

Н Хоровиц
Поиски жизни в Солнечной системе



В МИРЕ НАУКИ И ТЕХНИКИ

Н. ХОРОВИЦ

**ПОИСКИ ЖИЗНИ
В СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ**



ИЗДАТЕЛЬСТВО **МИР** МОСКВА

Хоровиц Н

Поиски жизни в Солнечной системе

Хоровиц Н.
Поиски жизни в Солнечной системе

Предисловие редактора перевода

Современная наука располагает богатым материалом о физико-химической основе жизни, о путях, которые могли несколько миллиардов лет назад привести к возникновению примитивных организмов. В то же время нельзя забывать, что мы судим о принципах структурной и функциональной организации живых существ в общем-то на основании одной модели: хорошо известного нам земного варианта жизни. Несмотря на огромное разнообразие видов, населяющих Землю, все они основаны на "углеродной биохимии". Обмен веществ всех земных организмов-от простейших до человека-катализируют белки-ферменты, состоящие из одних и тех же двадцати аминокислот: универсальны принципы хранения и передачи наследственной информации и механизма биосинтеза белка; существует глубокое сходство в работе мембранных энергопреобразующих систем различных организмов. Единственна ли такая "углеродная модель" или где-нибудь вне Земли, возможно, существуют иные формы жизни? Обнаружение таких форм имело бы огромное значение для понимания принципов организации живой материи. Вместе с тем открытие инопланетных организмов, принципиально не отличающихся от земных, скажем, своим генетическим кодом, в корне изменило бы наши представления о месте и характере процессов, приведших к возникновению и распространению жизни во Вселенной.

Сегодня наука рассматривает проблему существования внеземной жизни в очень широком плане; обсуждаются даже возможности установления связи с гипотетическими цивилизациями иных звездных миров. Однако первоочередной и наиболее важной задачей ныне стало исследование вопроса об обитаемости планет Солнечной системы. Если не считать наивных с сегодняшней точки зрения суждений о присутствии живых существ на планетах и даже на Солнце (вы

сказывавшихся в прошлом после признания гелиоцентрической системы Коперника), то можно утверждать, что действительно научный интерес к проблеме жизни на планетах Солнечной системы пробудился лишь на рубеже нашего столетия. Развитие астрономии и биологии достигло к тому времени такого уровня, что стало возможным реально оценить крут небесных тел, где наличие жизни практически исключено, и выделить наиболее вероятных "претендентов" ближайšie к Земле планеты, прежде всего Марс.

Наблюдения с Земли не позволяли сколько-нибудь достоверно судить не только о присутствии на этой планете живых организмов, но и просто о реально существующих там климатических условиях. А различные косвенные данные, полученные в ходе наблюдений, подогревали фантазию и заставляли строить увлекательные, но, как мы теперь знаем, фантастические гипотезы. Сейчас даже трудно сказать, на что эти гипотезы повлияли больше-на научное мышление или на художественное творчество. Во всяком случае, именно под их влиянием появились такие произведения, как "Война миров" Г. Уэллса, "Аэлита" А. Толстого. "Марсианские хроники" Р. Брэдли. Среди исследователей проблемы были энтузиасты, например американский астроном П. Ловелл или советский ученый Г. А. Тихов. были и скептики. Однако читатели старшего поколения, наверное, помнят, что в 40-50-х годах в научно-популярной литературе широко обсуждалась перспектива обнаружить на Марсе если не марсиан или леса тьянь-шаньских елей, то уж во всяком случае лишайники,

что в общем отражало и взгляды специалистов.

Ситуация изменилась коренным образом в 1957 г. Запуск в СССР первого спутника ознаменовал выход человечества в космическое пространство, и вопрос о возможной встрече с внеземной жизнью перешел в разряд реальных. Прежде всего появилась техническая возможность прямого исследования планет и других объектов Солнечной системы. Помимо чисто фундаментальной, общебиологической стороны проблемы существенным был признан и ее другой аспект: контакт человека с ранее неизвестными видами патогенных микроорганизмов и перенос их на Землю могли представлять серьезную угрозу. Поэтому поиск внеземной жизни стал практической задачей космических исследований.

При этом чрезвычайно важно было определить пределы поиска, т. е. свести довольно расплывчатую проблему к конкретному кругу вопросов, на которые можно получить убедительный ответ с помощью современной аппаратуры.

Потребовалась своеобразная инвентаризация, а в чем-то и ревизия существующих представлений о природе жизни и физико-химических пределах ее распространения. Но главное, была необходима широкая мировоззренческая концепция, позволяющая осмыслить феномен жизни в плане общей эволюции материи во Вселенной.

Такой концептуальной основой для экзобиологического обследования планет и других космических объектов стали представления, разработанные еще в 30-х годах нашим выдающимся соотечественником академиком А. И. Опариным. Согласно его взглядам, возникновение жизни неразрывно связано с химической эволюцией соединений углерода, происходящей как на Земле, так и в космическом пространстве. Подчас приходится слышать, что при всей философской ценности теоретических воззрений А. И. Опарина они чрезвычайно далеки от практики. Опыт становления экзобиологических исследований свидетельствует об обратном. Именно с началом космической эры пробудился широкий научный интерес к проблеме происхождения жизни. По-видимому, это не просто совпадение, что в 1957 г., незадолго до запуска первого в мире искусственного космического тела, в нашей стране состоялся и первый Международный симпозиум по проблеме происхождения жизни, т. е. проблема из чисто умозрительных построений энтузиастов-одиночек превратилась в активно разрабатываемую отрасль экспериментальной науки.

Среди участников исторического московского симпозиума был и американский ученый Норман Хоровиц, книгу которого мы представляем вниманию советского читателя. Его имя хорошо известно биологам разных специальностей. Еще в 40-х годах, начав работать в области генетики микроорганизмов (результаты этих исследований легли в основу современной молекулярной генетики), он первым попытался использовать генетико-биохимические подходы для анализа процесса эволюционного становления жизни. Позднее, в 60-70-х годах, возглавив биологический отдел Лаборатории реактивного движения, Н. Хоровиц участвовал в разработке и осуществлении программы "Викинг", основной задачей которой был поиск следов жизни на Марсе. О результатах этих исследований и их значении в общем контексте проблемы происхождения жизни и ее распространения в Солнечной системе он и рассказывает в своей книге.

Эксперименты, проведенные на поверхности Марса с помощью научной аппаратуры "Викингов", интересны не

только с чисто технической точки зрения, т. е. как измерение определенных запланированных ранее параметров, имеющих отношение к жизнедеятельности возможных обитателей Марса. Любопытен и другой аспект исследований. Любой ученый мечтает об эксперименте, дающем однозначный и четкий ответ на поставленный вопрос. Вместе с тем, по крайней мере в биологических исследованиях, приходится сталкиваться и с результатами, допускающими неоднозначную трактовку. ("Теория должна быть разумной, а

факты не всегда таковы", - это высказывание видного американского генетика Дж. Бидла автор взял в качестве эпиграфа к одной из глав книги.) И дело здесь не в каком-то дефекте методик измерения, а в том, что наша исходная информация об изучаемом объекте не всегда достаточна для того, чтобы однозначно и четко спланировать эксперимент.

С подобной ситуацией ученым пришлось столкнуться и при анализе результатов измерений, проведенных приборами "Викингов" на "красной планете". Три эксперимента были нацелены на выявление продуктов обмена веществ возможной микрофлоры Марса: газообмен, выделение радиоактивной метки и выделение продуктов пиролиза. Если бы спускаемые аппараты "Викингов" не были укомплектованы еще и высокочувствительным газовым хроматографом в комбинации с масс-спектрометром для обнаружения органических соединений в грунте, то на основании результатов трех названных ранее экспериментов, мы, возможно, склонились бы к мысли, что Марс обитаем. Однако отсутствие органических соединений в образцах грунта сыграло решающую роль и заставило ученых искать объяснение полученных результатов не в метаболизме мифических обитателей Марса, а в своеобразных химических свойствах неорганических компонентов поверхности планеты.

Так можно ли считать вопрос о жизни на Марсе окончательно и бесповоротно решенным? Расстаться с полными своеобразного очарования иллюзиями об обитаемом Марсе, конечно, нелегко. Закрадывается мысль, что получить исчерпывающий ответ на этот вопрос можно лишь при непосредственном исследовании планеты космонавтами, высадившимися на ее поверхности, или хотя бы при лабораторном анализе образцов грунта, доставленных в наземную лабораторию. Высказываются предположения (подчас не имеющие убедительных экспериментальных оснований), что под грунтом Марса могут существовать огромные массы

жидкой воды и обитать живые организмы. Иными словами, нужно еще попробовать, еще постараться, и тогда...

Но, строго говоря, вся совокупность данных современной науки не дает основания верить в существование марсианской биосферы. Читатель убедится в этом, ознакомившись с книгой Н. Хоровица, где дан подробный, логичный, но вместе с тем понятный для неспециалиста анализ научных представлений об адаптационных возможностях земных организмов и реальных условиях, существующих на поверхности Марса. Тем не менее экзобиологические исследования этой планеты нельзя считать завершенными. Теперь их целью должен быть не поиск ныне живущих организмов, а выяснение вопроса о существовании там жизни в более ранние эпохи, когда на поверхности планеты присутствовала жидкая вода. На повестку дня встают палеобиологические, особенно микропалеобиологические, исследования Марса, что, по-видимому, станет возможным лишь при непосредственном изучении исследователями образцов грунта. Время покажет, будут ли эти образцы отбираться автоматическими станциями и доставляться на Землю или их соберут и исследуют космонавты в ходе пилотируемых экспедиций. В любом случае научно-инженерное и технологическое обеспечение таких исследований потребует огромных материальных средств и, быть может, совместных действий ученых различных стран мира. И тогда, возможно, образцы марсианского грунта лягут на лабораторные столы исследователей-землян.

Книга Н. Хоровица побуждает нас еще раз задуматься об уникальности Земли как планеты жизни и необходимости объединить свои усилия во имя ее сохранения. Хочется надеяться, что умная, увлекательная книга американского ученого будет с интересом встречена советскими читателями.

М. С. Крицкий

Предисловие автора к русскому изданию

Запуск в 1957 г. первого искусственного спутника Земли (советский "Спутник-1") возвестил наступление космической эры. Наблюдая холодными октябрьскими вечерами за движением в небе маленького космического корабля, люди стали осознавать, что человечество находится на пороге новой эпохи исследований. Отныне мы не были привязаны к Земле силой гравитации, перед нами открывалась возможность посетить другие миры Солнечной системы: сначала Луну, затем планеты. Что же должен был сделать человек, высадившись в иных мирах? Ответ не вызывал сомнений: прежде всего выяснить, существует ли там жизнь.

Эта книга написана почти 30 лет спустя после полета первого спутника. Ее цель — рассказать о том, что известно сегодня о жизни на других планетах Солнечной системы. Но прежде, чем отправиться на эти планеты, следует задать себе несколько фундаментальных вопросов, касающихся природы жизни, ее химических основ и происхождения. Лишь разобравшись в них, можно судить о возможности жизни в иных мирах. Как мы узнаем из книги, к 1971 г. ученым стало ясно, что только на Марсе можно было с некоторой вероятностью ожидать наличия жизни.

Итак, поиски сосредоточились на Марсе, загадочном Марсе, планете, породившей бесчисленные романтические сказки и не менее фантастические наблюдения многих ученых. Аппараты "Викинг", выведенные на орбиту вокруг Марса и совершившие в 1976 г. посадку на его поверхность, не обнаружили там ни самой жизни, ни условий благоприятных для ее существования. На равнинах Хриса и Утопия угасла давняя мечта человечества: мы оказались одиноки в Солнечной системе.

Ученым предстоит еще проделать огромную работу по исследованию Марса. Остается, например, неясным, существовала ли там жизнь в прошлом, когда на поверхности планеты была вода. Удастся ли в глубине марсианской коры обнаружить останки микроорганизмов или органические вещества? И этим не исчерпываются все вопросы. Тем не менее первые исследования, о которых рассказывается в книге, особенно интересны. Причем не только потому, что они дали четкий ответ на очень старый вопрос. В них, как никогда, ибо в Солнечной системе нет другого тела, подобного Марсу, переплелись жажда научного поиска, технические достижения и общественный энтузиазм.

В свежей книге я попытался языком, доступным широкой аудитории, поведать о событиях, непосредственным участником которых являлся. Я чрезвычайно рад возможности лично представить книгу советскому читателю и глубоко признателен за это издательству "Мир".

Июль 1987 г.

Норман Х. Хоровиц

Посвящается Перл Критик и болельщица, стилист, редактор, вдохновитель-она сделала бы это лучше

Вступление

Проведенные в 1960-1970-х годах исследования планеты Марс, кульминацией которых явилась посадка (1976) на поверхность планеты двух космических аппаратов "Викинг" с приборами на борту, воплотили давнюю мечту человеческой цивилизации. Поскольку эти исследования дали отрицательный ответ на самый волнующий вопрос относительно жизни на Марсе, многие люди склонны рассматривать полученные результаты как бесспорную неудачу. В действительности же это блестящий успех. Серия прекрасно спланированных и проведенных космических полетов за десятилетие превратила Марс из загадочной планеты с

долгой романтической судьбой в один из наиболее изученных объектов Солнечной системы. Для ученого, которому довелось участвовать в осуществлении "марсианской программы", она была и остается выдающимся научным предприятием, как и любое другое первое исследование нового, неведомого мира. По широте научных интересов, необычайной сложности приборов, размаху и многообразию (а также эффективности) организационной структуры, волнениям как участников, так и наблюдателей, по своей исторической значимости исследование Марса заняло уникальное место в истории науки нашего времени.

Отсутствие следов жизни в местах посадки обоих аппаратов "Викинг" и данные, неоспоримо свидетельствующие, что все другие районы Марса столь же безжизненны, достаточно убедительно говорят о том, что жизнь в пределах Солнечной системы существует лишь на Земле. Это заключение вызывает непреходящий интерес. Все, кто внимательно следил за ходом исследований Марса, начавшихся в 1965 г. с полета аппарата "Маринер-4", не были удивлены таким концом. Однако у многих, особенно у людей, далеких от науки, это вызвало такое разочарование, с которым они до сих пор не могут примириться.

Представление об обитаемости Марса занимает особое место в нашем восприятии действительности, оно оказало сильное влияние на весь ход и методы исследования планеты. Этим объясняется тот примечательный факт, что вся серия полетов, связанных с изучением Марса, была завершена всего за 20 лет-начиная с запуска первого советского спутника ("Спутник-1", октябрь 1957 г.), открывшего космическую эру. Предположение, что Марс-это просто "вариант" Земли, но только с более суровыми условиями, которое бытовало, несмотря на обилие фактов, свидетельствовавших в пользу иной точки зрения, заметно повлияло на выбор программы биологических экспериментов, проведенных аппаратами "Викинг". Подобные взгляды нашли свое отражение и в международном соглашении о необходимости строгой стерилизации всех космических аппаратов, предназначенных для исследования этой планеты. Укоренившиеся представления о Марсе оказались столь сильными, что подействовали даже на обычно здравые суждения ученых. Об этом свидетельствуют, в частности, те полуфантастические идеи, которые были в ходу еще совсем недавно. Их проверка и последующее уточнение (главным образом в период 1965-1976 гг.) представляют собой выдающуюся главу в истории современной науки.

Моя книга-это своеобразный отчет о тех событиях, увиденных глазами одного из участников, который, хочу надеяться, будет понятен и интересен неспециалистам. Ничего подобного марсианскому проекту с его уникальной смесью фантастики, научных устремлений, технических возможностей и всеобщего энтузиазма не предвидится в ближайшем будущем хотя бы потому, что в Солнечной системе нет другого столь же привлекательного объекта, как старый Марс. Я попытался также объяснить непосвященному читателю научные основы поиска внеземных форм жизни и условия, необходимые для существования жизни, связав все "по с выбором Марса как единственно подходящего объекта для таких исследований. Я надеюсь также доказать, почему эти исследования теперь можно считать завершенными.

Мне хотелось бы сердечно поблагодарить моих коллег за важные замечания, сделанные к различным главам рукописи; в этой работе принимали участие Элизабет Бергэни, Дж. Б. Фамер, Джесси Гринстейн, Дэвид Хоровиц, Джерри Хаббард, Эндрю Ингерсолл, Роберт Лейтон, Линн Марулис, Сгенли Миллер, Брус Мюррей, Лесли Оргел, Маартин Шмидт и ныне покойный Ральф Робин. Кроме того, в изложении некоторых вопросов мне оказали помощь Бентон Кларк, Джон Эдмонд, Клиффорд Моран, Конуэй Снайдер, Дэвид Стивенсон, Стивен Вогель и Юк Янг. И я глубоко признателен всем моим друзьям. Однако никто из них ни в коей мере не несет ответственность за какие-либо упущения книги все изложенные в ней взгляды отражают только мою точку зрения.

Я особенно благодарен Харди Мартелю, который помог мне ярче выразить

внутренний "настрой", присущий моему повествованию. Я признателен Джениджой Ла Белле, обратившей мое внимание на стихотворение Теодора Ретке, строки которого взяты эпиграфом к гл. ?. а также Шерил Коппер-за умелое редактирование и Джерри Ван-дер-Вуду за помощь в подготовке иллюстраций.

// Хормилл

Глава 1 Что такое жизнь?

Не так уж много времени прошло с тех пор, как генетика и биохимия стали самостоятельными науками, каждая из которых . . . пытается подобрать ключ к феномену жизни. Биохимики обнаружили ферменты, а генетики гены.

Уильям Хеш', "Генетика бактерий и бактериофагов" (1968)

Год 1958. Эпоха бурного развития космических исследований, и вам предложили принять участие в подготовке исследований по обнаружению жизни на Марсе. Предложение принято (разве откажешься?)-и вскоре вы замечаете, что поглощены мыслями о том, как искать жизнь в другом мире. Как опознать живые объекты другой планеты? Что мы имеем в виду, когда называем что-либо "живым"? Впрочем, подобные вопросы занимали философов еще со времен Аристотеля.

Обычно не трудно решить, живой объект перед нами или нет. Мы связываем "состояние жизни" с определенным внешним видом и поведением, а отсутствие таковых, как правило, приводит к совершенно справедливому заключению, данный объект не является живым. В особо интересных или важных случаях, например когда нужно установить, живы или нет семена, найденные в древнеегипетских гробницах, или наступила ли смерть данного человека, используются определенные тесты. Но пригодны ли по добные критерии для обнаружения жизни на Марсе? По видимому, нет. Наша концепция "живого" должна быть достаточно широкой, чтобы мы могли распознать жизнь в любом ее проявлении и с достаточной точностью и вместе с тем не обнаружить ее там, где она отсутствует. Для этого нужно глубоко проникнуть в сущность природы живой материи, как это и делает современная биология.

Жизнь и генетический механизм

Живые системы отличаются от неживых двумя важными особенностями. Прежде всего, даже самый простой организм по своему составу и строению гораздо сложнее любого сравнимого с ним по размеру объекта неживой природы. Мы до сих пор еще не знаем полностью, какова структурная организация живой клетки, ибо обнаруживаются все новые ее компоненты-и конца этому не видно. Следует помнить, что при этом не принимается во внимание сложность организации многоклеточных организмов, где огромные по числу клетки, специализированных на выполнении определенных функций, должны взаимодействовать по согласованной и взаимовыгодной программе. Данное обстоятельство влечет за собой вторую отличительную особенность живых организмов: оказывается, структура и организация клетки, по-видимому, обусловлены ее предназначением, конечной целью которого является выживание организма. В прошлом эти уникальные свойства живых организмов привели к убеждению, что они обладают некой "жизненной силой"-таинственным, нефизическим началом, которым обусловлены особенности, отделяющие живой мир от неживого непроходимой пропастью. Сейчас подобные рассуждения кажутся нелепыми. Мы знаем, что живая материя по своему химическому составу принципиально не отличается от неживой: живые существа состоят из тех же атомов и молекул и ничего более в себе не заключают. Что отличает их от всего остального мира, так это способ, которым их атомы и молекулы соединены друг с другом. Таким образом, жизнь есть проявление определенных комбинаций молекул.

На нашей планете, как известно, основные жизненные процессы обеспечиваются молекулами только двух типов: белками и нуклеиновыми кислотами. Белки образуют ферменты-высокоэффективные катализаторы*, способствующие протеканию в живых системах самых разнообразных химических реакций. Те или иные химические изменения и характеризуют всю жизнедеятельность живых существ; усвоение пищи, образование новых клеток и клеточных компонентов, сокращение мышц и передача нервных импульсов вот лишь несколько функций, при осуществлении которых происходит химическое превращение молекул одного типа в другой. Эти и множество других специфических реакций, происходящих в организме, "отбираются" и возбуждаются при непосредственном участии ферментов; последние, таким образом, определяют направление и выход конечного про

* Смысл используемых в книге специальных понятий разъясняется в "Словаре терминов".

дукта всего сложного комплекса процессов, называемого обменом веществ, или метаболизмом, который характерен только для живого организма.

Живые клетки синтезируют белки, которые обладают и другими функциями. К неферментативным белкам относятся гемоглобин, инсулин, различные антитела. Наиболее распространенным белком, синтезируемым в организме млекопитающих, является коллаген-своего рода строительный материал для костей, кожи или зубов.

Нуклеиновые кислоты выполняют совершенно иную функцию. Они образуют гены - носители всех видов генетической (наследственной) информации. Имеются два типа нуклеиновых кислот: дезоксирибонуклеиновая (ДНК) и рибонуклеиновая (РНК), и обе они обнаружены во всех клетках. Несмотря на большое сходство в их химическом строении, во всех известных нам организмах (за исключением некоторых вирусов) генетическую функцию несет ДНК. Генетическая информация, по-видимому, целиком связана с синтезом белковых молекул: их химическим строением, временем и скоростью синтеза.

Как нуклеиновые кислоты, так и белки образованы очень большими молекулами, состоящими из линейно расположенных маленьких субъединиц-"строительных блоков". У нуклеиновых кислот эти строительные блоки называются нуклеотидами. Четыре различных типа нуклеотидов составляют молекулы ДНК и РНК (их строение показано на рис. 1). Генетическая информация кодируется последовательностью нуклеотидов, так же, как информация, содержащаяся в напечатанной странице, кодируется последовательностью букв. Строительными блоками белков являются аминокислоты. В природе их существует великое множество, но только 20 одни и те же 20 аминокислот во всех известных видах используются при образовании белков (строение аминокислот показано на рис. 2).

Важной характеристикой аминокислот является оптическая изомерия. Все они (за исключением самой простой глицина) могут существовать в двух формах, которые отличаются одна от другой так же, как левая рука отличается от правой, т. е. являются зеркальным отражением друг друга (рис. 3). Два оптических изомера идентичны по своим химическим свойствам, но поскольку их невозможно совместить (перчатку с правой руки нельзя надеть на левую), они не могут заменять друг друга при построении белковых молекул или каких-либо иных трехмерных родственных структур.

Интересно, что аминокислоты всех известных белков относятся к левовращающим, L(levorotatory), изомерам. В принципе в каком-то ином живом мире все аминокислоты могли бы быть и правовращающими, или D(dextro), изомерами, и этот мир (функционировал бы так же, как и земной. Тот факт, что в нашем мире L-аминокислоты оказались предпочтительнее, чем D, вероятно, следует рассматривать как историческую случайность. На какой-то другой планете, где аминокислоты также играли бы определенную роль в биохимии организмов, с равной вероятностью возможны как L-, так и D-формы.

Типичная молекула белка образована одной или несколькими цепочками,

называемыми полипептидами, каждая из которых в свою очередь состоит из нескольких сотен соединенных друг с другом аминокислот. Обычно все их 20 типов представлены в каждой такой цепочке (рис. 4). Цепочки свернуты в сложные трехмерные структуры, или конформации, нередко напоминающие спутанный клубок ниток. Особые свойства белковых молекул-как ферментов, так и неферментов (зависят) от их конформации. Когда конформация нарушена (в результате процесса, называемого денатурацией), белок перестает функционировать, даже если его аминокислотные цепочки остаются неповрежденными. При соответствующих условиях денатурированные белки могут самопроизвольно ренатурировать-при этом их функции восстанавливаются. Подобное восстановление свидетельствует о том, что трехмерная конфигурация молекулы определяется только последовательностью аминокислот, которая, как известно, кодируется генами.

Правила, которые определяют последовательность аминокислот, просты, но доказательство их существования по праву считается одним из величайших достижений биологии XX в. Говоря кратко, последовательность аминокислот, характеризующая ту или иную полипептидную цепь, определяется отдельным геном, и этот ген не выполняет более никаких других функций. Белок, состоящий из одной цепи (или нескольких, но идентичных по последовательности), кодируется единственным геном: белок, состоящий из двух цепей, отличающихся по структуре, кодируется двумя различными генами и т.д. Кодирование осуществляется следующим образом: каждой аминокислоте соответствует комбинация трех нуклеотидов из четырех типов, составляющих ДНК. Из четырех различных нуклеотидов можно составить 64 комбинации по три нуклеотида: ААА, ААГ, АГА и т.д..

Каждая буква соответствует азотистым основаниям нуклеиновых кислот, изображенным на рис. 1. Каждый триплет кодирует одну аминокислоту, за исключением трех бессмысленных ("нонсенс") триплетов, которые обозначают окончание считывания кода. Таким образом, 20 аминокислотам соответствует 61 триплет, и следовательно, в генетическом коде большинству аминокислот соответствует два или три триплета (см. табл. 1).

Итак, генетическая информация каждого организма состоит из закодированной в его ДНК комбинации программ.

Таблица 1. Генетический код. Аминокислота Триплеты оснований. Глицин ГГТ, ГГЦ, ГГА, ГГГ. Аланин ГЦТ, ГЦЦ, ГЦА, ГЦГ. Валин ГТТ, ГТЦ, ГТА, ГТГ. Лейцин ТТА, ТТГ, ЦТТ, ЦТЦ, ЦТА, ЦТГ. Изолейцин АТТ, АТЦ, АТА. Серин ТЦТ, ТЦЦ, ТЦА, ТЦГ. Аргинин АГТ, АГЦ. Треонин АЦТ, АЦЦ, АЦА, АЦГ. Аспарагиновая кислота ГАТ, ГАЦ. Глутаминовая кислота ГАА, ГАГ. Лизин ААА, ААГ. Аргинин ЦГТ, ЦГЦ, ЦГА, ЦГГ, АГА, АГГ. Аспарагин ААТ, ААЦ. Глутамин ЦАА, ЦАГ. Цистеин ТГТ, ТГЦ. Метионин АТГ. Фенилаланин ТТТ, ТТЦ. Тирозин ТАТ, ТАЦ. Триптофан ТТГ. Гистидин ЦАТ, ЦАЦ. Пролин и ЦЦТ, ЦЦЦ, ЦЦА, ЦЦГ. "Нонсенс" (бессмысленные ТАА, ТАГ, ТГА кодоны)

которые и управляют синтезом большого числа ферментов и других белковых молекул. Этим основным положением обусловлены все другие особенности жизнедеятельности организма: его развитие, структура, тип обмена веществ и поведение, так как все они генетически predeterminedены. Таким образом, нуклеиновые кислоты и белки образуют сцепленную, взаимозависимую систему: синтез молекул обоих типов

зависит от активности множества ферментов, для синтеза которых необходима информация, содержащаяся в ДНК. Именно в такой самоподдерживающейся генетической системе и закодированы все уникальные свойства живой материи.

