даст лучшее со-

*) Необходимо заметить, что споры некоторых микроорганизмов и вирусы не гибнут даже при дозах жесткого излучения, достигающих 1 млн рентген. Все же, как показывают оценки, дозы радиации, полученные вирусами и спорами при «межзвездных путешествиях», значительно больше.

впадение наблюдаемого и теоретического профилей. Наконец, любое «загрязнение» межзвездного льда, ожидать которое вполне естественно, может изменить профиль полосы поглощения. Похоже на то, что эта гипотеза пробует подвести «научную базу» под знаменитый фантастический роман «Черное облако», написанный одним из авторов этой экстравагантной гипотезы — профессором Хойлом...

<> Карим, Хойл и Викрамасинг нашли большое сходство спектра ультрафиолетового излучения шести звезд со спектром, возникающим при поглощении света бактериями. Более поздние детальные исследования, однако, не подтвердили этого открытия. Они исключают отождествление деталей спектра с поглощением или рассеянием в ультрафиолетовой, видимой или инфракрасной области спектра с триптофаном (гетероциклическая аминокислота, используемая клетками организмов для биосинтеза), протеинами, вирусами, диатомовыми водорослями или другими живыми или высушенными земноподобными биологическими клетками <>

Возвратимся теперь к вопросу о природе отпечатков водорослей, найденных в некоторых метеоритах. Разумеется, трудно согласиться с гипотезой Бернала в том виде, как она сформулирована, так как нельзя себе представить, что при вулканическом взрыве веществу сообщается вторая космическая скорость. Может быть, что отдельные микроорганизмы выбрасываются за пределы Земли другими силами, например электрическими. Двигаясь в межпланетном пространстве, они могли «прилипнуть» к какому-нибудь малому космическому телу, которое потом выпало на Землю как метеорит. Однако эта гипотеза встречается с большими трудностями, и было бы важно исследовать этот вопрос во всех деталях. Но прежде всего нужно доказать космическое происхождение метеорных отпечатков микроорганизмов. Существующие пока «доказательства» в высшей степени сомнительны.

До сих пор мы обсуждали возможность существования жизни на различных планетах, в том числе и таких, где физические условия резко отличаются от земных. В связи с этим любопытно заметить, что на Бюраканском симпозиуме 1971 г., посвященном различным аспектам проблемы связи между внеземными цивилизациями, вполне серьезно обсуждался вопрос о возможности возникновения и развития жизни в... атмосферах очень холодных звезд. Тем самым была пробита первая брешь в «планетном шовинизме»*), характерном для проблемы внеземной жизни. Дискуссия показала, что хотя жизнь (если она есть) на холодных звездах в принципе и возможна, ее развитие встречается там с огромными трудностями, прежде всего энергетическими. Забавно, что можно было наблюдать своеобразный возврат к старинным, бесконечно наивным воззрениям знаменитого английского астронома Гершеля. Последний вполне серьезно считал, что Солнце — обитаемо,

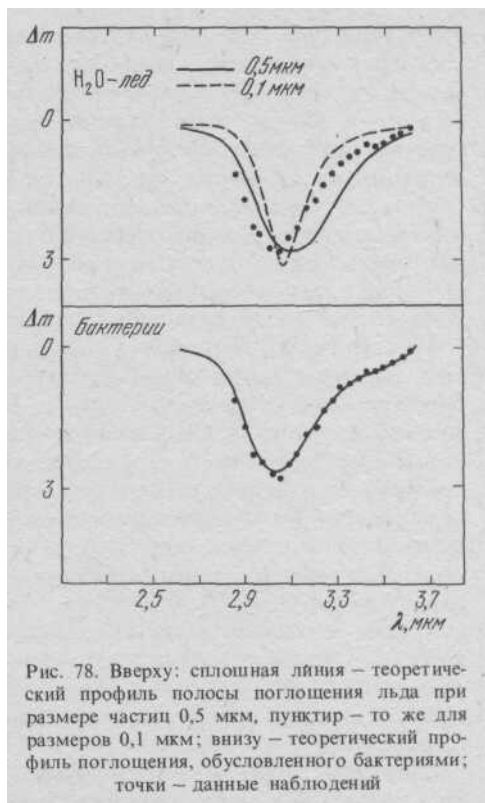


Рис. 78. Вверху: сплошная линия — теоретический профиль полосы поглощения льда при размере частиц 0,5 мкм, пунктир — то же для размеров 0,1 мкм; внизу — теоретический профиль поглощения, обусловленного бактериями; точки — данные наблюдений

*) «Планетный шовинизм» — это представление о том, что жизнь во Вселенной может возникнуть и развиваться только на планетах.