Связь между генами и белками весьма непростая, но вполне понятная. Чтобы выжить, организм должен синтезировать великое множество разнообразных типов белков. Но белковые молекулы-это огромные и чрезвычайно упорядоченные структуры, которые построены из отдельных аминокислот, и если бы каждому организму приходилось заново выбирать, в какой последовательности соединить аминокислоты, чтобы наилучшим образом

синтезировать необходимые белки, он бы не смог выжить. Поэтому ин

формация-необходимое для жизни и незаменимое генетическое наследство-должна передаваться от родителей к потомкам. Если бы нужные последовательности аминокислот могли быть скопированы с уже существующих белковых молекул, то нуклеиновые кислоты оказались бы ненужными. Однако по своему строению белковые молекулы не годятся для копирования. В то же время последовательность нуклеотидов, образующих полинуклеотидные молекулы, может быть легко скопирована. Поэтому программы "сборки" белковых молекул закодированы в нуклеиновых кислотах, и именно они копируются в каждом поколении и передаются по наследству.

Разумеется, сами по себе белки и нуклеиновые кислоты еще не образуют организма. Чтобы ферменты могли синтезировать все новые молекулы нуклеиновых кислот, ферментов и других веществ, необходимых для построения организма, им нужно исходное сырье, а также источник энергии и растворитель. Растворитель (вода) фактически представляет собой основной компонент большинства живых существ. (Более подробно об источниках энергии и воде мы будем говорить дальше.) Имея в своем распоряжении исходное сырье, энергию и воду, генетическая система получает возможность сформировать организм, включая все те структуры, которые сами по себе лишены генетических свойств, например мембраны, окружающие каждую клетку.

Помимо этих основных условий для создания организма в генетической информации должна содержаться программа, определяющая порядок "работы". Ведь тысячи генов, в которых записана программа построения живой системы, не существуют все одновременно в активном состоянии. В ходе сложных стереотипных изменений, составляющих основу индивидуального развития организмов, особенно у многоклеточных растений и животных, различные гены активируются не одновременно и в разных клетках. Рассмотрим простой пример. Гемоглобин вырабатывают только определенные клетки организма, и гены, несущие информацию, необходимую для синтеза двух аминокислотных цепей, образующих этот белок, активны только в тех клетках, которые производят гемоглобин, хотя присутствуют во всех. Более того, гемоглобин, синтезируемый в клетках эмбриона или млекопитающих, отличается от того, который синтезируется в клетках взрослых особей. Это означает, что разные гены гемоглобина вступают в действие на различных стадиях развития организма. Закономерности такого рода, присущие

всем генам и клеткам организма, обеспечивают формирование отдельной особи-будь то животное или растение, начиная с момента оплодотворения. Программа управления этим процессом генетически закодирована. Природа управляющих сигналов и различных механизмов, включаемых в ходе развития, еще не совсем понятна-это предмет многих современных биологических исследований.

Откуда же информация поступает в гены? Непосредственный источник ее-гены родителей. Первичным же источником этой информации являются случайные мутации-произвольные изменения отдельных нуклеотидов, а иногда более значительные перестройки ДНК, отобранные и закрепленные в процессе естественного отбора. Мутантные гены реплицируются* так же, как и все другие, но при трансляции** они дают начало белкам с новой последовательностью аминокислот и новыми свойствами или вызывают образование измененных генетических программ развития. В большинстве случаев возникшие мутации либо вредны, либо бесполезны и поэтому отсеиваются в процессе естественного отбора. Однако иногда мутация приводит к синтезу нового полезного белка или изменению процесса индивидуального развития, что дает то или иное преимущество особи, обладающей им. Такая мутация сохраняется и распространяется благодаря естественному отбору, так как несущие ее особи оставляют в среднем больше потомства, чем не имеющие ее. В конце концов мутантный тип может стать доминирующим в популяции.

Возникновение у насекомых и клещей вновь приобретенной устойчивости к инсектицидам - явление, наблюдаемое во всем мире, объясняется именно такой эволюцией белка и последующим распространением новой формы. У некоторых видов насекомых синтезируется мутантная форма ацетил холинэстеразы (фермента, необходимого для жизнедеятельности нервных клеток), которая нечувствительна к органическим фосфатам, специально предназначенным для ее уничтожения. Недавно у них возник новый мутантный фермент дегидрохлориназа, который разрушает ДДТ, что обеспечивает устойчивость мух и москитов к этому химическому препарату. Вполне естественно, что новые белки создаются

* Репликация синтез дочерней молекулы на родительской, подобный получению реплики на матрице. - Прим. перев.

** Трансляция процесс, с помощью которого генетическая информация переводится из нуклеиновой кислоты в белок. -Прим. перев.

не только у насекомых, но и у бактерий, у которых устойчивость к антибиотикам вырабатывается настолько быстро, что это ставит серьезные проблемы перед здравоохранением. Исследования показали, что инсектициды и антибиотики сами по себе не вызывают мутаций, приводящих к возникновению устойчивости. Очевидно, что подобные мутации присутствуют в популяциях, еще не подвергавшихся воздействию препаратов, однако там они встречаются довольно редко. Неоднократное воздействие токсического вещества уничтожает особей, чувствительных к этому веществу, тогда как устойчивые мутанты, размножаясь, приходят на смену исходному типу.

Приведенные примеры касаются случаев небольших эволюционных изменений, которые произошли сравнительно недавно. Вся же генетическая информация, заложенная в организмах того или иного вида, является результатом очень длительной истории таких изменений. Таким образом, всю совокупность генов можно рассматривать как "летопись" случаев полезных мутаций, идущую из далекого прошлого.

Теперь мы можем ответить на вопрос: "Что такое жизнь?". Характерным генетическим признаком живых существ является способность к саморепликации и мутациям, лежащая в основе эволюционного развития всех структур и функций, которыми и отличаются живые объекты от не живых. В таком случае на наш вопрос можно ответить примерно так: жизнь равнозначна наличию генетических свойств. Любая система, способная к свободным мутациям и их последующему воспроизведению, почти неизбежно должна развиваться по пути, обеспечивающему ее выживание. За свою долгую эволюцию она достигает той степени сложности, разнообразия и целесообразности в своем строении, которую и принято обозначать словом "живое". Таким образом, тот "творец", следы деятельности которого мы находим повсюду в живом мире, есть не что иное, как естественный отбор, влияющий на спонтанные мутации на протяжении длительного времени.

Взгляд на природу жизни в генетическом аспекте был впервые изложен одним из основателей современной генетики американским ученым Г.Дж. Мёллером (1890-1967), открывшим мутагенное воздействие рентгеновского излучения. Задолго до того, как была выяснена химическая природа генов и их связи с белками, Мёллер написал работу "Ген как основа жизни", которую представил на международном конгрессе, состоявшемся в 1926 г. В ней отмечено

следует, что в основе феномена жизни лежат саморепликация и мутабельность. Мы не можем здесь подробно излагать его тщательно аргументированные доводы, но приведем хотя бы небольшой отрывок из резюме статьи, где отражены логика и стиль автора.

Замечено, что процесс роста включает в себя механизм "специфического аутокатализа". без которого существование жизни невозможно. Известно, что ген, находясь в окружении протоплазмы, обладает подобным свойством. Еще более удивительно, что иСН может мутировать, не теряя своей специфической аутокаталитической способности.

Благодаря такому исключительному свойству его возможности превышают уровень соответствующий простому функционированию, а это вызывает невероятные предположения, что любая другая часть протоплазмы независимо от юна также обладает аутоката литической активностью, ибо в действительности "рост" от тальной части протоплазмы, вероятно, следует рассматривать как побочный результат генной активности. Точно так же невероятно трудно предположить, что за аутокатализ от ответа сивенна основная часть простейшей живой материи, высоко организованного ("протоплазменного" по своей природе) вещества, связанного с геном. Следуя этой логике, приходим к выводу, что простые по своей структуре гены, по-видимому, и сформировали основу первичной живой материи. Возможность мутировать без потери способности к росту, присущая только живым организмам, позволила им эволюционировать в более сложные формы с образованием таких побочных продуктов, как протоплазма, сома и т.д., которые в наибольшей степени способствовали их выживаемости. Таким образом, вероятно, именно гены и составляют основу жизни.

Подобный генетический подход признается сейчас практически всеми учеными. Негенетические определения жизни обычно выглядят слишком расплывчатыми либо чересчур ограниченными. Например, если пользоваться ими, то кристаллы или пламя трудно исключить из разряда "живого". Ведь кристаллы обладают высокой степенью упорядочения и способностью к росту, так как зародыши кристаллизации могут воспроизводить самих себя. Пламя способно не только к росту и самовоспроизведению в виде искр-благодаря активному "метаболизму" оно может поддерживаться.

Генетическое определение жизни позволяет нам сделать чрезвычайно важное заключение общего характера: поскольку все гены и белки построены из одних и тех же нуклеотидов и аминокислот, а генетический код (за небольшими исключениями) также универсален, все земные организмы в своей основе одинаковы. Несмотря на всю загадочность феномена жизни, на Земле существует только одна ее форма, и она должна была зародиться лишь однажды.

Жизнь и химия углерода

Генетический подход к эволюции подразумевает, что жизнь связана с химическим составом живой материи. Об этой связи и пойдет речь. Вопрос о химическом строении биологических форм, безусловно, интересен сам по себе, но представление о химической структуре внеземных организмов особенно важно для каждого, кто занимается поисками жизни на Марсе. Жизнь на нашей планете определяется химическими свойствами углерода. Компоненты генетической системы образованы соединениями углерода с небольшим числом других, главным образом легких элементов: водорода, азота, кислорода (см. табл. 2). А может ли какой-то другой химический элемент заменить углерод в биохимических процессах? Хотя писатели-фантасты нередко отвечают на этот вопрос утвердительно, это отнюдь не означает, что подобная замена действительно возможна.

Химики не раз отмечали, что характерной особенностью атомов углерода является способность к формированию, по-видимому, безграничного числа больших, сложных, но вместе с тем достаточно стабильных молекул. Прежде всего атом углерода обладает уникальной способностью образовывать четыре сильные химические связи-называемые ковалентными-с другими атомами, включая атомы самого углерода. Поскольку ковалентные связи имеют пространственную ориентацию, атомы углерода могут создавать скелеты гигантских трехмерных структур определенной архитектуры, подобные белкам и нуклеиновым кислотам.

Другая важная особенность соединений углерода - их химическая инертность. В условиях, господствующих на земной поверхности, органические соединения термодинамически нестабильны. Они не находятся в равновесии с окружающей средой, а

подобно камню, лежащему на склоне юры, под действием любого достаточно сильного внешнего толчка "скатываются" вниз к равновесному состоянию. Так, при нагревании или в присутствии катализаторов активированные органические вещества соединяются с кислородом атмосферы: многие органические соединения взаимодействуют также с водой или испытывают ряд других изменений. Но, несмотря на свою термодинамическую нестабильность, соединения углерода химически инертны, т. е. с трудом вступают в реакции. Достижению термодинамического равновесия препятствует то обстоятельство, что четырехвалентные атомы углерода обладают слабой реакционной спо

Таблица 2. Элементный состав белков и ДНК (число атомов на 100) Элемент В среднем по 314 ДНК человека белкам* Углерод (С) 31,6 29,8 Водород (Н)** 49,6 37,5 Кислород (О) 9,7 18,3 Азот (N) 8,8 11,3 Сера (S) 0,3 Фосфор (P) - 3,1 * Рассчитано заново по данным Дайхофф (1972).

** В этих молекулах атомов водорода больше, чем в молекулах других ИИ10В. Но водород не может служить структурной основой молекулы, поскольку он образует лишь одну ковалентную связь.

способностью, т. е. если воспользоваться прежней аналогией, камень, лежащий на склоне горы, находится в этом случае в глубокой яме. Подобная инертность, обусловленная электронной структурой атомов углерода, и обеспечивает образование молекулярных систем чрезвычайно сложной структуры, но вместе с тем очень стабильных. В процессе обмена веществ ферменты в соответствующий момент соединяются с молекулами и, видоизменяя их, обеспечивают тем самым протекание необходимых реакций.

Благодаря этим уникальным свойствам углерод служит основным материалом для построения диетических систем. Эти же свойства объясняют способность углерода создавать в 10 раз больше соединений, чем все другие элементы вместе взятые. В силу тех же своих особенностей углерод, составляющий лишь 0,5% от общего состава земной коры, является элементом, более характерным для живой материи, чем, например, близкий к нему по химическим свойствам кремний. На земной поверхности на каждый атом углерода приходится 25 атомов кремния, однако роль кремния и ОНОХМНН очень незначительна. Кислород и углерод, кремний образуют четыре ковалентные связи, но сила этих связей различна: связь кремний-кислород слабая, кремний-кислород сильная. По той же причине кремний существует на Земле в виде силикатов инертных соединений, в больших количествах, в которых каждый атом кремния связан с четырьмя атомами кислорода, а соединения, состоящие из

цепочек, содержащих шесть и более атомов кремния, вообще не обнаружены. Это резко контрастирует с разнообразием больших структур, основанных на углероде. Соединения кремния и водорода, так называемые силаны (или кремневодороды), также принципиально отличаются от их углеводородных гомологов (углеводородов). В то время как углеводороды инертны, силаны загораются при простом контакте с воздухом, разрушаются в воде. Они настолько реакционноспособны, что, как говорят, самым необходимым качеством химика, занимающегося синтезом наиболее сложных по строению силанов, является мужество. И опять же все эти особенности силанов обусловлены электронной структурой атомов кремния: именно благодаря своим свойствам кремний является основным компонентом горных пород, а не живой материи.

Если говорить о построении сложных молекул, то свойства углерода настолько уникальны, что возможность образования генетических систем на основе других элементов серьезно даже не обсуждается. Отмечалось, что 410 цепочек, образованных без участия углерода (например, состоящие из чередующихся атомов кремния и кислорода: -Si-O-Si-O-), потенциально также способны к хранению информации, но ведь это только одна из функций, которые должна выполнять живая система. В числе других ее функций - способность к

мутациям, репликациям и использованию заложенной в ней информации. И пока не удастся доказать, что подобные функции может выполнять какой-то другой элемент, нам остается рассматривать углерод как единственный в своем роде. Это, конечно, не означает, что генетические системы внеземных форм жизни должны быть химически идентичны нашим, однако построены они должны быть обязательно на основе соединений углерода. Как мы увидим, с точки зрения возможности существования жизни на других планетах это заключение имеет далеко идущие последствия.

Возможно, кого-то разочарует и даже приведет в уныние то обстоятельство, что самый надежный путь к обнаружению жизни в другом мире это поиск сложных химических систем, в основе которых лежит углерод. Ведь это то же самое, что мы имеем на Земле. Разве нет надежды найти экзотические существа, построенные, например, на основе ванадия, молибдена или празеодима? По-моему, нет. Названные элементы, во-первых, химически непригодны в качестве основы жизни, а во-вторых, редко встречаются в

природе, тогда как углерод-один из наиболее распространенных во Вселенной элементов. В той мере, в какой случайность может вторгаться в происхождение жизни, более вероятно, что при прочих равных условиях в этом процессе скорее всего должны участвовать более распространенные в природе элементы: однако об этом речь пойдет в последующих двух главах. Структуры, возникшие на основе других элементов, могут оказаться в таком случае в неравных условиях. Благодаря своей "разносторонности" атом углерода предпочтителен и как основа для образования растворов-даже самых экзотических,- что связано с возможностью жизни на других планетах.

Глава 2

Возникновение жизни: самозарождение и панспермия

Трудно создать хорошую теорию, теория должна быть разумной, а факты не всегда таковы.

Джордж У. Бидл, генетик, лауреат Нобелевской премии 1958 г. в области физиологии и медицины

Физик Филипп Моррисон как-то заметил, что в случае обнаружения жизни на других планетах она превратится из чуда в статистику. Открытие жизни за пределами Земли, несомненно, расширило бы наши представления о ее происхождении. Оно помогло бы нам ответить на целый ряд вопросов, которые нельзя решить другим путем, позволило бы проверить наше убеждение в том, что жизнь должна быть основана именно на химии углерода. И если бы в основе новых форм жизни, как и предполагается, находился углерод, то это помогло бы выяснить, могут ли генетические системы строиться из каких-либо иных молекул, чем известные нам нуклеиновые кислоты и белки. Это позволило бы также ответить на вечный вопрос, может ли какой-то другой растворитель заменить воду в живой системе. И так далее-по всему длинному списку загадок, связанных с проблемой происхождения жизни.

Если бы обнаруженные за пределами Земли организмы коренным образом отличались от нас по своему химическому составу, то это свидетельствовало бы о том, что жизнь в различных частях Солнечной системы зародилась независимо, по крайней мере дважды. Но если бы внеземные организмы оказались в своей основе похожими на нас-со сходными белками и нуклеиновыми кислотами, с той же оптической изомерией и с таким же генетическим кодом,- то мы столкнулись бы с новой проблемой. В этом случае пришлось бы заключить, что жизнь либо зародилась независимо дважды, либо один раз, но затем живые организмы были перенесены с одной планеты на другую. Причем последнее

предположение кажется более вероятным. Но какими бы ни были в действительности эти открытия, очевидно, что обнаружение внеземных форм жизни представляет огромный интерес с точки зрения фундаментальной биологии.

Со времен Аристотеля только три естественно-научные теории о происхождении жизни смогли овладеть умами людей. Это теория самозарождения, панспермия и теория химической эволюции. В историческом и научном планах они составляют важную основу, на которой строятся поиски жизни в Солнечной системе. Современная теория химической эволюции находится еще в стадии развития, и о ней речь пойдет в следующей главе.

Самозарождение

Сущность гипотезы самозарождения заключается в том, что живые предметы непрерывно и самопроизвольно возникают из неживой материи, скажем из грязи, росы или гниющего органического вещества. Она же рассматривает случаи, когда одна форма жизни трансформируется непосредственно в другую, например зерно превращается в мышь. Эта теория господствовала со времен Аристотеля (384-322 г. до н.э.) и до середины XVII в., самозарождение растений и животных обычно принималось как реальность. В последующие два столетия высшие формы жизни были исключены из списка предполагаемых продуктов самозарождения - он ограничился микроорганизмами.

Литература того времени изобилует рецептами по лечению червей, мышей, скорпионов, угрей и т.д., а позднее микроорганизмов. В большинстве случаев все "рекомендации" сводились к цитатам из работ древнегреческих и арабских авторов: значительно реже встречались подробные описания экспериментов.

Как говорят историки, науку создали древние греки, а отцом биологии был Аристотель. Действительно, он внес в биологию рациональное начало, свойственное древнегреческим мыслителям, сущность которого состояла в том, что человек, опираясь на силу своего разума, способен понять явления живой природы. В своих философских трудах Аристотель уделил много внимания методам логического доказательства: создал формальную логику, в частности ввел понятие силлогизма. Он также занимался наблюдениями явлений природы, в особенности живой. Но в этой области его умозаключения ненадежны. И хотя некоторые описания Аристотеля, в частности относящиеся к поведению животных, весьма любопытны, его биологические наблюдения

полны ошибок и неточностей. Многие из того, о чем он писал, основано, вероятно, только на слухах.

Например, в своей "Истории животных" Аристотель так описывает процесс самозарождения:

Вот одно свойство, присущее как животным, так и растениям. Некоторые растения возникают из семян, а другие самозарождаются благодаря образованию некой природной основы, сходной с семенем; при этом одни из них получают питание непосредственно из земли, тогда как другие вырастают внутри других растений, что между прочим было отмечено мною в трактате по ботанике. Так же и с животными, среди которых одни в соответствии со своей природой происходят от родителей, тогда как другие образуются не от родительского корня, а возникают из гниющей земли или растительной ткани, подобно некоторым насекомым; другие самозарождаются внутри животных вследствие секреции их собственных органов.

... Но как бы ни самозарождались живые существа - в других ли животных, в почве, в растениях или их частях, результатом спаривания появившихся таким образом мужских и женских особей всегда является нечто дефектное, непохожее на своих родителей. Например, при спаривании вшей возникают гниды, у мух - личинки, у блох - яйцевидные по форме личинки. и такое потомство не порождает особей родительского типа или каких-либо других животных вообще, а лишь нечто неопределимое.

Аристотель хорошо знал, что многие насекомые имеют сложный цикл развития и, прежде чем стать взрослыми, проходят через стадии личинки и куколки. Но хотя в своем описании генезиса двух видов насекомых он допускает явные ошибки, его суждения строго логичны. Самозарождение не отвечало бы здравому смыслу, его существование было бы сомнительным, если бы возникшие в результате этого процесса виды могли нормально воспроизводиться. Следовательно, говорит Аристотель, эти существа при своем спаривании производят нечто "неописуемое", что и обуславливает постоянную необходимость самозарождения.

Разумеется, сейчас все это выглядит бессмыслицей, но наука, созданная Аристотелем, уже была наукой, хотя и в младенческом состоянии. Достаточно сказать, что исследование насекомых он считал занятием, достойным внимания. Как ни трудно в это поверить, развитые им представления сохранялись практически неизменными на протяжении почти 2000 лет. Даже средневековая церковь признавала авторитет Аристотеля в вопросах самозарождения, и сам святой Фома Аквинский (1225-1274) связывал его взгляды с христианским учением, утверждая, что самозарождение осуществляется ангелами, которые используют для этого солнечные лучи.

На XVI в. эпоху господства религиозных суеверий, при ходится расцвет классического учения о самозарождении. Его очень активно развивал в это время врач и естествоиспытатель Парацельс (1493-1541) и его последователь Ян Баптист ван Гельмонт (1579-1644). Последний предложил "метод производства" мышей из пшеничных зерен, помещенных в кувшин вместе с грязным бельем, на который многократно ссылались в дальнейшем. Двумя веками позже Пастер, комментируя "метод" ван Гельмонта, писал: "Это доказывает лишь то, что ставить эксперименты легко, но трудно ставить их безупречно".

В своей работе, впервые опубликованной в 1558 г. под названием "Магия природы", Джамбатиста делла Порта приводит еще больше сведений о самозарождении, которого было столь богато его время. Этот неаполитанский ученый-любитель был основателем и вице-президентом Академии деи Линчей* - одного из самых первых в мире научных обществ. Его книга, содержащая популярное описание не некоторых технических диковин, чудес природы и всяких роузыгрышей, была переведена на несколько языков. Вот отрывок из ее английского издания, опубликованного в Лондоне в 1658 г.:

В Дариене, расположенном в одной из провинций Нового света, очень нездоровый воздух, место грязное, полное зловонных болот, более того, сама деревня представляет собой болото, где, по описанию Петра Мартира, жабы выводятся из капель жидкости. Кроме того, они рождаются из гниющих в грязи утиных трупов: есть даже стихи, где утка говорит: "Когда меня гноят в земле, я жабу произвожу на свет..."

Грек Флорентинус утверждал, что если пожевать базилик, а затем положить его на солнце, то из него появятся змеи. А Плиний при этом добавлял, что если базилик потереть и положить под камень, то он превратится в скорпиона, а если пожевать и положить на солнце то в червяка.

Саламандры рождаются из воды: сами они никого не производят, потому что у них, как и у угрей, нет ни мужских, ни женских особей...

Рыбы под названием ортика, бабочки-нимфалины, мидии, рабешки, морские улитки, другие брюхоногие моллюски и ракообразные рождаются из грязи, поскольку они не способны

* Национальная академия деи Линчей (Accademia Nazionale dei Lincei) - одна из старейших в Европе академий наук: существует (с перерывами) с 1603 г. в Италии. Название происходит от слова //псе-рысь: основатели академии поклялись исследовать природу глазами зоркими, как у рым.-Прим. ред.

спариваться и по своему образу жизни напоминают растения. Замечено, что разная

грязь производит на свет различных животных: темная грязь порождает устриц, красноватая морских улиток, грязь, образовавшаяся из горных пород, голотурий, гусей и т.п. Как показал опыт, брюхоногие за рождаются в гниющих деревянных загородках, что служат для лова рыбы, и как только исчезают загородки, пропадают и эти моллюски.

Современному читателю, привыкшему рассматривать происхождение жизни как однократное и самое значительное в истории Земли событие, подобные описания кажутся сказками. И все же не следует считать их просто чьими-то выдумками. Скорее всего, столь уверенные сообщения в какой-то степени основывались на действительных наблюдениях широко известных явлений, но их неправильно объясняли, стремясь согласовывать наблюдаемое с древними авторитетами, да и с обычной житейской практикой. Классическое учение о самозарождении вместе со многими другими освященными веками фантастическими представлениями было похоронено в эпоху Возрождения. Его ниспровергателем стал Франческо Реди (1626-1697), физик-экспериментатор, известный поэт и один из первых ученых-биологов современной формации, он был фигурой, типичной для эпохи позднего Возрождения. Книгу Реди "Опыты по самозарождению насекомых" (1668), которая в основном и создала ему научную репутацию, отличают здоровый скептицизм, тонкая наблюдательность, прекрасная манера изложения результатов. Хотя главным объектом его исследований были насекомые, он изучал также зарождение скорпионов, жаб, лягушек, пауков и перепелов. Реди не только не подтвердил распространенное тогда мнение о самозарождении перечисленных животных, а, напротив, в большинстве случаев продемонстрировал, что на самом деле они рождаются из оплодотворенных яиц. Таким образом, результаты его тщательно проведенных опытов опровергли представления, сформировавшиеся в течение 20 столетий.

Реди построил эту работу в виде письма к своему другу Карло Дати. Начав с истории вопроса, он далее писал:

Как я уже говорил, суть рассуждений древних и современных ученых и широко распространенный взгляд на эту проблему в наши дни сводятся к тому, что гниение мертвого тела или отходов, представляющих собой разлагающуюся материю, порождает червей. Стремясь хотя бы отчасти убедить в справедливости такого взгляда, я проделал следующий эксперимент. В начале июня я приказал убить трех змей из тех,

зовутся эскулаповыми угрями. Их трупы я оставил разлагаться в открытой коробке и через некоторое время заметил, что они покрылись червями конической формы, по-видимому, не имеющими ног. Эти черви жадно пожирали мясо, увеличиваясь день ото дня как в размерах, так и в числе...

Далее следует подробное описание "червей", их превращения в куколок и наконец во взрослых мух. Реди тщательно описывает результаты повторных наблюдений, при которых он использовал различные сорта мяса.

Я продолжал сходные эксперименты с сырым и вареным мясом быка, оленя, буйвола, льва, тигра, собаки, ягненка, козленка, кролика; иногда с мясом уток, гусей, куриц, ласточек и т. д. и наконец, с мясом различных рыб... В каждом случае выводились мухи того или иного из упомянутых типов, а иногда на мясе одного животного обнаруживались мухи обоих типов. . . и почти всегда я замечал, что само разлагающееся мясо и щели в коробках, где оно лежало, были покрыты не только червями, но и яйцами, из которых, как я уже говорил, выводились черви. Эти яйца заставили меня подумать о тех отложениях, которые мухи оставляют на мясе и которые в конце концов становятся червями, - факт, отмеченный составителем словаря нашей Академии, а также хорошо известный охотникам и мясникам, которые летом защищают мясо от мух, заворачивая его в белую материю...

Рассмотрев эти факты, я убедился, что все черви, обнаруженные в мясе, произошли непосредственно из отложений, сделанных мухами, а не из-за его гниения, и я еще более

утвердился в этом предположении, заметив, что мухи, кру жившиеся над мясом перед тем, как оно зачервивело, относятся к тому же типу, что и те, которые вывелись на нем впоследствии. Это суждение требовало, однако, экспериментального подтверждения, и в середине июля я положил мертвую змею, некоторое количество рыбы, угрей и ломтик телятины в четыре большие широкогорлые бутылки; хорошо закрыв их и запечатав, я подобным же образом заполнил затем еще столько же бутылей, но оставил их открытыми. Вскоре мясо и рыба в открытых сосудах покрылись червями, и было видно, как туда свободно влетают мухи, тогда как в закрытых бутылках я не заметил червей даже по прошествии многих дней.

Оставив это длинное отступление и возвращаясь к моим доводам, должен сказать Вам, что, несмотря на эти факты, доказывающие невозможность возникновения червей в мясе мертвых животных, если в него не отложено семя других живых существ, чтобы разрешить последние сомнения, я провел новый эксперимент. На этот раз я положил мясо и рыбу в большой сосуд, покрытый тонкой и гладкой сеткой, обеспечивавшей свободный доступ воздуха. В целях более полной защиты от мух сосуд был помещен в специальную клетку, покрытую такой же сеткой. В этих условиях я никогда не видел на мясе червей, хотя нетрудно было заметить, как много их ползает по сетке, покрывающей клетку. Привлеченные запахом мяса, они в конце концов сумели бы, наверное, проникнуть в сосуд через мелкие ячейки сетки, если бы я быстро не удалил их.

Подобная постановка опытов очень современна. Последние два эксперимента Реди стали классическими и послужили моделями для будущих исследований процесса самозарождения. В других главах книги Реди описывает свои дальнейшие эксперименты, последовательно и убедительно критикуя широкораспространенные домыслы и заблуждения, связанные с самозарождением животных. По ходу повествования Реди дает верное истолкование и наблюдениям делла Порты:

Появилась благоприятная возможность для проверки утверждения Батиста Порты относительно зарождения жаб из гниющего мяса, валяющегося в навозной куче. Три опыта с этим материалом не дали никаких результатов, и это убедило меня в том, что Порты проявлял здесь излишнюю доверчивость, будучи в других случаях очень интересным и глубоким писателем.

Книга Реди в течение 20 лет переиздавалась пять раз, и в результате знакомства с ней все более широкого круга образованных людей вера в возможность самозарождения животных постепенно исчезла. Однако этот вопрос снова возник, хотя уже на другом уровне, примерно в 1675 г. вслед за открытием микроорганизмов голландцем Антони ван Левенгуком (1632-1723). Это открытие стало возможным благодаря усовершенствованию в XVII в. техники изготовления линз. Сам Левенгук был одновременно и опытным мастером по изготовлению линз, и исследователем, увлеченно работающим с микроскопом. Ряд важных открытий, сделанных Левенгуком в течение его долгой жизни, создали ему известность, и он по праву считается одним из основоположников научной микроскопии.

Микроорганизмы настолько малы и, кажется, так просто организованы, что с самого их открытия широко распространилось мнение, будто они представляют собой продукты распада, принадлежащие к нечетко обозначенной промежуточной области между живым и неживым. Таким образом, вопрос о самозарождении вновь оказался в центре внимания в знаменитой полемике XVIII в., разгоревшейся между английским священником Дж.Т.Нидхемом (1713-1781) и итальянским натуралистом аббатом Ладзаро Спаллангани (1729-1799). Нидхем утверждал, что если баранью подливку и подобные ей настои сначала нагреть, а затем герметически закрыть в сосуде с небольшим количеством воздуха, то в течение нескольких дней они обязательно порождают микроорганизмы и разлагаются. Он полагал, что раз нагревание исследуемого объекта убивает все ранее существовавшие в нем

организмы, то, следовательно, полученный результат

служит доказательством самозарождения. Повторяя эксперименты Нидхема, Спалланцани показал, что если колбы нагреть после закупоривания, то в них не возникает никаких организмов и не происходит гниения, как долго бы они ни хранились. (В одном из своих опытов Спалланцани герметично закупорил в стеклянном сосуде зеленый горох с водой, после чего в течение 45 мин держал его в кипящей воде. Позже, в 1804 г., парижский шеф-повар Франсуа Аппер использовал этот метод для получения первых консервированных продуктов. Таким образом, консервная промышленность явилась одним из побочных результатов дискуссии о самозарождении.)

Нидхем заявил в ответ, что чрезмерное нагревание разрушило внутри закрытого сосуда содержащийся в воздухе жизненно важный элемент, без которого самозарождение невозможно. Методы газового анализа в то время были еще недостаточно развиты, чтобы разрешить этот спор. В действительности оказалось, что результат, полученный Нидхемом, был следствием скрытой ошибки, которую не удалось в течение целого столетия. Известнейшие ученые XIX в., включая Жозефа Луи Гей-Люссака, Теодора Шванна, Германа фон Гельмгольца, Луи Пастера и Джона Тиндаля, были вовлечены в этот спор. Великий французский химик Гей-Люссак поддержал точку зрения Нидхема, обнаружив, что из нагретого в присутствии органического вещества воздуха кислород исчезает, а его отсутствие, как показали дальнейшие опыты, - необходимое условие консервирования продуктов. Однако решающий эксперимент, т. е. эксперимент Реди, по проделанным с микроорганизмами, остался невыполненным.

Вопрос, казалось бы, прост: будут ли расти в стерилизованном органическом настое микроорганизмы в присутствии воздуха, из которого удалены все микробы? Не смотря на кажущуюся простоту вопроса, существовавшая в то время экспериментальная техника не позволяла дать на него убедительный ответ. Было поставлено множество хитроумных экспериментов, но каждый раз исследователи давали неточные или лишь отчасти правильные и противоречивые объяснения наблюдаемого. Поскольку проблема самозарождения имела большое общемировоззренческое и практическое значение, разгорелись бурные дискуссии.

Страсти достигли кульминации в 1859 г., когда Феликс Пуше (1800-1872), директор Музея естественной истории в Руане, опубликовал книгу, где вновь сообщалось об экспериментальном подтверждении самозарождения. Своим предисловием Пуше начал так: "Когда в результате размышлений мне стало ясно, что самозарождение представляет собой еще один способ, который природа использует для воспроизведения живых существ, я сосредоточил все внимание на том, чтобы экспериментально продемонстрировать соответствующее явление. Английский физик Джон Тиндаль (1820-1893), принимавший активное участие в дискуссии, так прокомментировал появление на арене Пуше:

Никогда еще ни один предмет спора не требовал столь холодного и критического ума, как этот, спокойствия в познании столь сложного явления, тщательности в постановке и исполнении опытов, умелого подбора условий и постоянного сомнения в результатах, пока строгая повторяемость не убедит вас в их безупречности. Для человека с темпераментом Пуше подобный предмет таил в себе опасность, которую еще более усиливало его предвзятое отношение к проблеме.

В это время в исследования включился Луи Пастер (1822-1895). Изучая с точки зрения химии процесс спиртового брожения, он вопреки многочисленным возражениям пришел к выводу, что этот процесс вызывается живыми организмами. Проведенные эксперименты послужили хорошей подготовкой для решения последующей задачи. Исследования Пастера - это в методическом отношении безупречно поставленная серия опытов, ознаменовавших собой одно из величайших достижений экспериментальной биологии. В сущности они

привели к закрытию долгого спора о самозарождении. Пастер разрешил все трудности, пугавшие его предшественников. Он недвусмысленно показал, что загадочной "первопричиной", витавшей в воздухе и вызывающей в стерильном бульоне рост микроорганизмов, являются те же самые микроорганизмы, которые переносятся частицами пыли.

Рассмотрим вкратце один из самых простых и изящных экспериментов Пастера, убедительность которого поразила даже самого ученого. Нужную питательную среду, например дрожжевой экстракт с сахаром, Пастер помещал в колбы: затем, нагревая их горло в пламени, оттягивал его так, что получились узкие, но тем не менее открытые трубки, изогнутые различным образом (рис. 5). Далее он доводил питательную среду в колбе до кипения и поддерживал ее в таком состоянии в течение нескольких минут, после чего давал ей остыть. Обработанная таким образом среда оставалась в колбах стерильной неограниченно долго даже при контакте с воздухом. К удивлению Пастера, колбы можно

было даже перемещать с места на место, не опасаясь заражения среды. Пытаясь объяснить этот эффект, ученый предположил, что воздушный столб в длинном горле действует как своего рода подушка, препятствуя быстрому движению воздуха; в результате проникающая в горло колбы пыль оседает на его стенках раньше, чем достигает питательной среды. Чтобы доказать, что заключенная в колбе питательная среда, будучи инфицированной, способна поддерживать рост микроорганизмов, Пастер обрезал у некоторых колб горло-и вскоре процесс размножения действительно начинался.

Таким образом, Пастеру удалось повторить опыты Реди на уровне одноклеточных организмов. Он продемонстрировал, что в мире микробов, как и среди высших видов, любая форма жизни ведет свое существование от "родительской". Результаты, полученные Пастером, не вызывали сомнений, но тем не менее в течение ряда лет высказывались

различного рода контрдоводы и возражения. Особенно интересным случаем произошел в 1870-х годах в Англии, когда Джон Тиндаль защищал точку зрения Пастера от нападок одного врача по имени Г. Чарлтон Бастиан. Исследования Тиндаля по рассеянию света на частицах пыли в атмосфере позволили ему осуществить новые опыты, свидетельствующие о роли пыли в переносе инфекции. Он показал, что способная к гниению среда, заключенная в открытых (контрольных) пробирках, остается стерильной, пока воздух над ними свободен от пыли. Далее рассказывается, каким способом Тиндалю удалось обнаружить присутствие пыли в воздухе. Его изобретательность создала ему славу выдающегося популяризатора науки викторианской эпохи.

Вернемся в Лондон времен королевы Виктории и обратим внимание на плавающую в воздухе пыль. Представим себе комнату, где только что произведена уборка. Окна в ней плотно закрыты, и лишь через узкое отверстие в ставне проникает пересекающий комнату солнечный луч. Плавающая в воздухе пыль позволяет увидеть путь света. Чтобы сфокусировать пучок параллельных световых лучей, поместим в отверстие линзу. Теперь лучи образуют конус, в вершине которого освещенность настолько велика, что пыль кажется почти белой. В темноте глаз особенно чувствителен к такому освещению. Пыль, насыщающая лондонский воздух, - это органическое вещество, которое можно сжечь без остатка. Действие пламени спиртовки на плавающее в воздухе вещество Тиндаль описывал следующим образом:

"В интенсивный параллельный пучок света, освещавший пыль в воздухе нашей лаборатории, я поместил зажженную спиртовку. В самом пламени и по его краям были видны странные темные завихрения, похожие на густой черный дым. Такие же темные вихри, устремленные вверх, можно было заметить, поместив пламя чуть ниже пучка света. Они выглядели чернее самого черного дыма, выходящего из паровой трубы: их сходство с дымом было столь велико, что невольно возникала мысль, что для обнаружения таких

облаков своего углерода в чистом пламени спиртовки, по-видимому, необходим лишь пучок света достаточной интенсивности.

Но действительно ли эти темные завихрения являются дымом? Ответ на этот мгновенно возникший вопрос нам удалось найти следующим образом. Под пучком лучей мы погасили раскаленную докрасна кочергу, и от нее тоже стали подниматься черные вихри; затем мы наблюдали за сильным пламенем водородной горелки, которое само по себе не дает дыма, но и горение водорода сопровождалось мощным вихревым движением темной массы. Если это не дым, то что же она собой представляет? Как и в межзвездном пространстве, темнота здесь объясняется отсутствием на пути пучка света какого-либо вещества, вызывающего его рассеяние. Когда пламя находилось под пучком лучей, имеющееся в воздухе вещество разрушалось, и очищенный от него горячий воздух, поднимаясь,

пересекал пучок света, унося прочь освещенные частицы и тем самым-благодаря собственной абсолютной прозрачности вызывая образование темных вихрей. Ничто не могло бы убедительнее продемонстрировать невидимость того, что делает все вещи видимыми. Световой пучок пересекал невидимое черное пространство, образованное прозрачным воздухом, в то время как по обе стороны от него сияли плотные массы частиц пыли, подобно тому как светятся любые тела, освещенные сильным светом".

Тиндаль изобрел также метод стерилизации растворов, содержащих споры бактерий, способные выживать в кипящей воде: этот метод до сих пор известен под названием "тиндализация". Суть его заключается в том, что стерилизуемый раствор несколько раз нагревается в течение ряда дней: непроросшие споры выдерживают нагревание, а проросшие гибнут. Таким образом, после нескольких последовательных нагреваний раствор становится стерильным. Опыты Тиндаля были столь оригинальными, а его поддержка взглядов Пастера столь энергичной, что он по праву разделяет с Пастером славу ниспровергателя учения о самозарождении.

Исследования Пастера и Тиндаля нашли еще одно практическое применение. Его предложил их современник хирург Листер (1827-1912), хорошо знакомый с работами этих ученых. Листер высказал мысль, что если бы операционное поле на теле больного удалось изолировать от микроорганизмов, попадающих из воздуха, то это спасло бы жизнь многим оперируемым. В те времена в английских больницах смертность при ампутации достигала 25-50%-главным образом вследствие заражения. При операциях в полевых условиях во время военных кампаний дело обстояло еще хуже. Так, в ходе франко-прусской войны из 13 тыс. ампутаций, проведенных французскими хирургами, не менее 10 тыс. имело смертельный исход! Пока сохранялась вера в самозарождение микробов, не было причин удалять их из раны. Однако после открытия Пастера Листер понял, что носителей инфекции необходимо уничтожать прежде, чем они попадут на операционное поле. И Листер добился успеха, применив карболовую кислоту (фенол) в качестве антибактериального средства. Он стерилизовал инструменты, опрыскивал кабинет и даже пропитывал одежду больного раствором фенола. Принятые меры дали отличные результаты, что привело к рождению антисептической хирургии.

Панспермия

Учение о самозарождении постепенно умирало на протяжении столетий, и то, что оно было окончательно похоронено Пастером и Тиндалем, вряд ли может удивить современных ученых. Однако не существовало теории, способной занять его место. Нетрудно представить, что в XIX в. при чрезвычайно низком уровне знаний о химической организации живой материи, всякий, кто попытался бы думать о происхождении жизни, был обречен на неудачу. Как за метил в 1863 г. Дарвин в письме Гукеру, "суший вздор рассуждать сейчас о происхождении жизни; с тем же успехом можно было бы рассуждать о происхождении

материи".

Дарвин был прав. Слишком мало было в то время известно о природе жизни и истории Земли, чтобы про дуктивно рассуждать о происхождении жизни. Однако кру шение учения о самозарождении привело некоторых из вестных ученых к мысли, что жизнь никогда не возникала, а, как материя или энергия, существовала вечно. Согласно этому представлению, "зародыши жизни" блуждают в кос мическом пространстве до тех пор, пока не попадают на подходящую по своим условиям планету-там они и дают начало биологической эволюции. Эту идею поддерживали Герман ван Гельмгольц (1821-1894) и Уильям Томсон (позднее лорд Кельвин; 1824-1907)-самые знаменитые фи зики XIX в. Гельмгольц, лично ставивший опыты по изу чению самозарождения бактерий, в лекции, прочитанной в 1871 г., говорил:

Я не смогу возразить, если кто-нибудь будет считать данную гипотезу в большой или даже очень большой степени неправдоподобной. Но мне кажется, что в случае, если все наши попытки получить живые организмы из неживой материи про валяются, с научной точки зрения правомочно задать вопрос: возникла ли жизнь когда-нибудь вообще или же ее зародыши переносятся из одного мира в другой и развиваются повсюду, где есть подходящие условия?

Гельмгольц и Томсон были близкими друзьями и, вполне вероятно, не раз обсуждали этот вопрос. Как бы там ни было, несколькими месяцами позже Томсон высказал очень похожую мысль в своем президентском обращении к Бри танской ассоциации развития науки:

Достаточно точными экспериментами, проведенными к на стоящему времени, показано, что любой форме жизни всегда предшествует жизнь. Мертвая материя не способна превра титься в живую, не испытав предварительно воздействия живой

материи. Мне это представляется такой же несомненной науч ной истиной, как закон всемирного тяготения. Я готов принять в качестве научного постулата, справедливого всегда и повсюду, утверждение, что жизнь порождается только жизнью и ничем, кроме жизни. Но как же тогда произошла жизнь на Земле?

Далее он говорил о том, что во Вселенной должно существовать много других миров, несущих жизнь, которые время от времени разрушаются при столкновении с другими космическими телами, а их обломки с живыми растениями и животными рассеиваются в пространстве.

Следовательно, в высшей степени вероятно, что в космосе движется бесчисленное множество метеоритных камней, несущих семена жизни. Если бы в настоящее время жизни на Земле не существовало, то один такой упавший на нее камень мог бы стать так называемой естественной причиной возникновения жизни, в результате чего Земля покрылась бы растительно стью. .. Гипотеза о том, что жизнь на Земле произошла бла годаря таким обломкам более древних миров, может показаться дикой и фантастичной; однако по этому поводу я могу лишь утверждать, что она не является ненаучной.

Эта идея была тщательно разработана в 1908 г. шведс ким химиком Сванте Аррениусом (1859-1927), который на звал свою теорию панспермией. Развивая идеи Гельмгольца и Кельвина, он высказал несколько собственных сообра жений, предположив, что бактериальные споры и вирусы могут уноситься с планеты, где они существовали, под действием электростатических сил, а затем перемещаться в космическое пространство под давлением света звезд. На ходясь в космическом пространстве, спора может осесть на частицу пыли; увеличив тем самым свою массу и преодолев давление света, она может попасть в окрестности ближайшей звезды и будет захвачена одной из планет этой звезды. Таким образом, живая материя способна переноситься с планеты на планету, из одной звездной системы в другую. Как указывал Аррениус, из этой теории, в частности, сле дует, что все живые существа во Вселенной должны быть химически родственны.

Теория панспермии опирается на два утверждения, ко торые следует рассмотреть отдельно. Первое из них заклю чается в том, что жизнь существовала всегда, т. е. она неразрывно связана с материей. Сейчас мы можем с уве ренностью сказать, что эта мысль ошибочна. Жизнь в отличие от материи и энергии не относится к числу фун даментальных свойств Вселенной; она скорее представляет собой проявление определенных комбинаций молекул, ко

торые не могли существовать вечно, поскольку не всегда существовали даже элементы, из которых они состоят. Кос мологи считают, что Вселенная первоначально состояла из самого легкого элемента водорода или из нейтронов-фун даментальных частиц, имеющих примерно такую же массу, как атом водорода. Все элементы тяжелее водорода об разовались (и образуются в звездах до сих пор) из водорода в реакциях ядерного синтеза. Эти реакции служат главным источником звездной энергии. Хотя за время существования наблюдаемой Вселенной (по оценкам 10-15 млрд. лет) часть водорода была израсходована, он до сих пор остается наиболее распространенным элементом. Около 90% атомов наблюдаемой Вселенной (что составляет около 60% ее мас сы) приходится на водород, остальная часть - это в основном гелий, элемент, следующий по массе за водородом. Но поскольку кроме водорода для организации живой материи необходимы и другие элементы, жизнь не может быть "ровесницей" Вселенной-она должна была возникнуть го раздо позднее.

Второе утверждение теории панспермии, согласно ко торому споры могут и должны переноситься через кос мическое пространство, в наши дни представляется гораздо менее правдоподобным, чем это казалось Аррениусу. Сов местное воздействие ультрафиолетового и рентгеновского излучений, а также космических лучей, которым организмы неизбежно должны подвергаться в космосе, намного опаснее, а межзвездные расстояния и, следовательно, время, необ ходимое для перемещения, значительно больше, чем пред полагал Аррениус. Но сейчас мы располагаем также эм пирическими данными, свидетельствующими о том, что споры, которые бы могли засеивать Вселенную, не способны ни покидать Землю, ни проникать в ее окрестности. В образцах грунта, доставленных с Луны американскими астронавтами во время полетов кораблей "Аполлон", не обнаружено микроорганизмов, хотя предполагалось, что Луна может "улавливать" значительное число частиц, по кидающих Землю или попадающих в ее окрестности из других областей космического пространства. Биологические анализы образцов лунного грунта не выявили никаких ор ганизмов, способных выжить в долгих космических путе шествиях, и до сих пор все подобные исследования дают лишь отрицательные результаты. За время существования Солнечной системы (около 4,5 млрд. лет) споры-если они существуют-должны были попасть и на Марс; но к до

казательствам наличия жизни на Марсе мы обратимся не сколько позже.

Однако, несмотря на факты, свидетельствующие против теории панспермии, она продолжает жить. В последние годы известный американский астрофизик и писатель-фантаст Фред Хойл вместе со своим сотрудником Чандром Вик рамасингхом пришли к невероятному заключению, что не менее 80% частиц межзвездной пыли состоят из клеток бактерий и морских водорослей. Их предположение осно вано на изучении оптических свойств частиц межзвездной пыли. Согласно оценкам, ее масса в нашей Галактике при мерно в 5 млн. раз превосходит массу Солнца. С этой точки зрения Земля почти безжизненна по сравнению с межзвезд ным пространством. Вслед за Аррениусом Хойл и Викра масингх называют эти клетки межпланетными "прыгунами". Но если такие "прыгуны" действительно существовали, то они, наверное, давно бы добрались и до Луны, и до Марса.

Совсем недавно некоторые ученые предложили обновлен ный вариант теории панспермии. Согласно ему, жизнь на Землю опять-таки занесена из космического

пространства, но не случайно, как предполагает классическая теория панспермии, а "доставлена" на межзвездном космическом корабле, отправленном разумными существами с какой-то обитаемой планеты, принадлежащей другой звездной системе. Эта теория предполагает, что жизнь не существовала вечно, как считали Гельмгольц, Кельвин и Аррениус, а зародилась в результате сложной цепи химических превращений (мы расскажем об этом в гл. 3). На примитивной Земле не было подходящих условий для зарождения жизни: поэтому жизнь, существующая ныне на нашей планете, изначально возникла где-то в другом месте Галактики, где условия были благоприятными. Наиболее детально эта гипотеза, получившая название направленной панспермии, была разработана Фрэнсисом Криком и Лесли Оргелом. Крик и Оргел доказывают, что с момента образования Вселенной прошло достаточно времени, чтобы в Галактике могла сформироваться технически развитая цивилизация, которая по неизвестным нам причинам около 4 млрд. лет назад сознательно заселила Землю микроорганизмами, доставленными автоматическим космическим аппаратом.

Поначалу я расценивал эту гипотезу как чистую мистификацию, целью которой было показать несовершенство наших представлений о происхождении жизни. Но, ознакомившись с книгой Крика, где гипотеза направленной

панспермии рассматривается как серьезная альтернатива теории о возможности самостоятельного возникновения жизни на нашей планете (см. [4]), я изменил свое мнение. Хотя нет никаких доказательств в пользу этой гипотезы по сравнению с общепринятой, мы не располагаем и данными, которые позволили бы опровергнуть ее. Обнаружение жизни на какой-то другой планете нашей Галактики, вероятно, могли бы стать проверкой этой гипотезы, поскольку все ее варианты в отличие от гипотезы локального происхождения обязательно предполагают идентичность всех существующих генетических систем.

Теория направленной панспермии входит составной частью в развернувшуюся ныне широкую дискуссию о возможности существования в нашей Галактике внеземных цивилизаций. На теоретические исследования этого вопроса, как и на реальные поиски радиосигналов от иных цивилизаций, направлены все возрастающие усилия многих исследователей. Но хотя в этой проблеме остается еще много неясного, в последние годы наблюдается заметный отход от упрощенного представления, бытовавшего на заре космической эры, согласно которому Галактика просто "кишит" технологически развитыми обществами, которые существуют на планетах земного типа в иных звездных мирах. Как теоретические доводы, так и результаты последних исследований Солнечной системы показали, что пригодные для жизни планеты, видимо, достаточно редки. Другие соображения приводят к выводу, что любая цивилизация, обретя способность к межзвездным полетам, должна быстро (в масштабе геологического времени) распространяться по всей Галактике. Если действительно существуют более древние, чем земная, цивилизации, способные совершать космические полеты, то где же они? Мы явно не обнаруживаем при отсутствии внеземных цивилизаций в Солнечной системе. Эта захватывающая тема довольно подробно изложена в сборнике под редакцией Харта и Цуккермана [7].

Вероятно, самое мудрое — это продолжить попытки выяснения, какие условия существовали на примитивной Земле, и найти хотя бы один правдоподобный путь "самосборки" элементарной генетической системы. Наши достижения на пути к этой цели рассматриваются в следующей главе.

Глава 3

Происхождение жизни: химическая эволюция

Ничтожное ничто-начало всех начал. Теодор Рётке, "Вождление"

Теория химической эволюции-современная теория про исхождение жизни-также опирается на идею самозарождения. Однако в основе ее лежит не внезапное (*de novo*) возникновение живых существ на Земле, а образование химических соединений и систем, которые составляют живую материю. Она рассматривает химию древнейшей Земли, прежде всего химические реакции, протекавшие в примитивной атмосфере и в поверхностном слое воды, где, по всей вероятности, концентрировались легкие элементы, составляющие основу живой материи, и поглощалось огромное количество солнечной энергии. Эта теория пытается ответить на вопрос: каким образом в ту далекую эпоху могли самопроизвольно возникнуть и сформироваться в живую систему органические соединения?

Теория Опарина Юри

Общий подход к химической эволюции первым сформулировал советский биохимик А. И. Опарин (1894-1980). В 1924 г. в СССР была опубликована его небольшая книга, посвященная этому вопросу: в 1936 г. вышло в свет ее новое, дополненное издание (в 1938 г. она была переведена на английский язык). Опарин обратил внимание на то, что современные условия на поверхности Земли препятствуют синтезу большого количества органических соединений, поскольку свободный кислород, имеющийся в избытке в атмосфере, окисляет углеродные соединения до диоксида углерода (углекислого газа, CO_2). Кроме того, он отмечал, что в наше время любое органическое вещество, "брошенное на произвол" на земле, используется живыми организмами (подобную мысль высказывал еще Чарльз Дарвин). Однако, утверждал Опарин, на первичной Земле господствовали иные условия. Можно полагать, что в земной атмосфере того времени отсутствовал кислород, но в избытке имелись водород и газы, содержащие водород, такие, как метан (CH_4) и аммиак (NH_3). (Подобную атмосферу, богатую водородом и бедную кислородом, называют восстановительной в отличие от современной, окислительной, атмосферы, богатой кислородом и бедной водородом.) По мнению Опарина, такие условия создавали прекрасные возможности для самопроизвольного синтеза органических соединений.