его поверхность довольно холодна и только плавающие над ней облака очень горячи... Об этом уже речь шла во введении к этой книге. Развитие физики и астрофизики объяснило в XX в. природу Солнца и звезд и камня на камне не оставило от взглядов Гершеля. Новое возрождение концепции «звездной жизни» произошло, конечно, на совершенно другой основе. Автору этой книги, однако, идеи возникновения жизни на звездах представляются бесперспективными.

На том же Бюраканском симпозиуме известный физик Дайсон (о его идеях по проблеме внеземных цивилизаций будет рассказано в последней части этой книги) выступил с исключительно смелым утверждением, что основным обиталищем жизни в Галактике могут быть не планеты, а... кометы! Дело в том, что число комет в нашей Галактике должно на много порядков превышать число звезд и планет.

Существенно, что жизнь, по существу, есть «поверхностный» феномен. Например, биосфера Земли может быть рассматриваема как тонкий шаровой слой, радиус которого равен радиусу Земли (т. е. 6370 км), а толщина -- всего лишь несколько километров. Оказывается, что хотя массы комет ничтожно малы по сравнению с массами планет, суммарная поверхность всех комет в Галактике на много порядков больше, чем суммарная поверхность планет. Центральные области комет могут быть богаты сложными органическими соединениями и там в принципе возможна пребиологическая эволюция вещества. Все же мы весьма скептически относимся к возможности возникновения и развития жизни на кометах. Там нет сколько-нибудь заметной силы тяжести; там в огромных пределах меняется температура — ибо большинство комет движутся по сильно вытянутым орбитам. Под воздействием всякого рода возмущений кометы вблизи Солнца распадаются на метеорные потоки — это происходит буквально на наших глазах. Все это делает кометы в высшей степени неподходящим местом для возникновения и развития жизни.

И, наконец, еще одно замечание. Предметом этой книги является, если можно так выразиться, «астрономический шовинизм». Это означает, что до сих пор всегда обсуждалась проблема возникновения и развития жизни на тех или иных астрономических объектах (планеты, звезды, кометы). Но ведь жизнь в принципе может быть и на совершенно другом уровне! Лет 10 назад итальянский физик-теоретик Коккони выдвинул необычайно смелую гипотезу. Суть этой гипотезы сводится к следующему. Уже сейчас известно свыше 200 элементарных частиц, большая часть которых нестабильна вне ядер атомов. Можно себе представить, рассуждает Коккони, что где-то на субъядерном уровне элементарные частицы находятся в весьма сложных и пока еще не познанных взаимоотношениях. Здесь в принципе возможна некая «химия» на ядерном уровне и — кто знает — могут возникнуть исключительно сложные, способные к репликации системы. Жизнь на ядерном уровне! Разумеется, пока еще мы ничего больше по этому увлекательному сюжету сказать не можем. Пусть это будет — пока — иллюстрацией безмерных возможностей полета мысли. Но кто знает, как эта проблема будет выглядеть через несколько веков!

Наконец, стоит сказать об идее нашего выдающегося физика-теоретика М. А. Маркова, рассматривавшего «почти замкнутые» (в космологическом смысле) миры, которые для «внешнего» наблюдателя могут выглядеть как очень маленькие, может быть, даже элементарные заряженные частицы. Такие гипотетические объекты Марков называет «фридмонами» в честь замечательного советского космолога А. А. Фридмана. В принципе, конечно, возможно, что внутри некоторых «фридмонов» и существуют какие-то живые и даже разумные существа... Самое любопытное — удивительная идея Маркова совершенно не противоречит фундаментальным законам физики! Все же не следует забывать, что пока нет никаких указаний на возможность реализации этой красивой идеи «на самом деле».