Обосновывая свою идею о восстановительном характере примитивной атмосферы Земли, Опарин выдвигал следующие аргументы.

1. Водород в избытке присутствует в звездах (рис. 6 и фото 1).
2. Углерод обнаруживается в спектрах комет и холодных звезд в составе радикалов CN и C_2 , а окисленный углерод проявляется редко.
3. Углеводороды, т. е. соединения углерода и водорода, встречаются в метеоритах.
4. Атмосферы Юпитера и Сатурна чрезвычайно богаты метаном и аммиаком.

Как указывал Опарин, эти четыре пункта свидетельствуют о том, что Вселенная в целом находится в восстановительном состоянии. Следовательно, на первобытной Земле углерод и азот должны были находиться в таком же состоянии.

5. В вулканических газах содержится аммиак. Это, считал Опарин, говорит о том, что азот присутствовал в первичной атмосфере в виде аммиака.

6. Кислород, содержащийся в современной атмосфере, вырабатывается зелеными растениями в процессе фотосинтеза. и, следовательно, по своему происхождению это биологический продукт.

На основании этих рассуждений Опарин пришел к заключению, что углерод на примитивной Земле впервые появился в виде углеводородов, а азот-в виде аммиака. Далее он высказал предположение, что в ходе известных ныне химических реакций на поверхности

безжизненной Земли возникли сложные органические соединения, которые по прошествии довольно продолжительного периода времени, по-видимому, и дали начало первым живым существам. Первые организмы, вероятно, представляли собой очень простые системы, способные лишь к репликации (делению) за счет органической среды, из которой они образовались. Выражаясь современным языком, они были "гетеротрофами", т. е. зависели от окружающей среды, которая снабжала их органическим питанием. На противоположном конце этой шкалы находятся "автотрофы"-например, такие организмы, как зеленые растения, которые сами синтезируют все необходимые органические вещества из диоксида углерода, неорганического азота и воды. Согласно теории Опарина, автотрофы появились только после того, как гетеротрофы истощили запас органических соединений в примитивном океане.

Дж.Б.С.Холдейн (1892-1964) выдвинул идею, в некотором отношении сходную со взглядами Опарина, которая была изложена в популярном очерке, опубликованном в 1929 г. Он предположил, что органическое вещество, синтезируемое в ходе естественных химических процессов, протекавших на предбиологической Земле, накапливалось в океане, который в конце концов достиг консистенции "горячего разбавленного бульона". По мнению Холдейна, первоначальная атмосфера Земли была анаэробной (свободной от

кислорода), однако он не утверждал, что для осуществления синтеза органических соединений требовались восстановительные условия. Таким образом, он допускал, что углерод мог присутствовать в атмосфере в полностью окисленной форме, т. е. в виде диоксида, а не в составе метана или других углеводородов. При этом Холдейн ссылаясь на результаты экспериментов (не собственных), в которых доказывалась возможность образования сложных органических соединений из смеси диоксида углерода, аммиака и воды под действием ультрафиолетового излучения. Однако в дальнейшем все попытки повторить эти эксперименты оказались безуспешными.

В 1952 г. Гарольд Юри (1893-1981), занимаясь не собственно проблемами происхождения жизни, а эволюцией Солнечной системы, самостоятельно пришел к выводу, что атмосфера молодой Земли имела восстановленный характер. Подход Опарина был качественным. Проблема, которую исследовал Юри, была по своему характеру физико-химической: используя в качестве отправной точки данные о составе первичного облака космической пыли и граничные условия, определяемые известными физическими и химическими свойствами Луны и планет, он ставил целью разработать термодинамически приемлемую историю всей Солнечной системы в целом. Юри, в частности, показал, что к завершению процесса формирования Земля имела сильно восстановленную атмосферу, так как ее основными составляющими были водород и полностью восстановленные формы углерода, азота и кислорода: метан, аммиак и пары воды. Гравитационное поле Земли не могло удержать легкий водород и он постепенно улетучился в космическое пространство. Вторичным следствием потери свободного водорода было постепенное окисление метана до диоксида углерода, а аммиака - до газообразного азота, которые через определенное время превратили атмосферу из восстановительной в окислительную. Юри предполагал, что именно в период улетучивания водорода, когда атмосфера находилась в промежуточном окислительно-восстановительном состоянии, на Земле могло образоваться в больших количествах сложное органическое вещество. По его оценкам, океан, по-видимому, представлял тогда собой однопроцентный раствор органических соединений. В результате возникла жизнь в ее самой примитивной форме.

Теория Юри имела одно важное последствие: она дала толчок успешным экспериментальным исследованиям. Однако,

прежде чем говорить об экспериментах, основанных на гипотезе о первобытной атмосфере, богатой водородом, следует выяснить, насколько эта гипотеза соответствует

геологическим данным. Этот вопрос активно обсуждался в последние годы, поскольку многие геологи сейчас сомневаются в том, что на Земле вообще когда-либо существовала сильно восстановительная атмосфера. Все эти доводы, лишь несколько видоизмененные, применимы и к Марсу; поэтому здесь целесообразно их вкратце рассмотреть.

Примитивная Земля

Считается, что Солнечная система образовалась из протосолнечной туманности-огромного облака газа и пыли. Возраст Земли, как установлено на основе ряда независимых оценок, близок к 4,5 млрд. лет. Чтобы выяснить состав первичной туманности, разумнее всего исследовать относительное содержание различных химических элементов в современной Солнечной системе. В табл. 3 представлены данные о девяти наиболее распространенных элементах (на долю которых приходится 99,9% всей массы Солнечной системы), полученные с помощью спектроскопических исследований Солнца; относительное содержание некоторых других элементов определено путем химического анализа метеоритного вещества. Как видно из таблицы, основные элементы-водород и гелий-вместе составляют свыше 98% массы Солнца (99,9% его атомного состава) и фактически Солнечной системы в целом. Поскольку Солнце-обычная звезда и к этому типу относится множество звезд в других галактиках, его состав в общем характеризует распространенность элементов в космическом пространстве. Современные представления об эволюции звезд позволяют предположить, что водород и гелий преобладали и в "молодом" Солнце, каковым оно было 4,5 млрд. лет назад.

В табл. 3 приведены также данные об элементном составе Земли. Хотя четыре основных элемента Земли относятся к числу девяти наиболее распространенных на Солнце, по своему составу наша планета существенно отличается от космического пространства в целом. (То же самое можно сказать о Меркурии, Венере и Марсе; однако Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун в этот список не попадают.) Земля состоит главным образом из железа, кислорода, кремния и магния. Очевиден дефицит всех биологически важных легких элементов (за исключением кислорода) и поразительна

Таблица 3. Элементный состав (проценты по массе) Солнечной системы и Земли

Элемент	%
1 Водород	77
2 Гелий	21
3 Кислород	29,5
4 Углерод	0,34
5 Неон	0,17
6 Азот	0,12
7 Железо	0,11
8 Кремний	0,07
9 Магний	0,06
Общее количество	99,70

Земля: * По данным Камерона (1970). ** По данным Мейсона (1966).

"нехватка" так называемых редких, или благородных, газов, подобных гелию и неону. В целом наша планета выглядит весьма бесперспективно для зарождения какой-либо жизни.

Главное положение теории Опарина - Юри заключается в том, что атмосфера молодой Земли, соответствовавшая по своему химическому составу протосолнечной туманности, имела ярко выраженный восстановительный характер. Однако, что бы там ни было, сейчас атмосфера Земли имеет окислительный характер. Она содержит 77% азота, 21% кислорода, в среднем 1% водяных паров, около 1% аргона и ничтожные количества (следы) других газов. Каким же образом могла возникнуть восстановительная атмосфера? Вероятно, основную роль здесь сыграли газы протосолнечной туманности: с момента возникновения Земля была обеспечена водородом и другими легкими элементами, которые,

согласно теории Опарина-Юри, необходимы для начала химической эволюции. Учитывая дефицит легких элементов и особенно благородных газов, разумно предположить, что изначально Земля сформировалась вообще без атмосферы. За исключением гелия, все благородные газы-неон, аргон, криптон и ксенон-обладают достаточной удельной массой, чтобы их могло удерживать земное тяготение. Криптон и ксенон, например, тяжелее железа.

Поскольку эти элементы образуют очень мало соединений, они, по всей видимости, существовали в примитивной атмосфере Земли в виде газов и не могли улетучиться, когда планета достигла наконец своих нынешних размеров. Но поскольку на Земле их со держится в миллионы раз меньше, чем на Солнце, естест венно допустить, что наша планета никогда не имела ат мосферы, по составу близкой солнечной. Земля образовалась из твердых материалов, которые содержали лишь небольшое количество поглощенного или адсорбированного газа, так что никакой атмосферы сначала не было. Элементы, вхо дящие в состав современной атмосферы, по-видимому, поя вились на первобытной Земле в виде твердых химических соединений; впоследствии под действием тепла, возникаю щего при радиоактивном распаде или выделении грави тационной энергии, сопровождающем аккрецию Земли, эти соединения разлагались с образованием газов. В процессе вулканической деятельности эти газы вырывались из земных недр, образуя примитивную атмосферу.

Высокое содержание в современной атмосфере аргона (около 1%) не противоречит предположению, что благо родные газы первоначально отсутствовали в атмосфере. Изотоп аргона, распространенный в космическом простран стве, имеет атомную массу 36, тогда как атомная масса аргона, образовавшегося в земной коре при радиоактивном распаде калия, равна 40. Аномально высокое содержание на Земле кислорода (по сравнению с другими легкими эле ментами) объясняется тем, что этот элемент способен сое диняться с множеством других элементов, образуя такие очень стабильные твердые соединения, как силикаты и кар бонаты, которые входят в состав горных пород.

Предположения Юри о восстановительном характере первобытной атмосферы основывались на высоком содер жании на Земле железа (35% общей массы). Он считал, что железо, из которого ныне состоит ядро Земли, первонач ально было распределено более или менее равномерно по всему ее объему. При разогреве Земли железо расплавилось

и собралось в ее центре. Однако, прежде чем это произошло, железо, содержащееся в том слое планеты, который сейчас называется верхней мантией Земли, взаимодействовало с водой (она присутствовала на примитивной Земле в виде гидратированных минералов, похожих на те, что обнару жены в некоторых метеоритах); в результате в первобытную атмосферу выделились огромные количества водорода.

Исследования, осуществляемые с начала 1950-х годов, поставили под вопрос ряд положений описанного сценария. Некоторые планетологи высказывают сомнения насчет того, что железо, сосредоточенное сейчас в земной коре, могло когда-либо равномерно распределяться по всему объему планеты. Они склоняются к мнению, что аккреция проис ходила неравномерно и железо конденсировалось из ту манности раньше других элементов, образующих ныне ман тию и кору Земли. При неравномерной аккреции содержание свободного водорода в примитивной атмосфере должно было оказаться ниже, чем в случае равномерного процесса. Другие ученые отдают предпочтение аккреции, но проте кающей таким путем, который не должен приводить к образованию восстановительной атмосферы. Короче говоря, в последние годы были проанализированы различные мо дели образования Земли, из которых одни в большей, другие в меньшей степени согласуются с представлениями о вос становительном характере ранней атмосферы.

Попытки восстановить события, происходившие на заре формирования Солнечной системы, неизбежно связаны со множеством неопределенностей. Промежуток времени меж ду возникновением Земли и образованием древнейших по род, поддающихся геологической датировке, в течение ко торого протекали химические реакции, приведшие к появ лению жизни, составляет 700 млн. лет. Лабораторные опыты показали, что для синтеза компонентов генетической сис темы необходима среда восстановительного характера; поэ тому можно сказать, что раз жизнь на Земле возникла, то это может означать следующее: либо

примитивная атмосфера имела восстановительный характер, либо органические соединения, необходимые для зарождения жизни, откуда-то принесены на Землю. Поскольку даже сегодня метеориты приносят на Землю разнообразные органические вещества, последняя возможность не выглядит абсолютно фантастической. Однако метеориты, по-видимому, содержат далеко не все вещества, необходимые для построения генетической системы. Хотя вещества метеоритного происхождения, ве-

роятно, внесли существенный вклад в общий фонд органических соединений на примитивной Земле, в настоящее время кажется наиболее правдоподобным, что условия на самой Земле имели восстановительный характер в такой степени, что стало возможным образование органического вещества, приведшее к возникновению жизни.

Эксперименты

в области предбиологической химии: синтез мономеров

Опарин, по всей видимости, не пытался проверить свою теорию экспериментально. Возможно, он понимал, что существующие аналитические методы непригодны для того, чтобы охарактеризовать сложные смеси органических веществ, которые могли бы образоваться в результате разнообразных реакций между углеводородами, аммиаком и водой. Или, быть может, он довольствовался логической разработкой общих принципов, не считая нужным вникать в многочисленные детали. Как бы то ни было, но теория Опарина никогда не подвергалась проверке до тех пор, пока к ней не обратился Юри. А в 1957 г. его аспирант Стэнли Миллер поставил свой знаменитый эксперимент, благодаря которому проблема происхождения жизни превратилась из чисто умозрительной в научную, в самостоятельный раздел экспериментальной химии.

Моделируя условия первобытной Земли, Миллер налил на дно колбы немного воды и заполнил ее смесью газов, которые, по мнению Юри, должны были составлять примитивную атмосферу: водорода, метана, аммиака. Затем через газовую смесь пропускался электрический разряд. К концу недели, проводя химический анализ растворенных в воде продуктов, ученый обнаружил среди них значительное количество биологически важных соединений, включая глицин, аланин, аспарагиновую и глутаминовую кислоты - четыре аминокислоты, входящие в состав белков. В дальнейшем эксперимент был повторен с использованием более совершенных аналитических методов и газовой смеси, в большей степени соответствующей принятым ныне моделям примитивной атмосферы. При этом аммиак (который, вероятно, был растворен в первичном океане) в основном заменили азотом, а водород вообще исключили, поскольку сейчас

предполагается, что в самом лучшем случае его содержание в примитивной атмосфере было незначительным. В этом эксперименте образовались 12 аминокислот, входящих в состав белков*, а также ряд других, небелковых соединений, что представляло не меньший интерес по причинам, о которых мы расскажем впоследствии.

Изучение этих необычных реакций синтеза показало, что электрический разряд вызывает образование определенных первичных продуктов, которые в свою очередь участвуют в последующих реакциях до тех пор, пока полностью не растворятся в воде, образуя конечные продукты. К числу наиболее важных первичных продуктов, возникающих в процессе синтеза, относятся цианистый водород (HCN), формальдегид (HCHO), другие альдегиды и цианоацетилен (HCCCN). Аминокислоты образуются из цианистого водорода по крайней мере двумя путями: в результате взаимодействия в растворе цианида, альдегида и аммиака и путем превращения самого HCN в аминокислоты через сложную последовательность реакций, протекающих в водном растворе.

По всей вероятности, основным источником энергии на примитивной Земле, как и в настоящее время, было излучение Солнца, а не электрические разряды. Поэтому различные исследователи пробовали использовать в качестве источника энергии, необходимой для

синтеза аминокислот, ультрафиолетовое (УФ) излучение. Эксперимент дал положительные результаты. Максимальный выход аминокислот был получен, когда в газовую смесь, предложенную Юри, включали сероводород (H^2S), который поглощает более длинноволновое УФ-излучение, преобладающее на поверхности Земли. Аминокислоты образовались и в том случае, когда источником энергии служили ударные волны, порождающие короткие "всплески" высокой температуры и давления. Источники энергии такого типа, вероятно, возникали в первичном океане под действием волн, а в атмосфере создавались раскатами грома, электрическими разрядами и падающими метеоритами.

Важным дополнением к опытам Миллера явились эксперименты Хуана Оро, Лесли Оргела и их сотрудников. Они показали, что четыре основания РНК (три из них встре

* Этими аминокислотами были глицин, аланин, валин, лейцин, изолейцин, пролин, аспарагиновая кислота, глутаминовая кислота, серин, треонин, аспарагин и глутамин.

чаются и в ДНК) образуются в последующих реакциях, в которые вступают первичные продукты реакций, вызванных искровым разрядом. Характерно, что в серии реакций, происходящих в водном растворе, цианистый водород само конденсируется с образованием пуринового основания аденина; другая разновидность реакций такого типа производит еще один пурин-гуанин. Пиримидиновые основания цитозин и урацил получают в заметных количествах из цианоацетилена в реакциях, которые также, возможно, происходили на примитивной Земле. Однако до сих пор не было сообщений о получении в таком "предбиологическом синтезе" тимина, который входит в молекулу ДНК вместо урацила.

Давно известно, что при определенных условиях формальдегид конденсируется в растворе, образуя различные сахара. Одним из продуктов этой реакции является рибоза-углеводный компонент РНК. Таким образом, как вы видите, большая часть молекулярных компонентов, формирующих генетическую систему, может возникать в результате ряда реакций, вполне вероятных в условиях примитивной Земли.

Метеориты и облака межзвездной пыли

Недавние открытия, касающиеся химического состава метеоритов и межзвездных газово-пылевых облаков, свидетельствуют о том, что в нашей Галактике, как прежде, так и теперь, происходит в широких масштабах синтез биологически важных молекул. Метеориты, о которых пойдет речь, относятся к классу углистых хондритов и составляют около 5% от общего числа метеоритов, ежегодно падающих на поверхность Земли. Эти интересные объекты представляют собой не претерпевшие существенных изменений "осколки" протосолнечной туманности. Они считаются первичными, поскольку образовались одновременно с Солнечной системой, т. е. 4,5 млрд. лет назад. Метеориты слишком малы, чтобы иметь собственную атмосферу, но по относительному содержанию нелетучих элементов углистые хондриты весьма сходны с Солнцем. Их минеральный состав свидетельствует о том, что они сформировались при низкой температуре и действию высоких температур никогда не подвергались. Они содержат до 20% воды (связанной в виде гидратов минералов) и до 10% органического вещества. С прошлого столетия углистые хондриты привлекали к

себе внимание из-за их возможной биологической значимости. Шведский химик Якоб Берцелиус, обнаружив в метеорите Алэ (упавшем в 1806 г. на территорию Франции) органические вещества, поставил вопрос, свидетельствует ли их наличие в веществе метеорита о существовании внеземной жизни? Сам он полагал, что нет. Говорят, что у Пастера был зонд специальной конструкции для получения незагрязненных проб из внутренних частей метеорита Оргейль-другого известного хондрита, упавшего также во Франции в 1864 г. Произведя анализ проб на содержание в них микроорганизмов, Пастер получил отрицательные результаты.

До недавнего времени идентификации органических соединений в углистых

хондритах не придавалось большого значения, поскольку довольно трудно выявить различия между соединениями, входящими в состав самого метеорита, и загрязнениями, приобретенными при вхождении в атмосферу Земли, ударе о ее поверхность или внесенными впо следствии человеком при сборе образцов. Сейчас благодаря разработке сверхчувствительных аналитических методов и тщательным мерам предосторожности при сборе образцов отношение к этому вопросу в корне изменилось. Два недавно изученных хондрита-метеориты, упавшие в 1969 г. в районе Мерчисона (Австралия) и в 1950 г. в Мюррее (США) содержали ряд эндогенных аминокислот*.

Имеются убедительные свидетельства в пользу того, что в основном обнаруженные аминокислоты не есть загрязнения. Так, многие из них относятся к аминокислотам необычного типа, которые не входят в состав земных организмов. Другое доказательство: некоторые широко распространенные аминокислоты, наличие которых обычно вызывается загрязнением, в метеоритах не обнаруживаются. И наконец, аминокислоты в углистых хондритах встречаются в виде двух оптических изомеров, т. е. в разных пространственных формах, представляющих собой зеркальные отражения друг друга, - это характерно только для аминокислот, синтезированных небиологическим путем, но не тех, которые имеются в живых организмах (см. гл. 1). Набор аминокислот, обнаруженный в метеоритах, на

* В Мерчисонском метеорите их было идентифицировано около 50, причем восемь из них входят в состав белков: глицин, аланин, валин, лейцин, изолейцин, пролин, аспарагиновая кислота, глутаминовая кислота. Были обнаружены также серин и треонин, но не исключено, что их наличие связано с загрязнением.

попадают аминокислоты, которые были получены в экспериментах с искровыми разрядами. Наборы эти не идентичны, но сходство настолько заметно, что позволяет предположить, что механизмы синтеза в обоих случаях совпадают. Другой возможный механизм синтеза аминокислот в метеоритах - реакция Фишера-Тропша, названная так в честь двух немецких химиков, которые разработали каталитический процесс получения бензина и других углеводородов из монооксида углерода (СО) и водорода. Оба этих газа широко распространены во Вселенной, как и необходимые для реакции катализаторы, например железо или силикаты. Пытаясь объяснить относительное содержание органических веществ в космическом пространстве на основе этой реакции, Эдвард Андерс и его коллеги из Чикагского университета установили, что при введении в реакционную смесь аммиака образуются аминокислоты, пурины и пиримидины. В этой реакции возникают те же самые промежуточные продукты - водород, цианид, альдегиды, цианоацетилен, - которые получаются в реакциях, происходящих под действием электрических разрядов. По-видимому, при наличии в метеоритах углеводородов, а также пуринов и пиримидинов легче объяснить реакцию синтеза Фишера-Тропша, чем реакцией под действием электрического разряда. До сих пор, однако, ни в одном лабораторном опыте не удалось в точности воспроизвести набор веществ, обнаруженных в метеоритах.

Содержание в метеоритах пуриновых и пиримидиновых оснований исследовано в меньшей степени, нежели наличие аминокислот. Тем не менее в Мерчисонском метеорите идентифицированы аденин, гуанин и урацил. Аденин и гуанин найдены в концентрации приблизительно 1-10 частей на миллион, что близко к относительному содержанию аминокислот. Концентрация урацила значительно ниже.

Недавно радиоастрономы открыли органические молекулы в межзвездном пространстве, что, безусловно, пополнило наши знания об органической химии Вселенной. Органические молекулы были обнаружены в гигантских газопылевых облаках, которые находятся в тех областях космического пространства, где, как полагают, формируются новые звезды и планетные системы. К моменту написания этой книги помимо присутствующих там, как и ожидалось, молекул водорода было обнаружено около 60

соединений. Наиболее распространен монооксид углерода. Гораздо реже встречаются такие в равной степени интересные соединения,

как аммиак, цианистый водород, формальдегид, ацеталь дегид (СНОСНО), цианоацетилен и вода, т.е. молекулы, которые в лабораторных опытах по химической эволюции рассматриваются как предшественники аминокислот, пуринов, пиримидинов и углеводов.

Эти открытия свидетельствуют о том, что повсюду во Вселенной происходит в широких масштабах синтез органического вещества и среди его конечных продуктов много биологически важных соединений, в том числе основных мономеров генетической системы и их предшественников. Не исключено даже (как предполагалось когда-то), что органические соединения-или, во всяком случае, часть их, которые легли в основу первых живых организмов, имели внеземное происхождение. Эти открытия позволили осознать тот важный факт, что синтез биологических соединений не есть какой-то специфический химический процесс, возможный лишь в особо благоприятных условиях, характерных для нашей планеты, но представляет собой явление космического масштаба. Это сразу наводит на мысль, что в любой области Вселенной жизнь должна быть основана на химии углерода, сходной с той, что наблюдается на Земле, хотя и не обязательно ей идентичной.

Синтез полимеров в предбиологических условиях

Образование основных мономеров белков и нуклеиновых кислот из газов протосолнечной туманности-это только первый шаг в создании генетической системы. Чтобы сформировать необходимые полимеры, мономеры должны затем соединиться в цепочки. Это трудная проблема, и, хотя на нее обращается пристальное внимание, пока еще не предложено надежных способов образования полимеров, несущих генетическую информацию, из мономеров, существовавших, вероятно, на примитивной Земле.

Синтез полимеров как в живых системах, так и в лаборатории включает в себя этап присоединения очередного мономера к концу растущей цепи. На каждом таком этапе потребляется энергия и происходит выделение молекулы воды. При синтезе белков из аминокислот связь, образующаяся между мономерными звеньями полимера, называется пептидной. На рисунке показана схема образования пептидной связи между двумя молекулами аминокислот.

Буквой R обозначена любая из 20 различных боковых цепей белковых аминокислот. Когда третья молекула аминокислоты прикрепляется к концу дипептида, образуется три пептид и т.д., пока не сформируется полипептид. Такие реакции обратимы: например, дипептид, показанный выше, может, присоединив молекулу воды, вновь превратиться в аминокислоты: этот процесс сопровождается выделением энергии. Белковая молекула представляет собой полипептидную цепь с определенной последовательностью аминокислот, которая придает ей особые свойства и является продуктом длительной эволюции. Каждая цепь состоит из сотен соединенных в одну последовательность аминокислот, а молекулы некоторых белков включают две и более боковых цепей. В результате взаимодействия между составляющими их аминокислотами полипептиды формируют трехмерную структуру, которая и является активной формой белковой молекулы.

Полимеризация нуклеотидов, повторяющихся мономерных звеньев нуклеиновых кислот, приводит к образованию полинуклеотидов, или нуклеиновых кислот. Образование динуклеотида из двух нуклеотидов выглядит следующим образом:

Здесь буквой В обозначено любое из четырех оснований ДНК или РНК; цепочки из атомов углерода (С) соответствуют пятиуглеродному сахару с -ОН-группой, связанной с третьим атомом углерода. (Истинные циклические обозначения

структуры углеводов приведены ранее на рис. 1.) Фосфорная кислота присоединена сначала к пятому атому углерода, а затем к углеродным атомам 5 и 3.

Для синтеза полимеров-как белков, так и нуклеиновых кислот-живые клетки вырабатывают богатые энергией молекулы, которые с помощью специфических белков-ферментов обеспечивают энергией каждый этап присоединения мономера. Помимо того что ферменты катализируют соответствующие реакции, они создают условия, необходимые для нормального ее протекания, устраняя все другие мешающие молекулы. Это существенно в случае, когда нужные для реакции молекулы составляют лишь небольшую часть из всех присутствующих в реакционной среде. Удаляются, на пример, молекулы воды, которые неизменно мешают протеканию реакции дегидратации.

Биологические полимеры могут быть синтезированы в лабораторных условиях и без участия ферментов. Синтез полипептидов и полинуклеотидов стал теперь обычным делом. Белки, идентичные тем, которые синтезируются в клетке, могут быть получены и получаются в лаборатории. При этом используют безводные растворители, очищенные мономеры высокой концентрации, прибегают к разного рода ухищрениям для защиты реакционных групп и применяют реагенты, обеспечивающие реакции энергией, что в сущности соответствует функциям, выполняемым обычно ферментом.

Попробуем сопоставить эти два высокосоввершенных способа синтеза биополимеров - реализуемых в клетке и в лаборатории-с условиями, по-видимому, существовавшими на примитивной Земле. Единственным растворителем тогда была вода, необходимые для синтеза мономеры составляли лишь часть общего количества растворенных органических и неорганических веществ, реагенты, имевшиеся в достаточном количестве, были, вероятно, довольно просты, и, разумеется, полностью отсутствовали ферменты. До сих пор не ясно, как при столь неблагоприятных условиях могли образоваться даже короткие полимеры. По всей видимости, первобытный бульон состоял из множества самых разнообразных органических соединений. Чтобы произошел синтез полипептида или полинуклеотида, в бульоне должна была возникнуть особая группа соединений, которые сконцентрировались бы и соединились друг с другом. Представить себе этот первый этап, наверное, особенно трудно. Простой концентрации первичного бульона здесь явно недостаточно. Скорее всего,

этот бульон представлял собой сложную смесь многих соединений, которые должны были мешать образованию полимеров, прикрепляясь, например, к концу растущей цепи и останавливая тем самым ее рост.

Возможное решение этой проблемы связано с адсорбцией необходимых молекул на поверхности глинистых минералов. Этому механизму особое значение придавал покойный Дж.Д.Бернал (1901-1971), известный английский ученый кристаллограф. По сравнению с органическими соединениями глинистые минералы обладают большой адсорбционной способностью. Кроме того, они по-разному взаимодействуют с различными типами соединений, которые адсорбируют. Сам Бернал не был уверен в правильности своего предположения; это объяснялось тем, что кремний, основной составляющий элемент глины, не играет почти никакой роли в современной биохимии. Тем не менее адсорбция считается самым вероятным механизмом (хотя это и не доказано) предбиологических процессов разделения и концентрации.

Несмотря на сомнения Бернала, другие ученые без колебаний отвели глинистым минералам главную роль в происхождении жизни. В самом деле, А. Г. Кернс-Смит, химик из университета в Глазго, предположил, что жизнь началась с кристаллов, образующих минералы. Обладая способностью воспроизводить себе подобных, неорганические кристаллы как бы демонстрируют тем самым зачаточные генетические свойства. У них обнаруживается также ограниченная способность к мутациям, которая проявляется в том, что в регулярном расположении атомов в кристалле могут возникать дефекты. Такие обладающие слоистой структурой минералы, как глины, склонны копировать дефекты одного слоя в структуре следующего, что можно рассматривать как своеобразную

генетическую память. Замечено, что дефекты в структуре кристаллических граней часто оказываются участками химической активности, включая катализ. Кернс-Смит высказал предположение, что такое простое органическое соединение, как формальдегид, синтез которого мог катализироваться минералом, несущим подобный дефект, обладало способностью ускорять процесс воспроизведения дефектного кристалла и повышать точность копирования, в результате чего численность таких кристаллов по сравнению с другими типами быстро возрастала. С этого началась эволюция белково-нуклеиновой генетической системы, которая в дальнейшем отделилась от своего минерального предка. Однако

это весьма умозрительное предположение, не имеющее почти никаких экспериментальных подтверждений.

При всех немалых трудностях, связанных с пониманием условий возникновения первых биологически важных полимеров, следует иметь в виду некоторые "смягчающие обстоятельства". Вполне возможно, что для построения первой генетической системы сначала потребовались не большие, сложно организованные молекулы, которые мы находим в современных организмах, а только короткие полимеры. Первому организму не обязательно следовало быть высокоэффективным. Поскольку его жизнь протекала в "райских кущах" при отсутствии врагов и проблем, связанных с добыванием пищи, ему достаточно было просто способности довольно быстро воспроизводить самого себя, чтобы опережать свою собственную химическую деградацию. Кроме того, химические процессы, предшествовавшие появлению жизни, протекали широко как в пространстве, так и во времени. В течение сотен миллионов лет примитивная Земля представляла собой грандиозную лабораторию, где в силу гигантских масштабов происходящего могли реализовываться даже такие процессы, которые кажутся нам маловероятными.

Такие соображения, конечно, не дают нам права утверждать, что мы понимаем, как образовались первые биополимеры. Однако они позволяют предполагать, что проблема, по-видимому, не столь трудна, как считается. Последние результаты, полученные в лаборатории Оргела, показали возможность образования полинуклеотидов на исходной полинуклеотидной цепи способом, аналогичным естественной дупликации генов, но без участия фермента. Этого замечательного результата удалось достичь благодаря тому, что был найден метод введения в реакцию энергии: несмотря на отсутствие ферментов, этот метод сходен с естественным механизмом, с помощью которого клетка обеспечивает энергией синтез полинуклеотидов. Эти данные делают более правдоподобным предположение, что аналогичный процесс мог играть важную роль на ранних стадиях эволюции генетической системы. Кроме того, недавно было доказано, что некоторые виды РНК обладают каталитическими свойствами, которые обычно приписывались только белкам. Все эти результаты позволяют предположить, что примитивная генетическая система могла быть построена без белков лишь из одной РНК. Если это было действительно так, то

загадки, связанные с происхождением жизни, значительно упрощаются.

Проблемы, касающиеся появления первой молекулы нуклеиновой кислоты, генетического кода и всего механизма переноса информации от нуклеиновых кислот к белкам, по-прежнему остаются нерешенными, однако и здесь заметен некоторый прогресс, насколько это позволяет современный уровень знаний. Поэтому, заканчивая наш краткий обзор современных представлений о природе и происхождении жизни на нашей планете, мы обходимся без претенциозных рассуждений о возникновении "первичной протоплазменной первобытно-атомной глобулы". Нет сомнений, что движение вперед, к решению проблемы происхождения жизни, будет продолжаться. Между тем изложенные нами принципы имеют настолько общий характер, что вполне применимы к проблемам возникновения жизни в любой области Вселенной. Теперь мы обратимся к обсуждению вопросов о жизни на других

планетах Солнечной системы - этот предмет и составляет содержание остальных глав нашей книги.

Глава 4

Есть ли жизнь на других планетах?

Тем не менее большинство планет, несомненно обитаемы, а необитаемые со временем будут населены.

Таким образом, я могу все изложенное выше выразить в следующем общем виде: вещество, из которого состоят обитатели различных планет, в том числе животные и растения из них, вообще должно быть тем легче и тоньше... чем дальше планеты отстоят от Солнца. Совершенство мыслящих существ, быстрота их представлений... становятся тем прекраснее и совершеннее, чем дальше от Солнца находится небесное тело, на котором они обитают.

Так как степень вероятности этой зависимости настолько велика, что она близка к полной достоверности, то перед нами открывается простор для любопытных предположений, основанных на сравнении свойств обитателей различных планет.

Иммануил Кант. "Всеобщая естественная история и теория неба" [II]

В XVII-XVIII вв. люди были убеждены, что планеты Солнечной системы обитаемы. Христиан Гюйгенс (1629-1695), которого по праву можно считать одним из основателей современной астрономии, полагал, что на Меркурии, Марсе, Юпитере и Сатурне есть поля, "согреваемые добрым теплом Солнца и орошаемые плодотворными росами и ливнями". В полях, думал Гюйгенс, обитают растения и животные. В противном случае эти планеты "были бы хуже нашей Земли", что он считал абсолютно неприемлемым. Такой довод, столь странно звучащий в наши дни, основан на развитых Коперником представлениях об окружающем мире, согласно которым Земля не занимает особого места среди планет, и Гюйгенс разделял эти взгляды. По той же причине он полагал, что на планетах должны жить разумные существа, "возможно, не в точности такие люди, как мы сами, но живые существа или какие-то иные создания, наделенные разумом". Подобное заключение казалось Гюйгенсу настолько бесспорным, что он писал: "Если я ошибаюсь в этом, то уже и не знаю, когда могу доверять своему разуму, и мне остается довольствоваться ролью жалкого судьи при истинной оценке вещей".

Хотя Гюйгенс и заблуждался в данном вопросе (оказалось, что другие планеты все же намного "хуже" Земли, по крайней мере как место существования жизни), его репутация ученого от этого не пострадала. Его гений был всеобъемлющим, а открытия в области математики, механики, астрономии и оптики заложили основы современной науки. Для нас же урок заключается в том, что, когда речь идет о проблеме существования внеземной жизни, даже самые талантливые ученые могут идти по ложному пути.

Как можно судить по эпиграфу к настоящей главе, мало что изменилось в этих представлениях и столетие спустя. Иммануил Кант не только был убежден в том, что на планетах может и должна существовать жизнь, но и верил, что уровень организации их обитателей повышается по мере удаления планеты от Солнца.

Конечно, в XVII-XVIII вв. о планетах было известно немного, а о природе жизни еще меньше. Примерно в то же время, когда Гюйгенс обосновывал возможность существования внеземной жизни, Франческо Реди доказал, что животные не способны к самозарождению, и, таким образом, сделал еще один шаг к пониманию сущности жизни. Все это происходило задолго до того, как биологи и планетологи обрели способность реально оценивать пригодность планет для жизни. Как мы узнаем из этой и следующей глав, к 1975 г., времени

полета космического аппарата "Викинг", из всех планет, известных Гюйгенсу и его современникам, только Марс продолжали считать возможным местом существования внеземной жизни.

Критерии обитаемости планет

Температура и давление

Если наше предположение о том, что жизнь должна быть основана на химии углерода, правильно, то можно точно установить предельные условия для любой среды, способной поддерживать жизнь. Прежде всего температура не должна превышать предела стабильности органических молекул. Определить предельную температуру нелегко, но для нашей цели не требуется точных цифр. Поскольку температурные

эффекты и величина давления взаимосвязаны, их следует рассматривать в совокупности. Приняв давление равным примерно 1 атм (как на поверхности Земли), можно оценить верхний температурный предел жизни, учитывая, что многие небольшие молекулы, из которых построена генетическая система, например аминокислоты, быстро разрушаются при температуре 200-300°С. Исходя из этого, можно заключить, что области с температурой выше 250°С необитаемы. (Из этого, однако, не следует, что жизнь определяется только аминокислотами, мы выбрали их лишь в качестве типичных представителей малых органических молекул.) Реальный температурный предел жизни почти наверняка должен быть ниже указанного, поскольку большие молекулы со сложной трехмерной структурой, в частности белки, построенные из аминокислот, как правило, более чувствительны к нагреванию, чем небольшие молекулы. Для жизни на поверхности Земли верхний температурный предел близок к 100°С, и некоторые виды бактерий при этих условиях могут выживать в горячих источниках. Однако подавляющее большинство организмов при такой температуре гибнет.

Может показаться странным, что верхний температурный предел жизни близок к точке кипения воды. Не обусловлено ли это совпадение именно тем обстоятельством, что жидкая вода не может существовать при температуре выше точки своего кипения (100°С на земной поверхности), а не какими-то особыми свойствами самой живой материи?

Много лет назад Томас Д. Брок, специалист по термофильным бактериям, высказал предположение, что жизнь может быть обнаружена везде, где существует жидкая вода, независимо от ее температуры. Чтобы поднять точку кипения воды, нужно увеличить давление, как это происходит, например, в герметической кастрюле-скороварке. Усиленный подогрев заставляет воду кипеть быстрее, не меняя ее температуры. Естественные условия, в которых жидкая вода существует при температуре выше ее обычной точки кипения, обнаружены в районах подводной геотермальной активности, где перегретая вода изливается из земных недр под совместным действием атмосферного давления и давления слоя океанской воды. В 1982 г. К. О. Стеттер обнаружил на глубине до 10 м в зоне геотермальной активности бактерии, для которых оптимальная температура развития составляла 105°С. Так как давление под водой на глубине 10 м равняется 1 атм, общее давление на этой "глубине" достигало 2 атм. Температура кипения воды при таком давлении равна 121°С.

70

Действительно, измерения показали, что температура воды в этом месте составляла 103°С. Следовательно, жизнь возможна и при температурах выше нормальной точки кипения воды*.

Очевидно, бактерии, способные существовать при температурах около 100°С, обладают "секретом", которого лишены обычные организмы. Поскольку эти термофильные формы при низких температурах растут плохо либо вообще не растут, справедливо считать, что и у обычных бактерий есть собственный "секрет". Ключевым свойством, определяющим возможность выживания при высоких температурах, является способность производить

термостабильные клеточные компоненты, особенно белки, нуклеиновые кислоты и клеточные мембраны. У белков обычных организмов при температурах около 60 °C происходят быстрые и необратимые изменения структуры, или денатурация. В качестве примера можно привести свертывание при варке альбумина куриного яйца (яичного "белка"). Белки бактерий, обитающих в горячих источниках, не испытывают таких изменений до температуры 90 °C. Нуклеиновые кислоты также подвержены тепловой денатурации. Молекула ДНК при этом разделяется на две составляющие ее нити. Обычно это происходит в интервале температур 85- 100°C в зависимости от соотношения нуклеотидов в молекуле ДНК.

При денатурации разрушается трехмерная структура белков (уникальная для каждого белка), которая необходима для выполнения таких его функций, как катализ. Эта структура поддерживается целым набором слабых химических связей, в результате действия которых линейная последовательность аминокислот, формирующая первичную структуру белковой молекулы, укладывается в особую, характерную для данного белка конформацию. Поддерживающие трехмерную структуру связи образуются между аминокислотами, расположенными в различных частях белковой молекулы. Мутации гена, в котором заложена информация о последовательности аминокислот, характерной для определенного белка, могут привести к изменению в составе аминокислот, что в свою очередь часто сказывается на его термостабильности. Это явление открывает возможности для эво

* Недавно появившееся сообщение о том, что обнаруженные в геотермальных источниках на дне Тихого океана бактерии (см. с. 75) могут развиваться при 250°C под давлением 265 атм, весьма сомнительно и, вероятно, ошибочно.

71

люции термостабильных белков. Структура молекул, обеспечивающая термостабильность нуклеиновых кислот и клеточных мембран бактерий, обитающих в горячих источниках, по-видимому, также генетически обусловлена.

Поскольку повышение давления препятствует кипению воды при нормальной точке кипения, оно может предотвращать и некоторые повреждения биологических молекул, связанные с воздействиями высокой температуры. Например, давление в несколько сотен атмосфер подавляет тепловую денатурацию белков. Это объясняется тем, что денатурация вызывает раскручивание спиральной структуры белковой молекулы, сопровождающееся увеличением объема. Препятствуя увеличению объема, давление предотвращает денатурацию. При гораздо более высоких величинах давления, 5000 атм и более, оно само становится причиной денатурации. Механизм этого явления, которое предполагает компрессионное разрушение белковой молекулы, пока не ясен. Воздействие очень высокого давления приводит также к повышению термостабильности малых молекул, поскольку высокое давление препятствует увеличению объема, обусловленному в этом случае разрывами химических связей. Например, при атмосферном давлении мочевины быстро разрушается при температуре 130 °C, но стабильна, по крайней мере в течение часа, при 200 °C и давлении 29 тыс. атм.

Молекулы, находящиеся в растворе, ведут себя совершенно иначе. Взаимодействуя с растворителем, они часто распадаются при высокой температуре. Общее название таких реакций-сольватация; если растворителем служит вода, то реакция называется гидролизом. (Реакции 1 и 2, приведенные на с. 63, являются типичными примерами гидролиза, если их проследить справа налево.) Реакция 1, представленная здесь в виде гидролиза (3), отражает тот факт, что в растворе аминокислоты находятся в виде электрически заряженных ионов.

Гидролиз-это основной процесс, вследствие которого в природе разрушаются белки, нуклеиновые кислоты и многие другие сложные биологические молекулы. Гидролиз происходит, например, в процессе пищеварения у животных, но он

осуществляется и вне живых систем, самопроизвольно, особенно при высоких температурах. Электрические поля, возникающие при сольволитических реакциях, приводят к уменьшению объема раствора путем электрострикции, т.е. связывания соседних молекул растворителя. Поэтому следует ожидать, что высокое давление должно ускорять процесс сольволиза, и опыты подтверждают это.

Поскольку мы полагаем, что жизненно важные процессы могут протекать только в растворах, отсюда следует, что высокое давление не может поднять верхний температурный предел жизни, по крайней мере в таких полярных растворителях, как вода и аммиак. Температура около 100 С-вероятно, закономерный предел. Как мы увидим, это исключает из рассмотрения в качестве возможных мест обитания многие планеты Солнечной системы.

Атмосфера

Следующее условие, необходимое для обитаемости планеты, - наличие атмосферы. Достаточно простые соединения легких элементов, которые, по нашим предположениям, составляют основы живой материи, как правило, летучи, т.е. в широком интервале температур находятся в газообразном состоянии. По-видимому, такие соединения обязательно вырываются в процессах обмена веществ у живых организмов, а также при тепловых и фотохимических воздействиях на мертвые организмы, которые сопровождаются выделением газов в атмосферу. Эти газы, наиболее простыми примерами которых на Земле являются диоксид углерода (углекислый газ), пары воды и кислород, в конце концов включаются в кругооборот веществ, который происходит в живой природе. Если бы земное тяготение не могло их удерживать, то они улетучились бы в космическое пространство, наша планета со временем исчерпала свои "запасы" легких элементов и жизнь на ней прекратилась бы. Таким образом, если бы на каком-то космическом теле, гравитационное поле которого недостаточно сильно, чтобы удерживать атмосферу, возникла жизнь, она не могла бы долго существовать.

Высказывалось предположение, что жизнь может существовать под поверхностью таких небесных тел, как Луна, которые имеют либо очень разреженную атмосферу, либо вообще лишены ее. Подобное предположение строится на том, что газы могут быть захвачены подповерхностным

слоем, который и становится естественной средой обитания живых организмов. Но поскольку любая среда обитания, возникшая под поверхностью планеты, лишена основного биологически важного источника энергии - Солнца, такое предположение лишь подменяет одну проблему другой. Жизнь нуждается в постоянном притоке как вещества, так и энергии, но если вещество участвует в кругообороте (этим обусловлена необходимость атмосферы), то энергия, согласно фундаментальным законам термодинамики, ведет себя иначе. Биосфера способна функционировать, покуда снабжается энергией, хотя различные ее источники не равноценны. Например, Солнечная система очень богата тепловой энергией - тепло вырабатывается в недрах многих планет, включая Землю. Однако мы не знаем организмов, которые были бы способны использовать его как источник энергии для своих жизненных процессов. Чтобы использовать теплоту в качестве источника энергии, организм, вероятно, должен функционировать подобно тепловой машине, т.е. переносить теплоту из области высокой температуры (например, от цилиндра бензинового двигателя) в область низкой температуры (к радиатору). При таком процессе часть перенесенной теплоты переходит в работу. Но чтобы КПД таких тепловых машин был достаточно высоким, требуется высокая температура "нагревателя", а это немедленно создает огромные трудности для живых систем, так как порождает множество дополнительных проблем.

Ни одной из этих проблем не создает солнечный свет. Солнце - постоянный, фактически неисчерпаемый источник энергии, которая легко используется в химических процессах при любой температуре. Жизнь на нашей планете целиком зависит от солнечной энергии,

поэтому естественно предположить, что нигде в другом месте Солнечной системы жизнь не могла бы развиваться без прямого или косвенного потребления энергии этого вида.

Не меняет существа дела и тот факт, что некоторые бактерии способны жить в темноте, используя для питания только неорганические вещества, а как единственный источник углерода — его диоксид. Такие организмы, называемые хемолитоавтотрофами (что в буквальном переводе значит: питающие себя неорганическими химическими веществами), получают энергию, необходимую для превращения диоксида углерода в органические вещества за счет окисления водорода, серы или других неорганических веществ. Но эти источники энергии в отличие от Солнца истощаются и после

использования не могут восстанавливаться без участия солнечной энергии. Так, водород, важный источник энергии для некоторых хемолитоавтотрофов, образуется в анаэробных условиях (например, в болотах, на дне озер или в желудочном-кишечном тракте животных) путем разложения под действием бактерий растительного материала, который сам, конечно, образуется в процессе фотосинтеза. Хемолитоавтотрофы используют этот водород для получения из диоксида углерода метана и веществ, необходимых для жизнедеятельности клетки. Метан поступает в атмосферу, где разлагается под действием солнечного света с образованием водорода и других продуктов. В атмосфере Земли водород содержится в концентрации 0,5 на миллион частей; почти весь он образовался из метана, выделяемого бактериями. Водород и метан выбрасываются в атмосферу также при извержениях вулканов, но в несравненно меньшем количестве. Другой существенный источник атмосферного водорода — верхние слои атмосферы, где под действием солнечного УФ-излучения пары воды разлагаются с высвобождением атомов водорода, которые улетучиваются в космическое пространство.

Многочисленным популяциям различных животных — рыб, морских моллюсков, мидий, гигантских червей и т.д., которые, как было установлено, обитают вблизи горячих источников, обнаруженных на глубине 2500 м в Тихом океане, иногда приписывают способность существовать независимо от солнечной энергии. Известно несколько таких зон: одна рядом с Галапагосским архипелагом, другая — на расстоянии примерно 21 км к северо-западу, у берегов Мексики. В глубине океана запасы пищи заведомо скудны, и открытие в 1977 г. первой такой популяции немедленно поставило вопрос об источнике их питания. Одна возможность, по-видимому, заключается в использовании органического вещества, скапливающегося на дне океана, отброшенного, образовавшегося в результате биологической активности в поверхностном слое; они переносятся в районы геотермальной активности горизонтальными течениями, возникающими вследствие вертикальных выбросов горячей воды. Движение вверх перегретой воды и вызывает образование придонных горизонтальных холодных течений, направленных к месту выброса. Предполагается, что таким путем здесь и скапливаются органические останки.

Другой источник питательных веществ стал известен после того, как выяснилось, что в воде термальных источни-

ков содержится сероводород (H_2S). Не исключено, что хемолитоавтотрофные бактерии находятся у начала цепи питания. Как показали дальнейшие исследования, хемолитоавтотрофы действительно являются главным источником органического вещества в экосистеме термальных источников. Бактерии, о которых идет речь, осуществляют следующую реакцию:

где CH_2O означает углевод или вообще любое вещество клетки.

Поскольку "топливом" для этих глубоководных сообществ служит образовавшийся в глубинах Земли сероводород, их обычно рассматривают как живые системы, способные обходиться без солнечной энергии. Однако это не совсем верно, так как кислород,

используемый ими для окисления "топлива", является продуктом фотохимических превращений. На Земле имеются только два значительных источника свободного кислорода, и оба они связаны с активностью Солнца. Главный из них - это фотосинтез, протекающий в зеленых растениях (а также в некоторых бактериях):

где $C_6H_{12}O_6$ - углевод глюкоза. Другим, менее существенным источником свободного кислорода является фотолиз паров воды в верхних слоях атмосферы. Если бы в геотермальном источнике удалось обнаружить микроорганизм, использующий для жизни только газы, образующиеся в глубинах Земли, то это означало бы, что открыт тип метаболизма, абсолютно не зависящий от солнечной энергии.

Следует помнить, что океан играет важную роль в жизни описанной глубоководной экосистемы, поскольку он создает окружающую среду для организмов из термальных источников, без которой они не могли бы существовать. Океан обеспечивает их не только кислородом, но и всеми нужными питательными веществами, за исключением сероводорода. Он удаляет отходы. И он же позволяет этим организмам переселяться в новые районы, что необходимо для их выживания, поскольку источники недолговечны - согласно оценкам, время их жизни не превышает 10 лет. Расстояние между отдельными термальными источниками в одном районе океана составляет 5-10 км.

Растворитель

В настоящее время принято считать, что необходимым условием жизни является также наличие растворителя того или иного типа. Многие химические реакции, протекающие в живых системах, без растворителя были бы невозможны. На Земле таким биологическим растворителем служит вода. Она представляет собой главную составляющую живых клеток и одно из самых распространенных на земной поверхности соединений. Ввиду того что образующие воду химические элементы широко распространены в космическом пространстве, вода, несомненно, одно из наиболее часто встречающихся соединений во Вселенной. Но, несмотря на такое изобилие воды повсюду, Земля - единственная планета в Солнечной системе, имеющая на своей поверхности океан: это важный факт, к которому мы вернемся позже.

Вода обладает рядом особых и неожиданных свойств, благодаря которым она может служить биологическим растворителем - естественной средой обитания живых организмов. Этими свойствами определяется ее главная роль в стабилизации температуры Земли. К числу таких свойств относятся: высокие температуры плавления (таяния) и кипения; высокая теплоемкость; широкий диапазон температур, в пределах которого вода остается в жидком состоянии; большая диэлектрическая постоянная (что очень важно для растворителя); способность расширяться вблизи точки замерзания. Всестороннее развитие эти вопросы получили, в частности, в трудах Л. Дж. Гендерсона (1878-1942), профессора химии Гарвардского университета.

Современные исследования показали, что столь необычные свойства воды обусловлены способностью ее молекул образовывать водородные связи между собой и с другими молекулами, содержащими атомы кислорода или азота. В действительности жидкая вода состоит из агрегатов, в которых отдельные молекулы соединены вместе водородными связями. По этой причине при обсуждении вопроса о том, какие неводные растворители могли бы использоваться живыми системами в других мирах, особое внимание уделяется аммиаку (NH_3), который также образует водородные связи и по многим свойствам сходен с водой. Называются и другие вещества, способные к образованию водородных связей, в частности фтористоводородная кислота (HF) и цианистый водород (HCN). Однако последние два соединения - маловероятные кандидаты на эту роль. Фтор относится к редким

элементам: на один атом фтора в наблюдаемой Вселенной приходится 10000 атомов

кислорода, так что трудно пред ставить на любой планете условия, которые благоприятство вали бы образованию океана, состоящего из HF, а не из H²O. Что касается цианистого водорода (HCN), составля яющие его элементы в космическом пространстве встречаются в изобилии, но это соединение термодинамически недоста точно устойчиво. Поэтому маловероятно, чтобы оно могло в больших количествах когда-либо накапливаться на какой-то планете, хотя, как мы говорили раньше, HCN представляет собой важное (хотя и временное) промежуточное звено в предбиологическом синтезе органических веществ.

Аммиак состоит из довольно распространенных элемен тов и, хотя он менее стабилен, чем вода, все же достаточно устойчив, чтобы его можно было рассматривать как возмож ный биологический растворитель. При давлении в 1 атм он находится в жидком состоянии в интервале температур -78 - -33°C. Этот интервал (45°) намного уже соответству ющего интервала для воды (100°C), но он охватывает ту область температурной шкалы, где вода не может функцио нировать как растворитель. Рассматривая аммиак, Гендер сон указывал, что это единственное из известных соединений, которое как биологический растворитель приближается по своим свойствам к воде. Но в конце концов ученый отказался от своего утверждения по следующим причинам. Во-первых, аммиак не может накопиться в достаточном количестве на поверхности какой-либо планеты; во-вторых, в отличие от воды он не расширяется при температуре, близкой к точке замерзания (вследствие чего вся его масса может целиком остаться в твердом, замороженном состоянии), и наконец, выбор его как растворителя исключает выгоды от использо вания кислорода в качестве биологического реагента. Ген дерсон не высказал определенного мнения о причинах, кото рые помешали бы аммиаку накапливаться на поверхности планет, но тем не менее он оказался прав. Аммиак разруша ется УФ-излучением Солнца легче, чем вода, т. е. его молеку лы расщепляются под воздействием излучения большей длины волны, несущего меньше энергии, которое широко представлено в солнечном спектре. Образующийся в этой реакции водород улетучивается с планет (за исключением самых больших) в космическое пространство, а азот остае тся. Вода также разрушается в атмосфере под действием солнечного излучения, но только гораздо более коротковол нового, чем то, которое разрушает аммиак, а выделяющиеся

при этом кислород (O₂) и озон (O₃) образуют экран, очень эффективно защищающий Землю от убийственного УФ-из лучения. Таким образом происходит самоограничение фото деструкции атмосферных паров воды. В случае аммиака подобное явление не наблюдается.

Эти рассуждения неприменимы к планетам типа Юпите ра. Поскольку водород в изобилии присутствует в атмосфере этой планеты, являясь ее постоянной составляющей, разумно предполагать наличие там аммиака. Эти предположения подтверждены спектроскопическими исследованиями Юпи тера и Сатурна. Вряд ли на этих планетах имеется жидкий аммиак, но существование аммиачных облаков, состоящих из замерзших кристаллов, вполне возможно.

Рассматривая вопрос о воде в широком плане, мы не вправе априори утверждать или отрицать, что вода как биологический растворитель может быть заменена другими соединениями. При обсуждении этой проблемы нередко проявляется склонность к ее упрощению, поскольку, как правило, учитываются лишь физические свойства альтерна тивных растворителей. При этом приуменьшается или сов сем игнорируется то обстоятельство, которое отмечал еще Гендерсон, а именно: вода служит не только растворителем, но и активным участником биохимических реакций. Элемен ты, из которых состоит вода, "встраиваются" в вещества живых организмов путем гидролиза или фотосинтеза у зеленых растений (см. реакцию 4). Химическая структура живого вещества, основанного на другом растворителе, как и вся биологическая среда, обязательно должны быть иными. Другими словами, замена растворителя неизбежно влечет за собой чрезвычайно глубокие последствия. Никто всерьез не пытался их себе представить.

Подобная попытка вряд ли разумна, ибо она представляет собой ни больше ни меньше, как проект нового мира, а это занятие весьма сомнительное. Пока мы не в состоянии ответить даже на вопрос о возможности жизни без воды, и едва ли что-нибудь узнаем об этом, пока не обнаружим пример безводной жизни.

Итак, поскольку вода-единственное из известных нам соединений, способное действовать в качестве биологического растворителя, мы будем придерживаться взгляда, что именно на этом растворителе, по-видимому, основаны любые формы внеземной жизни, за исключением тех случаев, когда на изучаемой планете имеется другая жидкость, способная выполнять эту роль.

Мир без воздуха

Таким образом, мы приходим к выводу, что жизнь не может существовать ни на Луне, ни на большинстве спутников других планет Солнечной системы, ни на Меркурии, ни на астероидах, так как ни один из этих объектов не способен удержать значительную атмосферу. (Астероиды представляют собой множество маленьких тел-самое большое из которых имеет в диаметре около 1000 км,-вращающихся по орбитам вокруг Солнца; они образуют так называемый пояс астероидов, расположенный между орбитами Марса и Юпитера. Пояс астероидов и "поставляет" многие из метеоритов, бомбардирующих Землю.)

Однако в начале 1960-х годов некоторые научные консультанты НАСА* не были убеждены в том, что Луна безжизненна. Полагая, что "вредные чужеродные организмы" могут находиться под лунной поверхностью, они убедили руководителей полетов в необходимости подвергнуть карантину вернувшихся из лунной экспедиции астронавтов, космический корабль и образцы грунта. Столкнувшись с противоречивыми мнениями по этому вопросу, НАСА заняла если не наиболее разумную, то во всяком случае безопасную позицию, приняв специальные меры для защиты Земли от того, что стали в дальнейшем называть "обратным загрязнением". К числу таких мер относилось создание Лаборатории по приему лунного грунта в Хьюстоне, куда доставлялись лунные образцы. Астронавты, вернувшиеся с Луны, подвергались трехнедельному карантину в целях предотвращения возможного занесения на Землю неизвестной инфекции. Кое-кто считал эти меры необходимыми и отвечающими здравому смыслу, другие восприняли это как комедию.

По мере приближения запуска корабля "Аполлон-11", который должен был впервые высадить на поверхность Луны человека, стали высказываться сомнения в необходимости карантина, поскольку он ложился дополнительным бременем на плечи астронавтов, которым и без того пришлось немало вынести. Публичное признание того, что карантинные меры могут быть ослаблены, вызвало дискуссию в масштабе всей страны. Газета "Нью-Йорк таймс", например,

* NASA (National Aeronautics and Space Administration) - Национальное управление по авиации и исследованию космического пространства (США). Цитируемые здесь рекомендации взяты из отчета Совета по космическим исследованиям Национальной академии наук США за 1962 г., подготовленного для НАСА на основе проведенных исследований.

заняла негативную позицию, заявив на своих страницах 18 мая 1969 г., что ослабление карантина может привести к "непредсказуемым, но, вполне вероятно, губительным последствиям". Такие специалисты, как Эдвард Андерс из Чикагского университета и Филипп Эйбельсон, редактор журнала Science, отвечая газете, указывали, что непростерилизованный материал с Луны, выброшенный в космическое пространство при ударах метеоритов о ее поверхность, попадал на Землю в течение миллиардов лет и миллионы тонн его накопились здесь. Андерс даже высказал намерение съесть пробу нестерилизованной лунной пыли, чтобы доказать ее безвредность. Джошуа Ледерберг из Станфордского университета писал, что если бы кто-нибудь из ответственных научных консультантов верил в возможность такого риска, НАСА получило бы приказ отменить программу полетов с человеком на

борту. В общем, НАСА твердо придерживалась карантинных процедур только в нескольких первых полетах кораблей "Аполлона", но в дальнейшем от них отказалось.

Образцы грунта, доставленные с Луны экипажами кораблей "Аполлон", изучались более тщательно и разносторонне, большим числом специалистов разного профиля и при более высоком уровне организации научных исследований, чем какой-либо другой материал в прошлом. Для выяснения наличия в образцах живых организмов было проведено множество тестов, и все они дали отрицательные результаты. Тем же завершились попытки обнаружить в привезенных образцах грунта микроископаемые (микрофоссилии). По данным химического анализа, концентрация углерода в лунном грунте составляла 100-200 частей на миллион, причем главным образом он был обнаружен в составе неорганических соединений (например, карбидов). Есть основания полагать, что наличие углерода на лунной поверхности обусловлено действием "солнечного ветра" - потока высокоэнергетических заряженных частиц, испускаемых солнечной короной. Некоторые простые органические соединения были обнаружены в лунных образцах в ничтожно малых (следовых) количествах (порядка нескольких частей на миллион). Разумеется, предполагалось, что на Луне может присутствовать органическое вещество, занесенное метеоритами, но нельзя с уверенностью сказать, имеют ли обнаруженные "следы" органики метеоритное происхождение или они появились в результате загрязнения, вызванного ракетными выхлопами либо прикосновением рук человека уже на Земле. Поскольку

невозможно с достаточной достоверностью говорить о наличии органического вещества метеоритов, можно предполагать, что органические соединения на поверхности Луны разрушены. В любом случае нет сомнений, что Луна безжизненна и, вероятно, всегда была такой.

За исключением Титана (спутника Сатурна) и, возможно, Тритона (спутника Нептуна), все спутники планет в Солнечной системе похожи на Луну в том отношении, что у них нет сколько-нибудь плотной атмосферы. Представляют интерес Ганимед и Каллисто - два спутника Юпитера, по размерам близкие к планете Меркурий, так как их низкая плотность (см. табл. 4) заставляет думать о наличии на них большого количества воды. Современные модели предполагают, что оба спутника, возможно, имеют под поверхностью океаны, а какая-то часть воды на поверхности находится в виде твердого как камень льда, при температуре -100 C .

Теперь обратимся к объектам Солнечной системы, массы которых (а в ряде случаев и низкие температуры) достаточны, чтобы удержать атмосферу.

Венера

Венера - ближайшая к Земле планета Солнечной системы, которая также наиболее сходна с ней по массе, размерам и плотности (табл. 4). Еще в XVIII в. было установлено, что она имеет атмосферу. Однако сплошной, сильно отражающий солнечный свет облачный покров Венеры делает ее поверхность невидимой с Земли. Этим же объясняется большая яркость Венеры (это третий по яркости объект на нашем небе), которая издавна привлекала к ней внимание наблюдателей (фото 2). Первоначально предполагалось, что облака на Венере, как и на Земле, состоят из водяных паров и, следовательно, на поверхности планеты имеется изобилие воды. Некоторые ученые представляли Венеру как планету, покрытую громадным болотом, над которым постоянно поднимаются испарения, другие предполагали, что всю ее поверхность занимает гигантский океан. В любом случае казалось, что там великолепные условия для существования жизни.

Спектроскопические результаты, полученные в 1930-х годах, показали наличие в атмосфере Венеры значительного количества диоксида углерода и полное отсутствие паров воды. Однако возможность обнаружения водяных паров выше верхней границы облачного покрова выглядела сомнительно.

тельной даже при наличии океана на поверхности; поэтому представление о влажной Венере не было отброшено. Выска зывались и другие предположения о характере облачного покрова: от неорганической пыли до углеводородного смога. Только в 1973 г. несколько исследователей независимо друг от друга пришли к выводу, что свойства облаков Венеры лучше всего объясняются, если предположить, что они состоят из мельчайших капель концентрированной (70-80%) серной кислоты; теперь это представление общепринято. Тем временем исследование с применением современных радио астрономических методов и с помощью автоматических межпланетных космических аппаратов показали, что средняя температура поверхности Венеры достигает примерно 450 С, атмосфера под облачным покровом почти целиком (на 96%) состоит из углекислого газа, а давление у поверхности составляет 90 атм. При такой температуре на поверхности Венеры жидкая вода существовать не может.

Высокая температура Венеры обусловлена так называемым парниковым эффектом: солнечный свет, достигая поверхности, нагревает грунт и вновь излучается в виде тепла, но из-за непрозрачности атмосферы для инфракрасного (теплого) излучения тепло не может рассеиваться в космическое пространство. По некоторым соображениям, Венера могла когда-то иметь океан, который в дальнейшем испарился при разогревании планеты. Под действием солнечного ультрафиолета водяные пары в основном разрушились, воодород улетучился, а оставшийся кислород окислил углерод и серу на поверхности до диоксида углерода (углекислого газа) и оксидов серы. По-видимому, то же самое случилось бы и на Земле, если бы она находилась так же близко к Солнцу, как Венера. Тот же сценарий позволяет объяснить, почему диоксид углерода на Венере находится в атмосфере, тогда как на Земле он существует главным образом в виде карбонатов, составляющих горные породы. На нашей планете диоксид углерода растворяется в океанах, осаждаясь затем в виде карбонатных минералов кальцита (известняка) и доломита; на Венере же, где океанов нет, он остается в атмосфере. Подсчитано, что если бы весь углерод на поверхности Земли и в ее коре превратился в диоксид углерода, масса этого газа оказалась бы близкой к той, которая обнаружена на Венере.

Хотя в далеком прошлом условия на Венере могли быть более благоприятными для жизни, чем сейчас, совершенно очевидно, что существование жизни там невозможно уже в течение длительного времени.

Планеты-гиганты

Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун, часто называемые планетами-гигантами, намного больше Земли (см. табл. 4). Среди этих гигантов Юпитер и Сатурн являются супергигантами: на них приходится свыше 90% общей массы планет Солнечной системы. Низкая плотность этих четырех небесных тел означает, что они состоят главным образом из газов и льда, а поскольку водород и гелий не в состоянии преодолеть действие их гравитационных полей, предполагается, что по своему элементному составу они должны быть больше похожи на Солнце (см. табл. 3), чем на планеты земной группы. Наблюдения Юпитера и Сатурна, проведенные с Земли и с космических аппаратов "Пионер" и "Вояджер", показали, что обе планеты действительно состоят преимущественно из водорода и гелия. Вследствие большой удаленности Уран и Нептун изучены слабо, но водород и водород содержащий газ метан (CH_4) были обнаружены в их атмосферах с помощью спектрометрических наблюдений с Земли. Предполагается, что в их атмосферах может присутствовать и гелий, но пока его не удается обнаружить из-за отсутствия спектрометров нужной чувствительности. По этой причине сведения, изложенные в этой главе, относятся в основном к Юпитеру и Сатурну.

Многое из того, что известно о структуре планет-гигантов, основано на теоретических моделях, которые благодаря простому составу планет можно рассчитать достаточно точно.

Результаты, полученные на основе моделей, говорят о том, что в центре как Юпитера, так и Сатурна находится твердое ядро (более крупное, чем земное), давление в котором достигает миллионов атмосфер, а температура 12000-25000 С. Такие высокие значения температуры соответствуют результатам наблюдений: они свидетельствуют, что обе планеты излучают примерно вдвое больше тепла, чем получают от Солнца. Тепло поступает к поверхности планет из внутренних областей. Поэтому температура уменьшается с удалением от ядра. У верхней границы облачного покрова, видимой "поверхности" планеты, температуры составляют -150 и -180 С соответственно на Юпитере и Сатурне. Окружающая центральное ядро зона представляет собой толстый слой, состоящий преимущественно из металлического водорода-особой электропроводящей формы, которая образуется при очень высоких давлениях. Далее следует слой молекулярного водорода в смеси с гелием и небольшими

количествами других газов. Около верхней границы водородно-гелиевой оболочки лежат слои облаков, состав которых определяется локальными значениями температуры и давления. Облака, состоящие из кристаллов водного льда, а местами, возможно, из капелек жидкой воды, образуются там, где температура приближается к 0 С. Несколько выше находятся облака гидросульфида аммония, а над ними (при температурах около -150 С)- облака, состоящие из аммиачного льда.

Структура описанной модели предполагает, что по составу Юпитер и Сатурн близки к Солнцу: содержание водорода как по объему, так и по молекулярному составу атмосферы достигает 90% и выше. По всей видимости, в атмосферах такого типа углерод, кислород и азот присутствуют почти исключительно в составе метана, воды и аммиака соответственно. Эти газы, как и водород, были обнаружены на Юпитере, причем все, за исключением воды, в количествах, характерных для атмосфер типа солнечной. При изучении спектров атмосфер вода не обнаруживается в достаточных концентрациях-возможно, потому, что ее пары конденсируются в сравнительно глубоких атмосферных слоях. Кроме этих газов в атмосфере Юпитера зарегистрированы оксид углерода и следы простых органических молекул: этана (C^2H^6), ацетилена (C^2H^2) и цианистого водорода (HCN). Причина яркой окраски облаков Юпитера-красной, желтой, голубой, коричневой-пока до конца не выяснена, но как теоретические, так и лабораторные исследования приводят к заключению, что за это ответственны сера, ее соединения и, возможно, красный фосфор.

Наличие в верхних слоях атмосферы Юпитера паров воды и простых органических соединений, а также вероятность образования облаков, состоящих из капелек жидкой воды в более глубоких слоях, позволяет говорить о возможности химической эволюции на планете. На первый взгляд кажется, что в восстановительной атмосфере Юпитера следует ожидать присутствия сложных органических соединений, подобных тем, которые образуются в экспериментах, моделирующих добиологические условия на примитивной Земле (см. гл. 3), а возможно, даже характерных для этой планеты форм жизни. Действительно, еще до того, как в атмосфере Юпитера были обнаружены пары воды и органические молекулы. Карл Саган высказал предположение, что "из всех планет Солнечной системы Юпитер априори представляет наибольший интерес с точки зрения биологии".

Однако реальные условия на Юпитере не оправдали этих надежд.

Атмосфера Юпитера не способствует образованию сложных органических соединений по ряду причин. Во-первых, при высоких температурах и давлениях, характерных в основном для очень сильно восстановленной среды этой планеты, водород разрушает органические молекулы, превращая их в метан, аммиак и воду. Как указывал много лет назад Юри, умеренно восстановленные, т. е. частично окисленные, газовые смеси более благоприятны для осуществления важнейших органических синтезов, чем сильно восстановленные. Например, синтез глицина, самой простой аминокислоты, не может протекать самопроизвольно в газовой смеси, состоящей из воды, метана и аммиака,

присутствующих в атмосфере Юпитера. Он невозможен без поступления свободной энергии (6). С другой стороны, без доступа энергии синтез может происходить в не столь сильно восстановленной газовой смеси, состоящей из окиси углерода, аммиака и водорода (7):

При наличии свободного водорода, что характерно для атмосфер планет, подобных Юпитеру, в соответствии с уравнением (6) реакция может идти справа налево, что означает, что глицин будет самопроизвольно превращаться в метан, воду и аммиак. Пока не было поставлено экспериментов с реальными газовыми смесями, которые позволили бы выяснить, сколько различных реакций органического синтеза может протекать в атмосфере Юпитера. Подобные эксперименты трудно выполнимы, поскольку требуют очень высоких концентраций водорода и гелия. Однако уменьшение концентрации одного из компонентов (в некоторых публикациях о результатах экспериментов по синтезу органических веществ в газовых смесях, имитирующих атмосферу Юпитера, сообщается о том, что водород вообще не использовался) ставит под сомнение ценность полученных результатов.

Юпитер и другие планеты-гиганты не имеют подходящих поверхностей, на которых могли бы накапливаться и взаимодействовать образовавшиеся в атмосфере органические продукты, а это важный фактор, который необходимо учитывать, рассматривая возможность химической эволюции. Следовательно, эволюция должна происходить в атмосфере,

предположительно в облаках паров воды. Но атмосфера Юпитера не является стабильной средой, как, например, океаны на Земле. Она больше напоминает гигантскую печь, где вертикальные потоки постоянно перемещают горячие газы из нижних (внутренних) областей к периферии: там эти газы отдают свое тепло в космическое пространство, в то время как охлажденные газы перемещаются вниз, в более глубокие слои, где снова нагреваются. Наблюдаемая в облаках Юпитера турбулентность является признаком подобной конвекции (см. фото 3). Насколько интенсивно может протекать химическая эволюция в таких условиях, когда органические молекулы, образовавшиеся под действием солнечного света в верхних слоях атмосферы, перемещаются в более горячие области, где разрушаются? По-видимому, практически незаметно. Как показывают расчеты, перемещение газов, находящихся в атмосфере на уровне слоя водяных облаков, в область, где температура 200 C, - дело нескольких дней. Следовательно, спустя короткое время органические соединения начнут разрушаться, а выделившиеся при этом углерод, азот и кислород вновь превратятся в метан, аммиак и воду.

Даже со скидкой на неточность в вычислениях ясно, что условия в атмосфере Юпитера не благоприятны для химической эволюции. Кроме того, Юпитер представляет собой не только "печь", но и, как мы видели, реакционный сосуд, а это исключает всякую возможность стабилизации органических молекул высоким давлением при тепловом воздействии. Таким образом, следует заключить, что время жизни органических соединений на Юпитере слишком мало, чтобы стал возможным какой-либо сложный органический синтез. Подобные рассуждения применимы и к Сатурну (см. фото 4); вероятно, они справедливы и для Нептуна. Уран пока представляет собой загадку, но есть все основания предполагать, что он обитаем не более, чем другие планеты-гиганты.

Титан, Тритон и Плутон

Титан, самый большой спутник Сатурна, - единственный спутник в Солнечной системе, имеющий, как известно, плотную атмосферу. Полет автоматической станции "Вояджер-1", приблизившейся в 1980 г. на расстояние около 5000 км к поверхности Титана и передавшей на Землю большое количество данных о химических и физических условиях на этом необычном космическом теле величиной с

планету Меркурий, положил конец многочисленным домыслам. (Полная сводка данных и результатов исследований этого спутника многими учеными содержится в статьях Стоуна и Майнера, а также Поллака [15, 19].).

Как видно из табл. 4, атмосферное давление у поверхности Титана равно 1,6 атм. Его атмосфера состоит в основном из азота (90% или более) и метана (1-10%), обнаружены также небольшие количества этана, ацетилена, этилена (C^2H^2) и цианистого водорода. Последние представляют собой продукты фотохимических реакций, и, как мы видели, некоторые из них обнаружены также в атмосфере Юпитера. Они образовались в результате воздействия УФ излучения Солнца на метан, а цианистый водород (HCN) при воздействии на газообразный азот. При низкой температуре, господствующей на Титане (-180 C), аммиак должен существовать в виде твердого льда. В атмосфере Титана обнаружены также молекулы монооксида и диоксида углерода. Это явилось неожиданностью, так как ранее предполагалось, что кислород, присутствующий на Титане в составе водяного льда, вымораживается на поверхности. Источником кислорода может быть вода, содержащаяся в упавших метеоритах. (Такая же вода может служить источником кислорода, который участвует в образовании монооксида углерода, обнаруженного в атмосфере Юпитера.)

Поверхность Титана скрыта атмосферным туманом - своего рода смогом, - который, как предполагается, состоит из больших молекул углеводородов, образующихся фотохимическим путем из метана (см. фото 5). Увеличение размеров частиц этого смога в результате их слипания может привести к образованию настолько крупных зерен, что они могут оседать на поверхность, образуя сугробы. Кроме того, если учесть низкую температуру Титана, не исключена возможность наличия на его поверхности жидкого этана, который, как предполагается, способен образовать целый океан. Таким образом, Титан может в изобилии обладать как органическими веществами, так и растворителем. И все же из-за низкой температуры (близкой к температуре жидкого воздуха) вряд ли он может представлять собой место, благоприятное для жизни. При -180 C химические реакции протекают в растворе слишком медленно для многих процессов химической эволюции, даже если иметь в виду солидный возраст Солнечной системы. Химические процессы, протекающие в атмосфере, получают необходимую энергию за счет фотонов УФ-излучения Солнца. А химические процессы в растворах

зависят от тепловой энергии, которой у Титана мало. Тем не менее органическая химия Титана - крайне привлекательный предмет для будущих космических исследований.

Тритон, самый большой из спутников Нептуна, наблюдать трудно, и поэтому он плохо изучен. Недавно было установлено, что Тритон обладает разреженной атмосферой, состоящей из метана; однако, учитывая размеры и низкую температуру атмосферы, можно предполагать, что на самом деле она более плотная. Температура на поверхности Тритона меньше, чем у Титана, и значительно ниже точки замерзания жидкого воздуха.

Плутон - самая малая и удаленная от Солнца планета. Его орбита в среднем столь же далеко проходит от Нептуна, как орбита Сатурна - от Солнца. Очень малая масса и необычная форма орбиты Плутона свидетельствуют о том, что он, по-видимому, возник иным путем, нежели другие планеты. Предполагают, что первоначально это был спутник Нептуна и его следует считать скорее астероидом, чем истинной планетой. Если это так, то можно предполагать, что он имеет разреженную атмосферу, состоящую из метана, и твердый метан на поверхности. Температура на поверхности Плутона еще ниже, чем на Тритоне. Трудно представить менее подходящее место для жизни.

Рассмотрев все планеты, кроме Марса (и Земли), с точки зрения существования на них жизни, мы приходим к заключению, что ни одна из них в настоящее время не обеспечивает пригодной для жизни среды, хотя в некоторых случаях не исключено, что когда-то условия там были более благоприятными. Разумеется, в Солнечной системе многое еще не изучено, но вряд ли будущие открытия изменят это представление. Все изложенные здесь соображения и выводы были в основном известны (или предполагались) еще до запуска на Марс в 1975 г. двух космических аппаратов "Викинг". К тому времени стало ясно, что только

Марс можно рассматривать как возможное место существования внеземной жизни. В следующей главе мы перейдем к удивительной истории исследований Марса, кульминацией которой стали полеты "Викингов".

Глава 5

Марс: мифы и реальность

Наши знания о Марсе постоянно совершенствуются. Каждое новое противостояние добавляет что-то свое к тому, что мы уже знали. С тех пор как около 50 лет назад была впервые создана теория о возможности жизни на этой планете, каждый вновь установленный факт вполне согласуется с ней. Не обнаружено ничего такого, что нельзя было бы объяснить в рамках этой теории. Таким образом, теория и наблюдения не противоречат друг другу.

Е. К. С.шифер, "История фотографических исследований Марса" (1962)

В книге "Золотая ветвь" антрополог Джеймс Фрезер поведал о том, что изначально Марс считался богом растений, а не войны. Римские крестьяне возносили ему молитвы об удачном урожае, именем Марса был освящен весенний месяц март. В свете столь древней связи между богом Марсом и весенним пробуждением природы вполне естественно, что из всех планет Солнечной системы, за исключением Земли, именно Марс казался наименее враждебным и наиболее благоприятным для жизни.

Хотя по своим размерам Марс примерно вдвое меньше Земли, с большого расстояния он удивительно напоминает нашу планету и действительно обладает определенным сходством с ней. В 1659 г., проводя одно из самых первых наблюдений Марса в телескоп. Христиан Гюйгенс (с его взглядами на возможность внеземной жизни мы познакомимся в предыдущей главе) обнаружил на марсианской поверхности постоянно существующие пятна, благодаря которым ему удалось оценить период вращения планеты вокруг своей оси. Гюйгенс установил, что Марс, как и Земля, делает полный оборот вокруг своей оси за 24 ч. Позднее более точные измерения показали, что продолжительность солнечного дня на Марсе точно равна 24 ч 37 мин 22 с: во время полета "Викингов" этот период получил название "сол"-во избежание путаницы с земными сутками. Кроме того, выяснилось, что в настоящее время ось вращения Марса наклоне

на* под углом в 25 к плоскости его орбиты (что сравнимо с углом наклона земной оси, равным 23,5). Это означает, что на Марсе, как и на Земле, происходит смена времен года, когда сначала одно, а затем другое его полушарие поворачивается к Солнцу. По продолжительности марсианский год равен 687 земным суткам (669 солам), т.е. примерно на шесть недель короче двух земных лет, так что продолжительность времен года на Марсе вдвое больше, чем у нас. Однако вследствие эксцентricности (большей вытянутости) марсианской орбиты времена года там существенно отличаются по продолжительности, тогда как на Земле они почти одинаковы. Так, на Марсе северное лето (и южная зима) продолжается 178 сол, а северная зима (и южное лето) -154 сола; на Земле они равны соответственно 94 и 89 суткам.

Внешнее сходство с Землей усиливается благодаря сезонным изменениям окраски поверхности Марса, которые можно наблюдать в телескоп. Самое поразительное впечатление производят ежегодные наступления и отступления полярных ледовых шапок (фото 6). Другие, менее заметные изменения наблюдаются в более низких широтах, где марсианская поверхность разделена на ряд светлых и темных областей (фото 7). Светлые области, ранее называемые пустынями, имеют красновато-оранжевый цвет; темные, в прошлом называемые морями (предполагалось, что это скопления воды), описывали по-разному, называя их серыми, коричневыми, голубыми или зелеными. О сезонных

изменениях цвета и контрастности марсианских морей, казавшихся темными и голубовато-зелеными поздней весной и летом, сменявшихся с общим коричневатым фоном осенью и зимой, а затем опять темневших весной, астрономы упоминали еще в XIX в. В 1860 г. впервые было высказано предположение, что такие изменения скорее всего объясняются тем, что темные области, по-видимому, покрыты растительностью, а не водой. Некоторые наблюдатели говорили также о сети тонких прямых линий, простиравшихся на сотни километров по марсианской поверхности. Эти линии, которые итальянский астроном Джованни Скиапарелли (1835-1910), составивший прекрасные карты Марса, назвал сапаны (откуда и пошло их название "каналы"), как и моря, менялись в

* Угол наклона марсианской оси изменяется во времени в интервале 15-35°, что обусловлено главным образом гравитационным притяжением Юпитера. Угол наклона земной оси изменяется всего на +1° от среднего значения.

зависимости от сезона: они темнели в период местной весны и лета и утрачивали окраску осенью и зимой. Скиапарелли отмечал, что "каналы" напоминают искусственные сооружения, созданные разумными существами, но при этом не пытался объяснить их происхождение.

Столь интригующие результаты наблюдений, достигнутые благодаря усовершенствованию телескопов в XIX в., убедили многих, что наконец получено прямое доказательство существования жизни на другой планете. Одним из тех, кого потрясли эти новые открытия, был американец Персиваль Ловелл (1855-1916). В необычной истории биологических исследований Марса Ловелл занимает особое место и заслуживает отдельного рассказа.

Наследство Персиваля Ловелла

Персиваль Ловелл принадлежал к весьма известной в Новой Англии семье. Его брат Лоуренс стал президентом Гарвардского университета, а сестра Эми была поэтом-импрессионистом. Ловелл не был профессиональным астрономом: он посвятил себя изучению японской и корейской культур, о которых написал целый ряд книг. Увлечение Марсом началось сравнительно поздно. Как писал Уильям Грейвс Хойт, автор последней биографии Ловелла, среди множества увлечений Ловелла была и астрономия. И вдохновило его на занятие этой наукой открытие Скиапарелли марсианских каналов. Наблюдения Скиапарелли, по-видимому, почти убедили Ловелла в том, что Марс населен разумными существами. Уверившись (или почти уверившись) в этом, он потратил все свое значительное состояние и талант на создание во Флагстаффе обсерватории (ныне она называется Ловелловской обсерваторией). Ее главной задачей ставилось изучение Марса. Обсерватория была открыта в мае 1894 г., а уже к июлю, всего лишь два месяца спустя, Ловелл четко сформулировал свои взгляды по поводу жизни на Марсе, от которых, по замечанию Хойта, не отказался до конца своей жизни.

Хотя Ловелл приступил к изучению Марса сравнительно поздно, вскоре он приобрел солидный авторитет в вопросах, связанных с изучением этой планеты. Обсерватория Ловелла имела прекрасное оборудование, квалифицированных сот рудников и располагалась в очень удобном для наблюдений месте. Последнее он не упускал случая отмечать, когда другим не удавалось подтвердить результаты его наблюдений.

Кроме того, все научные силы обсерватории были направлены на исследование Марса, использовалась любая возможность пополнить запас знаний об этой планете. Благодаря столь интенсивным наблюдениям Ловелл собрал огромный систематизированный материал и приобрел репутацию самого информированного исследователя Марса того времени. (Критика, раздававшаяся в адрес Ловелла как при жизни, так и после его смерти, касалась в основном не его данных, а их истолкования.) Наконец, Ловелл без устали пропагандировал свое восторженное отношение к этой проблеме и непоколебимую

уверенность в правильности своих выводов в книгах, статьях и публичных лекциях. Активная деятельность Ловелла пробудила огромный интерес к Марсу не только среди специалистов, но и в самых широких кругах населения.

Теория Ловелла была достаточно проста. Он начал с предположения, что полярные шапки Марса состоят, по всей вероятности, из водяного льда. В подтверждение своего мнения он ссылаясь на темно-голубой ободок (воротник), образующийся вокруг шапок, когда они начинают уменьшаться весной, и сокращающийся вместе с ними. Только жидкая вода, возникающая в результате таяния ледовых шапок, может служить причиной появления таких ободков. утверждал Ловелл, часто называя их "полярными морями". Он знал, что климат Марса (за исключением полярных областей) очень сухой. Темные участки поверхности планеты не могли быть скоплениями воды, поскольку, хотя они и меняли свою окраску в зависимости от сезона, как бы высыхая, вода, по-видимому, исчезавшая из них, больше нигде не проявлялась. Как указывали другие исследователи, если бы в марсианских морях существовала вода, они отражали бы солнечный свет, однако подобное явление никогда не наблюдалось. Отметив сухость поверхности планеты, Ловелл пришел к заключению, что сезонное исчезновение одной полярной шапки, сопровождающееся увеличением другой, вероятно, означает, что вода перемещается от одного полюса к другому: "В силу метеорологических условий сначала происходит перемещение [воды] в район одного полюса, затем, после таяния [льда], концентрация у другого, и такое маятникообразное движение является единственным источником увлажнения планеты". Эти перемещения воды раз в полгода сопровождаются увеличением контрастности темных областей, которое, подобно волнам, распространяется "по поверхности планеты от одного полюса к

другому в течение шести марсианских месяцев". Ловелл был убежден, что регулярное потемнение доказывает существование на Марсе растительности. "Наблюдения свидетельствуют, - писал он, - что условия, существующие на планете, не просто совместимы с жизнью, но растительная жизнь проявляет себя настолько очевидно, насколько этого можно ожидать, и ничто, кроме растительности, не может быть первопричиной наблюдаемого явления".

В первом томе "Ежегодника", выпускавшегося в его обсерватории, Ловелл писал:

Если бы уровень развития жизни на планете был выше чисто растительной жизни и если бы представляющие ее организмы могли обеспечивать нечто большее, чем просто вегетацию, и использовали бы природные условия в собственных целях, то первым и главным их стремлением было бы изобретение средства, эффективно использующего каждую час тицу необходимого и столь трудно доступного фактора жизни - воды. Ибо нет организма, способного существовать без воды. В общем, орошение для сельскохозяйственных целей было бы главной заботой марсиан. . .

Затем, подводя итоги своим наблюдениям каналов, Ловелл заключает:

Таковы лишь некоторые признаки существования гигантской системы орошения. На основании приведенных выше результатов наблюдений я прихожу к выводу о 1) общей обитаемости планеты и 2) реальном существовании там в настоящее время какой-то формы разумной жизни.

Таким образом, Ловелл пришел к убеждению о существовании на Марсе цивилизации. Побуждаемый своим современником, французским астрономом Камилом Фламарионом (1842-1925), он изложил в популярной форме столь знакомую нам драму отважного марсианского народа, более высокоразвитого, чем мы, который борется за возможность выжить на высушенной и умирающей планете. В этих идеях Ловелл не видел ничего фантастического. В своей книге "Марс и жизнь на нем" он, в частности, писал:

При изложении собранных по крупицам сведений о Марсе мы были предельно

осторожны, стараясь избежать каких-либо домыслов. Но законы физики, а также современные знания в области геологии и биологии, пополненные сведениями из астрономии, привели нас от наблюдений к осознанию наличия иной, разумной жизни.

Хотя широкая общественность восприняла с энтузиазмом идею о существовании марсианской цивилизации, ученые даже при жизни Ловелла отнеслись к ней скептически, и она

умерла вместе с ним. "Каналы", существование которых всегда вызывало большие сомнения, и которые, как теперь известно, никогда не существовали, были, вероятно, иллюзией, порожденной трудностями наблюдений. Однако основные положения теории Ловелла-полярные льды, движение воды, растительность-не только пережили его, но и обрели новую жизнь. Освободившись от домыслов о геологических марсианах, идея Ловелла о сходстве Марса и Земли приобрела как бы научную респектабельность и вошла в разряд разумных научных гипотез. Казалось бы, взгляды Ловелла были опровергнуты во всех существенных деталях. Тем не менее-и это самое странное в нашем рассказе-по мере дальнейших наблюдений Марса все более казалось, что Ловелл был прав. Поэтому его взгляды преобладали на протяжении большей части нашего столетия.

Эпиграф перед началом этой главы взят из книги сотрудника Ловелла и отражает состояние вопроса на 1962 г. Оптимизм, который сквозит в заявлении Слайфера, в 1962 г. был действительно оправдан. К сожалению, полученные вскоре новые результаты покажут его необоснованность и позволят отнести нарисованную Ловеллом картину планеты с прорытыми марсианами каналами или без оных к области чистой фантазии. За несколько лет научные представления о планете в корне изменятся. Возвышению и падению в наши дни представлений Ловелла о Марсе посвящена остальная часть этой главы.

Марс до 1963 г.- представления Ловелла

Полярные шапки

Увеличение и уменьшение полярных шапок Марса земные наблюдатели считали доказательством наличия на этой планете атмосферы, но ее качественный и количественный состав долгое время оставался неизвестным. Диоксид углерода, который, как мы теперь знаем, является основной составляющей марсианской атмосферы, впервые был обнаружен на Марсе в 1947 г. известным американским астрономом, голландцем по происхождению, Джерардом П. Кюйпером (1905-1973). В своем исследовании Кюйпер воспользовался методом инфракрасной спектроскопии. При спектроскопическом изучении планет солнечный свет, отраженный планетой, собирается телескопом, а затем с помощью призмы или решетки разлагается в характеристический спектр, в данном случае-в спектр инфракрасного излучения. Далее полученный спектр сравнивают с аналогичным спектром, например Луны или, в зависимости от необходимости, другой части той же планеты. Различные соединения поглощают свет разных длин волн, что делает возможным их химическую идентификацию. Сравнивая спектр планеты, имеющей атмосферу, со спектром Луны, у которой атмосфера отсутствует, и учитывая при этом поглощение света в земной атмосфере, можно получить истинный спектр исследуемой атмосферы. Поскольку количество поглощенной энергии зависит от массы поглощающего вещества, такой спектр несет не только качественную, но и количественную информацию. Таким образом, по спектру можно не только установить, какой газ находится на пути света, поглощая его, но и определить концентрацию этого газа.

Область длин волн, лежащая за красным концом видимого спектра, называется инфракрасным (ИК-) излучением. В этой спектральной области находятся линии поглощения многих химических соединений. Сопоставив спектр отраженного ИК-излучения Марса с аналогичным спектром Луны, Кюйпер обнаружил, что в марсианском спектре ослаблены линии, соответствующие некоторым длинам волн вблизи 1,6 мкм

(микрон: $1 \text{ мкм} = 10^{-6} \text{ м}$). Известно, что эта область длин волн соответствует полосе поглощения диоксида углерода. Кюйпер оценил, что количество CO_2 над исследуемой областью марсианской поверхности в два раза больше, чем над такой же (по площади) областью Земли. Исходя из

этого, он вычислил, какое давление создает на Марсе диоксид углерода, приняв во внимание, что сила тяготения на этой планете слабее, чем на Земле. Он получил, что атмосферное давление на Марсе равно $0,26 \text{ мм Hg}$ (ртутного столба), или $0,35 \text{ мбар}^*$. Кюйпер ошибся: его результат оказался примерно в 16 раз ниже истинного значения. Эта ошибка имела важные последствия, так как позволила Кюйперу утверждать, что полярные шапки на Марсе не могут состоять из замерзшего диоксида углерода (сухого льда). Если бы давление диоксида углерода было столь низким, как следовало из расчетов Кюйпера, то для вымораживания этого газа из атмосферы потребовалась бы нереально низкая температура. Несколькими годами позже выяснилось, что Кюйпер неправильно рассчитал давление CO_2 : однако это открытие не повлияло на общий ход событий.

Единственным другим веществом, из которого могли бы состоять марсианские полярные шапки, является вода в замерзшем состоянии: лед, снег или иней: однако поиски в атмосфере Марса паров воды, предпринятые различными астрономами, оказались безуспешными. Поэтому Кюйпер продолжал изучать северную полярную шапку непосредственно методом ИК-спектроскопии. Вследствие малых размеров шапки анализ результатов наблюдений вызывал немалые трудности, поэтому, видоизменяя спектрометр так, чтобы повысить его чувствительность, и многократно повторяя наблюдения, Кюйпер в конце концов убедил себя в том, что "марсианские полярные шапки состоят не из CO_2 , а почти несомненно из H_2O , замерзшей при низкой температуре". Нота осторожности, звучащая во второй части этого заключения, связана с тем, что спектр отражения марсианской полярной шапки не полностью соответствовал спектру земного снега, полученному Кюйпером.

Здесь он опять ошибся: меняющиеся в зависимости от сезона части шапок действительно образованы из замерзшего диоксида углерода, а не из воды. Но эту ошибку обнаружили лишь почти через 20 лет. Напротив, неправильный вывод Кюйпера, казалось бы, подтверждался результатами Одуэна Дольфуса из Парижской обсерватории, который использовал другой метод, основанный на поляризации отраженного света. Обычный неполяризованный солнечный свет представ

* 1 мбар (миллибар) давление, равное 100 Н/м^2 (ньютон на квадратный метр). На Земле атмосферное давление соответствует 1013 мбар . что соответствует 760 мм Hg на уровне моря.

ляет собой электромагнитные волны, в которых векторы электрического и магнитного полей колеблются во всех направлениях в плоскости, перпендикулярной направлению распространения светового луча. Однако у света, который отражается, рассеивается или проходит через некоторые специфические вещества, эти колебания происходят в строго определенном направлении. В таком случае говорят, что свет поляризован. Степень поляризации отраженного света зависит от угла зрения, а также от структуры, прозрачности и других физических свойств отражающей поверхности. Дольфус, обладавший большим опытом исследования планет методом измерения поляризации света, решил применить его и для изучения марсианских полярных шапок.

Как и Кюйпер, Дольфус отмечал, что размеры шапок невелики и потому их исследование связано с трудностями. Однако ему удалось сделать несколько измерений, и он обнаружил, что поляризационный эффект оказался намного меньше, чем при аналогичных измерениях на Земле поляризации света, отраженного от лежащих на горных склонах льда, иней и снега, наблюдаемых под тем же углом зрения. Затем Дольфус провел серию лабораторных экспериментов. Они показали, что эффект поляризации, вызванный слоем

иней, имел сходство с эффектом поляризации, обусловлен ным марсианскими полярными шапками, при двух условиях: во-первых, если иней осаждался на холодной поверхности при низком атмосферном давлении (как и должно было происходить на Марсе), и, во-вторых, если при этом он частично возгонялся, т. е. испарялся в твердом состоянии, под воздействием дуговой лампы. Подобное, вероятно, могло происходить с марсианскими полярными шапками под влиянием солнечного излучения. На основании этих результатов Дольфус пришел к выводу, что полярные шапки, по всей видимости, образованы инеем.

Дольфус не проводил сравнительных экспериментов с твердым диоксидом углерода, но явное совпадение его результатов с данными Кюйпера убедило многих исследователей Марса, что вопрос о природе полярных шапок решен. Далее мы цитируем заключение комиссии специалистов, многие из которых впоследствии сделали важный вклад в наши представления о Марсе. Эта комиссия была назначена Советом по космическим исследованиям, созданным для консультаций НАСА на ранних этапах разработки программ по изучению планет. Приведенная цитата дает представление о взглядах ученых.

Инфракрасные спектры света, отраженного от полярных шапок, убедительно свидетельствуют, что эти образования на Марсе состоят не из замерзшего диоксида углерода единственного поддающегося конденсации соединения, наличие которого, кроме воды, можно было бы ожидать; спектры отражения также вполне согласуются с предположением, что полярные шапки образованы льдом. . . Данные по изучению поляризации пока зывают, что полярные шапки состоят из инея. . .

Далее в своем докладе эта же комиссия настаивала на выводах, подобных тем, к которым 63 года назад, в 1898 г., пришел Ловелл. По ее мнению:

... так как полярные шапки состоят из замерзшей воды, их сезонные изменения прямо указывают на то, что в атмосфере Марса присутствуют пары воды. С учетом чередующегося изменения размеров полярных шапок в противоположных полушариях циркуляция нижних слоев атмосферы должна быть такова, чтобы обеспечивать перемещение водяных паров из одного полушария в другое.

Атмосферное давление

Ряд взаимосвязанных ошибок послужил причиной возникновения неправильного представления о другом важнейшем параметре-атмосферном давлении. И опять это вызвано стремлением приписать Марсу большее сходство с Землей, чем есть на самом деле. Во времена Ловелла марсианское атмосферное давление измеряли двумя основными методами-фотометрии и поляриметрии. Как известно, молекулы газа рассеивают свет. В частности, именно этим объясняется голубой цвет неба: атмосфера рассеивает падающий солнечный свет равномерно во всех направлениях, но поскольку свет с более короткими длинами волн (синяя область спектра) рассеивается гораздо сильнее, чем длинноволновый (красная область), мы видим небо голубым. Поскольку рассеяние света атмосферой влияет на яркость поверхности планеты, измерение яркости на различных длинах волн и при различной плотности атмосферы (что достигается наблюдением планеты под разными углами) может служить средством для оценки величины атмосферного давления. Кроме того, поскольку рассеянный свет поляризован, измерение степени поляризации дает возможность проверить полученные результаты.

Трудность, однако, состоит в том, что характер рассеяния света зависит не только от его длины волны и плотности атмосферы, но и от состава последней, а также наличия или отсутствия в ней пыли и других взвешенных частиц. Чтобы

обойти это и другие препятствия, обусловленные, например, поляризацией света при отражении от поверхности планеты, исследователям до 1963 г. приходилось при расчете атмосферного давления делать некоторые неподдающиеся проверке допущения. В результате, по словам Клода Мишо и Рэя Ньюберна из Лаборатории реактивного движения,

"каждый новый исследователь, ссылаясь на "произвольные допущения" своих предшественников, выдвигал новый набор своих собственных".

Несмотря на все трудности, со времен Ловелла было предпринято не менее десяти попыток использовать фото метрический и поляриметрический методы для определения величины давления на поверхности Марса. Результаты этих обычно вполне согласующихся друг с другом измерений были проанализированы французским астрономом Жераром де Вокулёром в его широко известной книге о Марсе. английское издание которой появилось в 1954 г. Де Вокулёр пришел к выводу, что наиболее вероятное значение атмосферного давления у поверхности Марса равно 85 ± 4 мбар. (Эта цифра прекрасно совпадала с величиной, ранее полученной Ловеллом: в своей книге "Марс и жизнь на нем". опубликованной в 1908 г.. Ловелл, используя фотометрический метод, оценил величину давления в 64 мм Hg, что равно 85 мбар!) После повторной проверки данных упомянутая выше комиссия экспертов пришла к следующему заключению: "Вряд ли истинное значение давления на поверхности [Марса] отличается от 85 мбар больше чем в 2 раза". В действительности же истинное значение поверхностного давления отличается от 85 мбар более чем в 10 раз!

Растительность

Убежденность Ловелла в том, что темные области на поверхности Марса покрыты растительностью, основываясь на голубовато-зеленой окраске, которая, как показывают наблюдения, изменялась со сменой сезонов. Весной это, как говорил Ловелл, "весеннее движение", или "волна позеленения". начинающееся у края темной полосы, окружающей полярную шапку, перемещалось вдоль каналов по направлению к экватору и дальше. По оценке Ловелла, скорость распространения "волны позеленения" составляла 51 милю (82 км) в день. Согласно его схеме, волна усиления окраски свидетельствовала о развитии растительности в период, когда в низких широтах в достатке появлялась вода, что

было связано с ее регулярным перемещением в атмосфере планеты от одного полюса к другому. Ловелл понимал, что направление движения "волны потемнения" (как ее стали называть) противоположно тому, что наблюдается на Земле, где весенний рост растительности, начинаясь в умеренных широтах, распространяется к полюсу. Но он был убежден, что именно этого следует ожидать на планете, где жизнь существует в условиях дефицита воды.

Наблюдения Марса в телескоп, проведенные уже после смерти Ловелла, подтвердили наличие темной полосы во круг полярной шапки и сезонных изменений в окраске морей. В настоящее время эти явления принято объяснять перемещением облаков пыли ветрами, направление которых изменяется в зависимости от сезона. Возможно, что темная полоса вокруг полярной шапки-это просто оптический эффект, обусловленный появлением слоя замерзшего диоксида углерода, который обнажается в результате возгонки лежащего на нем инея. Однако на протяжении десятилетий после смерти Ловелла господствовала гипотеза о существовании на Марсе растительности, и к 1960 г. казалось, что она скоро будет окончательно доказана.

История этого вопроса берет свое начало в 1947-1948 гг., когда Дж.П. Кюйпер, утверждавший, что марсианские полярные шапки состоят из водяного льда, обратил внимание на то, что он назвал "зелеными областями" Марса. Он собирался сравнить спектр света, отраженного от этих областей, со спектрами света, отраженного от поверхностей, покрытых высшими растениями, лишайниками и мхами. Лишайники представляют собой симбиозы грибов и водорослей. Они имеют зеленый или зеленоватый цвет и, подобно высшим растениям, осуществляют фотосинтез с помощью хлорофилла. Обладая чрезвычайной выносливостью, эти организмы населяют холодные, сухие, малоблагоприятные для жизни места, где редко встречаются другие виды.

Кьюпер не обнаружил сходства между спектрами света, отраженного от высших растений и лишайников. В то время как в видимой и инфракрасной областях спектра света, отраженного от высших растений, наблюдалось с десятков пиков, чередующихся с провалами, у лишайников соответствующий спектр не имел столь характерных особенностей - он был почти ровным. Подобный спектр получили и при исследовании мхов. По техническим причинам Кьюперу не удалось получить полной спектральной картины зеленых областей Марса: он исследовал лишь отраженный от них свет на

четырёх различных длинах волн. Он убедился, что эти спектры отличаются от спектров зеленых растений, но весьма сходны со спектрами мхов и лишайников. Однако спектр, лишенный характерных особенностей, вряд ли можно было рассматривать как надежное доказательство существования на Марсе какой-либо формы жизни; поэтому "волны потемнения" дали объяснение небиологического характера. Согласно новой гипотезе, сезонные изменения на Марсе происходят в то время, когда неорганические вещества на его поверхности поглощают из атмосферы водяные пары, которые весной перемещаются по планете, а затем теряют их осенью, когда атмосфера становится сухой. Существует много соединений такого рода, которые меняют цвет при поглощении или потере влаги. Известный английский астроном, эстонец по национальности, Эрнст Опики выступил в 1950 г. против этой гипотезы, указав на то, что пылевые бури - в телескоп они видны как желтые тучи, порой окутывающие всю планету, - давно засыпали бы темные области, будь они просто минеральными отложениями на поверхности. Опики высказал предположение, что, поскольку одни и те же области всегда вновь появляются в поле зрения по окончании марсианских бурь, они, по-видимому, обладают способностью к регенерации.

Проанализировав все эти факты и отдав должное аргументам Опики, Кьюпер пришел к выводу, что в темных областях "имеются очень хорошие" условия для существования жизни. Однако он считал маловероятным, что марсианские лишайники идентичны земным, так как это свидетельствовало бы о параллельной эволюции, что абсолютно исключено, и, кроме того, наши лишайники никогда не меняют цвета осенью.

Суждение Кьюпера в лучшем случае осталось бы только предположением, если бы вскоре оно не было подтверждено поразительным результатом, полученным молодым американским астрономом В. М. Синтоном. Как и Кьюпер, Синтон исследовал отраженный свет Марса, но не во всем диапазоне, а лишь в узком интервале длин волн в инфракрасной области (около 3,5 мкм), где наблюдается сильное поглощение, соответствующее углерод-водородным связям. Поскольку этот тип связей имеется в молекулах всех органических веществ, Синтон считал, что если волна потемнения обусловлена растительной жизнью, то это можно будет обнаружить по поглощению света в указанной области спектра. Изучение спектров отражения лишайников, мхов и

сухих листьев подтвердило, что для них действительно характерно поглощение в этом диапазоне. Затем, исследуя в течение четырех ночей отраженный свет Марса, Синтон обнаружил в его спектре полосу поглощения максимумом на волне 3,46 мкм, т. е. точно там же, где и у исследованного ранее растительного материала. Два года спустя, в 1958 г., Синтон повторил свои наблюдения, но с использованием более совершенного 200-дюймового (1 дюйм = 2,54 см) телескопа Маунт-Паломарской обсерватории. На этот раз ученый смог проанализировать отдельно свет, отраженный от темных и от светлых областей Марса. В спектрах темных областей были обнаружены три полосы поглощения вблизи 3,5 мкм, характерные для органических соединений. В спектрах светлых областей поглощение было слабым или вообще отсутствовало. Казалось бы, возможно ли более убедительное подтверждение предположений Ловелла и Кьюпера!

Но обнаруженные Синтоном полосы поглощения не убеждали комиссию Совета по космическим исследованиям, которая отметила, что "вероятность того, что эти полосы

образуются в результате комбинации спектров неорганических веществ, по-видимому, еще не исследована в достаточной мере". Однако относительно возможности существования жизни на Марсе комиссия сделала такой вывод:

В целом представленные доказательства позволяют предположить существование жизни на Марсе. В частности, данные о наличии паров воды именно таковы, каких следовало ожидать для планеты, довольно сухой в настоящее время, но когда-то, вероятно, имевшей значительно больше воды на поверхности. Имеющиеся в нашем распоряжении немногочисленные факты могут свидетельствовать лишь о наличии микроорганизмов, о существовании же крупных организмов и животных, способных к передвижению, достоверных данных не получено.

Марс в действительности

Атмосферное давление

Снятие с Марса покровы таинственности, к чему мы сейчас приступаем, отражает истину, сформулированную много лет назад двумя учеными-философами Моррисом Коэнм и Эрнстом Нагелем: "В общем можно сказать, что наука будет в безопасности до тех пор, пока существуют люди, которые заботятся о корректности используемых ими методов больше, чем о результатах, полученных с их помощью".

"Деловеллизация" Марса началась с одной-единственной, но исключительной по качеству спектрограммы, полученной на Маунт-Вилсоновской обсерватории в апреле 1963 г., которую затем проанализировали Льюис Каплан, Гвидо Мюнх и Хайрон Спинард, сотрудники Лаборатории реактивного движения Калифорнийского технологического института. В спектрограмме атмосферы Марса обнаружилось поглощение в инфракрасной области, характерные для диоксида углерода и, впервые, для паров воды. Спектр CO_2 представлял особый интерес, поскольку в нем были как слабые линии поглощения, ширина которых зависит лишь от содержания в атмосфере CO_2 , а не от общего атмосферного давления, так и сильные, ширина которых зависит от обоих этих параметров. Таким образом, наконец появилась возможность рассчитать относительное содержание в атмосфере Марса CO_2 , а также общее атмосферное давление у поверхности. Самое важное заключалось в том, что атмосферное давление теперь можно было вычислить, основываясь только на известных физических законах, не прибегая ни к каким искусственным допущениям, которые ставили бы под сомнение результаты всех предыдущих расчетов.

Анализ спектрограммы, сделанный Капланом, Мюнхом и Спинардом, дал неожиданный результат: атмосферное давление на Марсе оказалось намного ниже, а содержание CO_2 — намного выше, чем предполагалось прежде. Так, по наиболее точным оценкам этих ученых, общее атмосферное давление оказалось равным 25 мбар, а давление CO_2 — 4 мбар, тогда как ранее они предполагались равными 85 и 2 мбар соответственно. Авторы отмечали большие погрешности в своих вычислениях, обусловленные неопределенностью в результатах некоторых измерений (все расчеты производились на основе всего лишь одной фотографической пластинки), но выразили надежду, что дальнейшие наблюдения позволят уточнить полученные результаты. В конечном счете было показано, что даже 25 мбар — слишком большое значение для атмосферного давления у поверхности Марса.

Статья Каплана, Мюнха и Спинарда, опубликованная в 1964 г., открывает "постлелловскую эру" в изучении Марса. Большие усилия были затрачены на повторные исследования атмосферного давления и состава атмосферы. Это было важно не только потому, что полученные результаты интересны сами по себе, но и по той причине, что без точных данных невозможна разработка космического аппарата для посадки на планету. Когда в 1965 г. Марс в очередной раз

оказался на минимальном расстоянии от Земли, его атмосферу тщательно исследовали

в телескопы наземных обсерваторий. а также с помощью аппарата "Маринер-4"-первого американского космического корабля, запущенного к Марсу.

Следующую неожиданность в развернувшуюся марсианскую эпопею принесли полные и богатые информацией результаты, полученные "Маринером-4". При этом использовался метод измерения атмосферного давления, совершен но новый для исследований Марса. Прежде всего потребовался точный расчет траектории полета космического аппарата, которая должна была проходить таким образом, что "Маринер-4" на протяжении примерно одного часа дважды заслонялся Марсом. Приблизительно в течение 2 мин, предшествующих действительному заходу аппарата за видимый диск планеты, радиопульс, посылаемый "Маринером-4" на Землю, проходил, преломляясь и искривляясь, через марсианскую атмосферу. То же самое происходило 54 мин спустя, когда космический аппарат выходил из-за диска Марса. При приеме этого радиосигнала на Земле его преломление точно измерялось, а поскольку величина его зависит от плотности атмосферы, был получен полный "профиль" давления с внешнего края атмосферы Марса и до той точки на поверхности, где космический аппарат заходил за диск планеты или появлялся из-за него.

Полученная таким образом величина давления оказалась удивительно низкой: 4-7 мбар в зависимости от температуры атмосферы и реального содержания диоксида углерода (которое к тому времени было точно известно). На Земле атмосферное давление имеет такое значение на высоте около 32 км. Сначала предполагалось, что столь низкие величины давления должны носиться к высоким точкам поверхности Марса, а не ко всей планете в целом. Однако от этой мысли пришлось отказаться. Начиная с 1965 г. было сделано много измерений марсианского давления, которые проводились различными методами и с разных точек наблюдения: от спектроскопических исследований с Земли всей видимой поверхности планеты до локальных измерений, осуществленных с помощью датчиков давления непосредственно на поверхности планеты, куда они были доставлены спускаемыми аппаратами "Викинг". Все полученные результаты хорошо согласуются в том, что средняя величина давления, которая может слегка варьироваться в зависимости от места и времени года, существует ниже 10 мбар. Оценки, сделанные

разными авторами, колеблются в пределах 5-7 мбар, поэтому в качестве разумного приближения можно принять величину атмосферного давления равной 6 мбар. Давление на Равнине Эллада, одном из самых низких районов на Марсе, должно составлять примерно 8,6 мбар, а на вершине горы Олимп, самой высокой точке планеты, - около 0,5 мбар.

Состав атмосферы и полярных шапок;

Результаты, полученные с помощью аппарата "Маринер-4", недвусмысленно свидетельствуют о том, что диоксид углерода, давление которого, по оценке Каплана, Мюнха и Спинарда, составляет на Марсе 4 мбар, должен быть главным, а не второстепенным компонентом марсианской атмосферы, как считали, исходя из величины давления 85 мбар. (Впоследствии в результате полета "Викингов" было установлено, что содержание диоксида углерода в атмосфере Марса достигает 95%.) Кроме того, еще до полета "Викингов" в атмосфере Марса были обнаружены пары воды (их наличие установлено по спектрам, полученным на фотопластинке и проанализированным Капланом и его коллегами), а также небольшие количества кислорода, озона, атомарного водорода и монооксида углерода, образовавшихся в результате фотолиза из воды и диоксида углерода под действием солнечного света. Содержание паров воды в атмосфере соответствовало 14 мкм осадочной воды. Это значит, что если бы все пары воды в атмосфере планеты сконденсировались, то образовался бы слой воды толщиной в 14 мкм. При такой концентрации водяных паров их давление у поверхности равно 1/10000 давления диоксида углерода, т.е. 0,5 мкбар*; на поверхности Земли давление паров воды в среднем в 10000 раз больше. Подобное несоответствие приводит к важным биологическим последствиям, о

которых мы расскажем подробнее в следующих главах.

Значительная концентрация диоксида углерода в марсианской атмосфере побудила Роберта Лейтона и Брюса Мюррея, сотрудников Калифорнийского технологического института, пересмотреть вопрос о составе полярных шапок. В 1966 г. Лейтон и Мюррей опубликовали результаты теории

* Масса слоя воды толщиной 14 мкм равна $0,0014 \text{ г/см}^2$. Умножая эту величину на ускорение силы тяжести (на Марсе оно равно 373 см/с^2), можно найти давление паров воды у поверхности — оно составляет 0,522 мкбар.

Исследования теплового баланса Марса, что позволило им предсказать температуру на любой широте планеты в любое время года. Предполагалось, что Марс в среднем холоднее Земли, поскольку он находится дальше от Солнца, поток солнечного излучения, приходящийся на единицу его поверхности, составляет только 43% от того, что получает Земля. Кроме того, из-за разреженности марсианской атмосферы парниковый эффект там выражен очень слабо. Измерения, проведенные с Земли, показали, что температура на марсианском экваторе днем достигает 25°C , но ночью падает на 100°C и даже больше. Поскольку на Марсе нет океана, который мог бы смягчать подобные перепады температуры, предполагалось, что они весьма велики. Хотя температуру полярных шапок не измеряли, считалось, что она не настолько низка, чтобы вымерз диоксид углерода из атмосферы.

Анализ, проведенный Лейтоном и Мюрреем, показал, что зимние температуры в высоких широтах обоих полушарий Марса вполне могут опускаться ниже -128°C , т.е. точки замерзания диоксида углерода при давлении 4 мбар. Размеры и скорость исчезновения полярных шапок, предсказываемые при условии, что они состоят из твердого диоксида углерода, хорошо согласовались с результатами наблюдений реальных марсианских шапок. Как видим, все сказанное о Марсе не дает оснований утверждать, что марсианские полярные шапки могли сформироваться из паров воды, хотя предполагается, что в их составе есть небольшие количества водяного льда. Поэтому Лейтон и Мюррей сделали вывод, что полярные шапки почти полностью состоят из замерзшего диоксида углерода.

Это предположение подтвердилось в 1969 г., когда к Марсу приблизились еще два космических аппарата: "Мари нер-6" и "Маринер-7". Когда "Маринер-7" проходил над южной полярной шапкой, на его борту работали два инфракрасных детектора. Один из этих приборов, радиометр, измерял тепловое излучение поверхности Марса; эти данные позволяли рассчитать температуру поверхности. Другой прибор, спектрометр, регистрировал как температуру, так и спектр отраженного инфракрасного излучения, который можно было использовать для изучения химического состава полярной шапки и атмосферы планеты. Как это принято, первые научные результаты, полученные с аппаратов "Мари нер", были оглашены на пресс-конференции, состоявшейся в Лаборатории реактивного движения в Пасадене вскоре после

окончания полета: краткое сообщение для прессы по результатам полета "Маринера-7" было сделано 7 августа 1969 г.

От имени группы экспериментаторов, работавших с инфракрасным радиометром, Джерри Нойгебауэр из Калифорнийского технологического института сообщил, что максимальная температура, измеренная прибором, равна -123°C (согласно более поздним оценкам, она равна -125°C), т.е. близка к величине, предсказанной Лейтоном и Мюрреем; это хорошо согласуется со значением температуры, рассчитанной на основе предположения, что полярная шапка состоит из замерзшего диоксида углерода. Расчетная температура зависит от давления диоксида углерода в атмосфере: чем оно выше, тем выше температура, и наоборот. При давлении 4 мбар температура по расчетам должна равняться -128°C , в таком случае измеренная температура (-125°C) соответствует давлению диоксида углерода 6.4

мбар. Эти два набора данных близки настолько, что их можно было считать совпадающими. Совершенно другой результат получила группа ученых во главе с Джорджем Пайментелом из Калифорнийского университета в Беркли, работавшая с инфракрасным спектрометром. Их данные прежде всего говорили о том, что температура кромки полярной ледяной шапки слишком высока для замерзшего диоксида углерода, откуда исследователи сделали вывод, что по крайней мере кромка состоит из водяного льда. Кроме того, спектрометр зарегистрировал над кромкой шапки (но не над основным ее телом) присутствие газообразного метана и аммиака. Наличие богатых водородом газов на планете, имеющей столь высокоокисленную атмосферу, вызывало удивление, поэтому было высказано предположение, что там происходят какие-то необычные химические процессы. В итоге эта группа исследователей сделала вывод, что у периферии полярной шапки имеется обводненная зона, пригодная для жизни, а метан и аммиак, возможно, являются продуктами биологической деятельности.

Это было воспринято как новое свидетельство в пользу существования жизни на Марсе, и на следующий день о нем сообщалось по всему миру. Как писала по этому поводу газета "Нью-Йорк тайме", "у ученых и журналистов перехватило дыхание". Не мелькнула ли в этот момент перед ними тень Персиваля Ловелла? Или обманчивый образ Марса опять вводит в заблуждение свои многочисленные жертвы? Как бы то ни было, вскоре все недоразумения разрешились: спектрометрическая лабораторная проверка

показала, что поглощение, прежде приписываемое метану и аммиаку, может быть обусловлено также твердым диоксидом углерода. Другой результат - более высокая, чем предполагалось ранее, температура кромки полярной шапки, - не сомненно означал, что когда космический аппарат двигался по направлению к полярной шапке, в поле зрения его бортового спектрометра попали какие-то участки обнаженного открытого грунта и скалы. Естественно, скалы и грунт имеют более высокую температуру, чем сама ледяная шапка. Биологическое объяснение было забыто, и сегодня спектрометрические данные стали одним из убедительных свидетельств того, что полярные шапки Марса состоят из диоксида углерода.

Темные области

Когда окончательно выяснилось, что сезонно изменяющиеся полярные шапки Марса состоят не из водяного льда, а из замерзшего диоксида углерода, ученым пришлось отказаться от прежнего убеждения, что "полярные моря" и другие подобные явления связаны с сезонными перемещениями воды от одного полюса планеты к другому, как считал Ловелл. Если полярные шапки сформированы из постоянно присутствующего в атмосфере диоксида углерода, а не из паров воды, перемещающихся над поверхностью Марса, то каким образом можно объяснить их сезонные изменения?

Наблюдения с помощью телескопов, проведенные уже после смерти Ловелла, в общих чертах подтвердили данное им описание поверхности планеты. Темная кайма вокруг исчезающей полярной шапки, очевидно, действительно существует, так же как повышается контрастность светлых и темных областей планеты в летнее время. Более проблематично выглядела волна потемнения, но к 1962 г. несколько наблюдателей подтвердили ее наличие, и при этом оказалось, что действительно существует некоторая корреляция между местоположением (широтой) той или иной области поверхности и временем его потемнения или посветления, хотя эта корреляция не столь очевидна, как утверждал Ловелл. Однако в наше время это явление объясняют совершенно иначе. По причинам, о которых мы расскажем в следующей главе, полярная темная кайма не может состоять из жидкой воды. Истинная ее природа точно неизвестна, но, по-видимому, она обусловлена либо действием сезонных ветров, сдувающих пыль с поверхности, либо оптическим эффектом, вызванным наличием зеркального слоя твердого

диоксида углерода, о котором говорилось выше. Не исключено также, что этот слой состоит из гидрата диоксида углерода, $\text{CO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, на возможное присутствие которого в марсианской полярной шапке указывали Стэнли Миллер и Уильям Смит. Это соединение может образовать слой, лежащий на границе раздела стабильной части шапки, со стоящей из водяного льда, и ее сезонно изменяющейся части, сформированной из твердой углекислоты CO_2 .

В настоящее время изменения в темных областях принято связывать с перераспределением пыли, вызванным сезонными ветрами, которые в большей или меньшей степени обнажают более темную почву. Однако некоторые ученые считают, что наблюдаемые сезонные изменения в окраске поверхности Марса вызваны просветлением светлых областей, а не потемнением темных. Хотя это явление имеет вид волны, распространяющейся по поверхности планеты, до сих пор не ясно, обусловлено ли оно оптическим эффектом, возникающим из-за изменения освещенности и углов наблюдения, или какими-то другими процессами.

Без сомнения, самым убедительным доказательством в пользу существования жизни на Марсе считались полученные Синтоном спектры с ярко выраженными полосами поглощения. Эти спектральные характеристики были зарегистрированы с помощью современных надежных методов, и, казалось бы, их явная взаимосвязь с сезонными изменениями темных областей делала маловероятным какое-либо иное объяснение. Хотя консультативная комиссия НАСА предостерегала против интерпретации синтоновских полос поглощения исключительно на основе биологических явлений, не было предложено каких-либо объяснений, связывающих наблюдаемое поглощение света с неорганическими веществами. Напротив, в единственном опубликованном до 1965 г. сообщении, где была предпринята попытка более четко проследить эту взаимосвязь, высказывалось предположение, что эти полосы поглощения обусловлены наличием на Марсе такого органического соединения, как ацетальдегид. В 1965 г. сотрудники Калифорнийского университета в Беркли Джеймс Ширк, Уильям Хейзелтайн и Джордж Пайментел продемонстрировали, что указанное поглощение лучше объясняется наличием в атмосфере Марса тяжелой воды D_2O (в молекуле которой один атом водорода заменен атомом дейтерия), а не органическим веществом. Вскоре после этого в статье Доналда Риа, Брайена О'Лири и Синтона из Калифорнийского университета в Беркли и из

Ловелловской обсерватории были представлены убедительные доказательства того, что тяжелая вода, о которой шла речь, присутствует не в марсианской, а в земной атмосфере. (Дейтерий составляет 0,02% концентрации земного водорода.) Выяснилось, что трудности, возникающие при проведении спектроскопических исследований небольших участков марсианской поверхности, привели к тому, что Синтон неправильно интерпретировал полосы поглощения в спектрах, приписав их действию темных областей поверхности. Таким образом, больше не было оснований считать, что темные области на поверхности Марса отличаются от светлых содержанием в них органического вещества.

Полет "Маринера-9" и представления о Марсе до полета "Викинга"

Отныне старые, ловелловские представления о Марсе начали быстро разрушаться, и к 1969 г. от них полностью отказались. Из суровой, но тем не менее чем-то напоминающей Землю планеты Марс превратился в негостеприимный, безжизненный мир, скорее похожий на Луну. Оказалось, что этот "новый" Марс имеет разреженную атмосферу, состоящую преимущественно из диоксида углерода, которая, очень слабо поглощая солнечное ультрафиолетовое излучение, не способна защитить от его разрушающего действия поверхность планеты. Безуспешными оказались и все попытки обнаружить здесь такой жизненно необходимый элемент, как азот-газ, наиболее распространенный в земной атмосфере, который, согласно представлениям Ловелла, должен был составлять основную массу

атмосферы Марса. Только теперь удалось установить, что содержание азота в ней не превышает 5%; не исключено, что планета вообще лишена этого газа. С биологической точки зрения наиболее страшной кажется высокая сухость Марса: низкое атмосферное давление у поверхности означает, что вода не может существовать на ней в жидкой фазе — только в виде льда или пара.

Телевизионные изображения планеты, переданные на Землю аппаратами "Маринер-4", "Маринер-6" и "Маринер-7", поразили исследователей не меньше, чем результаты по изучению атмосферы. Марс больше напоминал Луну, чем планету, подобную Земле. При ближайшем рассмотрении практически исчезло даже различие в цвете отдельных обла-

стей поверхности и стало невозможно обнаружить связь между морфологией поверхности и ее расцветкой. Даже границы между ставшими уже классическими светлыми и темными областями, казалось бы, столь отчетливые при наблюдении с Земли, были невидимы на фотографиях, которыми показывали Марс более детально, чем его когда-либо удавалось рассмотреть прежде. Выяснилось, что светлые области представляют собой относительно ровные участки грунта, покрытые более или менее сплошным слоем светлой пыли. Темные области, как оказалось, соответствуют участкам поверхности, испещренным множеством кратеров и местами покрытым пылью, через которую проглядывает более темный грунт. Что же касается каналов Скиапарелли и Ловелла, то единственным намеком на них являются хаотически расположенные цепочки кратеров и другие естественные детали рельефа, которые глаз воспринимает как линии на поверхности планеты.

К 1970 г. перспектива обнаружения жизни на Марсе стала столь малореальной, что вроде бы не оставалось серьезных оснований для включения биологических вопросов в план исследовательской программы космического аппарата, который предполагалось спустить на поверхность планеты в 1976 г. Однако очередной полет в 1971 г. аппаратов "Маринер" побудил ученых решительно пересмотреть эту точку зрения. Из двух космических аппаратов, запущенных в этом году, "Маринер-9", как и планировалось, вышел на орбиту вокруг Марса и проработал там 11 месяцев. Самым главным его достижением было получение фотографической карты всей поверхности планеты, и, так как теперь удалось увидеть большие области, ранее не доступные наблюдению, выяснилось, что Марс представляет собой не просто новый вариант Луны, как предполагалось прежде, а является планетой со своей собственной сложной историей.

К этому заключению привели несколько удивительных открытий, сделанных при изучении новых деталей марсианской поверхности. Было обнаружено четыре гигантских не действующих вулкана, один из которых самый большой в Солнечной системе. Но наиболее пристальное внимание при изучении поверхности Марса привлекли, несомненно, многочисленные протоки — "русла" протяженностью до сотен километров, которые, по видимому, были "вырыты" в далеком прошлом планеты текущей водой. (Эти русла не видны с Земли и не имеют никакого отношения к каналам Ловелла.) Обнаружено несколько морфологически различных типов

этих образований, но не во всех случаях их происхождение обязательно нужно объяснять текущей водой. Некоторые из них могли, например, возникнуть в результате движения ледников, а другие — потоков лавы. Тем не менее многие из них, а возможно и большинство, сформировались, по-видимому, под воздействием воды. Среди них встречаются извилистые речные русла, образующие вместе со своими притоками типичную систему водостока. Источником воды в этих случаях мог быть лежащий под поверхностью лед (вечная мерзлота), который таял в результате нагревания, вызванного внутренней активностью, а образовавшаяся при этом вода просачивалась на поверхность. Однако рассматриваются и другие источники воды — вплоть до дождей. Некоторые русла начинаются внезапно, имея вид очень крупных образований, как бы созданных внезапно

катастрофическим наводнением. Однако в отличие от обычных (земных) систем водо стока они часто уменьшаются в своих размерах вниз по течению. Маловероятно, что они возникли под воздействием текущей воды, хотя такая возможность не исключается полностью.

Эти русла образовались довольно давно. Судя по числу перекрывающих их ударных метеоритных кратеров, -это древние образования, в основном возраста порядка миллиарда лет. Нет никаких явных доказательств, что на поверхности Марса когда-либо существовали озера или океаны. Реки, вероятно, не впадали в моря, а, насколько можно судить по оставшимся от них следам, просто иссыкали-уходили в грунт или испарялись.

Возможность того, что когда-то по поверхности Марса текла жидкая вода, открывала более обнадеживающие перспективы биологических исследований. Если в далеком прошлом природные условия на планете были таковы, что на ее поверхности могла существовать вода, то, возможно, возникла и жизнь. А если так, то, постепенно приспосабливаясь к ухудшающимся условиям, жизнь на планете могла сохраниться и продолжает существовать до сих пор. Вероятность этого, по-видимому, невелика, но в подобных вопросах априорные суждения мало что значат, пока они не проверены экспериментально. Главная цель экспедиции аппаратов "Викинг" заключалась именно в такой экспериментальной проверке. Об этом мы расскажем в следующей главе, наиболее важной с точки зрения поисков жизни на Марсе.

Глава 6

Полет "Викингов": вода, жизнь и марсианская пустыня

Из всех вещей самая прекрасная вода. Пиндор. "Первая олимпийская ода" (476 г. до

Предположения и мифы, веками окружавшие Марс и его "обитателей", достигли кульминации летом 1976 г., когда две американские межпланетные станции "Викинг" приблизились к планете. Главная цель полета этих наиболее совершенных в техническом отношении автоматических космических аппаратов состояла в том, чтобы выяснить, существует ли в действительности жизнь на Марсе. Каждая из станций состояла из двух частей: орбитального и спускаемого аппаратов, в целом составлявших четыре самостоятельных блока. После их разъединения орбитальные аппараты продолжали обращаться по своей орбите вокруг планеты, производя фотографирование ее поверхности и глобальные исследования распределения паров воды и температуры поверхности. Они служили также ретрансляторами для передачи информации со спускаемых аппаратов на Землю. Спускаемые аппараты, достигнув поверхности планеты, провели серию исследований, касающихся биологии и морфологии Марса. В этой главе мы остановимся на важных открытиях биологического характера, которые были сделаны с помощью орбитальных аппаратов "Викинг", и познакомимся с результатами, полученными спускаемыми аппаратами.

Вода, лед и пары воды

В одном решающем отношении Земля не имеет себе аналогов в Солнечной системе - это единственное из вращающихся вокруг Солнца тел, на поверхности которого существует жидкая вода. В самом деле, на Земле имеются не "следы" воды, как на некоторых планетах, а ее необъятные количества. Более 70% земной поверхности покрыто океанами, которые содержат столько воды, что если распределить ее равномерно по всему земному шару, то образуется слой толщиной около 2700 м. Инопланетному наблюдателю трудно было бы поверить, что на таком богатом водой космическом теле, как Земля, существуют обширные области, где вода (точнее, ее нехватка) является фактором, ограничивающим возможность жизни. Тем не менее это так. Пустыни, которые занимают одну пятую площади суши, красно

речиво свидетельствуют о важности постоянного присутствия жидкой воды для существования жизни на нашей планете.

До 1963 г. вопрос о наличии воды на Марсе по-прежнему оставался открытым, как, впрочем, и большинство других проблем, связанных с этой планетой. К 1970 г., т.е. за пять лет до запуска "Викингов", наблюдения, проведенные с Земли и с помощью космических аппаратов, со всей очевидностью показали, что недостаток воды — основное препятствие для возникновения любой предполагаемой марсианской биосферы. Полное представление об этом сложилось после полета "Маринера-9" и особенно орбитальных аппаратов "Викинг", которые осуществили съемку распределения паров воды на Марсе в зависимости как от местоположения, так и от времени года. Данные, полученные с помощью инфракрасных спектрометров, установленных на орбитальных аппаратах, показали абсолютную сухость марсианской пустыни. Но чтобы в полной мере оценить этот факт, коротко напомним сначала основные физико-химические свойства воды.

Как и многие другие соединения, вода существует в трех состояниях (или фазах): твердом, жидком и газообразном, легко переходя из одного состояния в другое. Если оставить в комнате открытый сосуд с жидкой водой, то ее молекулы начнут отрываться от поверхности жидкости и улетучиваться, включаясь в состав воздуха комнаты в виде паров. Некоторые из этих молекул могут вновь попасть в сосуд, присоединившись к жидкости, однако в основном их перемещение происходит в одном направлении — в результате жидкость испаряется. Чтобы избежать испарения, сосуд можно закрыть, в этом случае пространство над жидкостью в сосуде вскоре насыщается парами, и тогда скорость конденсации пара станет равной скорости испарения с поверхности жидкости. С этого момента система в целом больше не меняется: в таком случае говорят, что она находится в равновесии. Давление водяного пара при равновесии (статическое давление) можно измерить, причем оно зависит от температуры: чем выше температура, тем выше давление. Например, при

25 °C давление паров в состоянии равновесия равняется 31,7 мбар, или примерно 0,03 атм. Это означает, что система стабильна при 25 °C до тех пор, пока давление паров воды в окружающей среде равняется 31,7 мбар. При более низком давлении пара вода испаряется, а при более высоком пар конденсируется, пока вновь не установится равновесие. При 100 °C статическое давление пара на уровне моря составляет 1013 мбар $\hat{=}$ 1 атм. При этом в жидкой фазе начинают образовываться пузырьки, в таком случае говорят, что вода кипит.

Теперь понизим температуру ниже точки замерзания, чтобы жидкая вода превратилась в лед. Так как лед испаряется в сухом воздухе, пары над ним также создают определенное давление. Скажем, при температуре -20 °C давление паров льда равно 1,0 мбар, при -10 °C оно составляет 2,6 мбар. В воздухе с более низким давлением водяного пара лед испаряется, или возгоняется. Если давление водяного пара выше, то пар конденсируется прямо в лед — именно такой процесс происходит при образовании инея в холодную ясную ночь. В обоих случаях осуществляется непосредственный переход пара в твердое состояние или, наоборот, без образования жидкой воды.

В рассмотренных примерах речь идет не более чем о двух фазах: пар и вода либо пар и лед. Увеличивая давление, можно вызвать таяние льда, приведя тем самым воду и лед в состояние равновесия при температурах ниже 0 °C без образования фазы. Чтобы привести все три фазы в равновесие, необходимо установить температуру около 0 °C, когда равновесное давление паров воды и льда равно 6,1 мбар. Это состояние равновесия трех фаз называется тройной точкой. Для наших целей важно знать величину давления в тройной точке, поскольку это самое низкое давление, при котором может существовать чистая жидкая вода*.

Все сказанное выше относится лишь к чистой воде, которая редко встречается в природе. Даже дождевая вода содержит растворенные атмосферные газы, а вода озер, рек и

океанов - еще и растворенные соли. Наличие в воде растворенных веществ (или какого-то другого растворителя) приводит к уменьшению равновесного давления ее паров, а это в свою очередь влечет за собой понижение температуры точки

* Следует помнить, что величина 6,1 мбар относится к давлению паров воды, а не к общему атмосферному давлению, как иногда указывают.

замерзания и повышение температуры точки кипения. На сколько сильно проявляются эти эффекты, зависит от концентрации растворенных веществ. Концентрированные растворы могут существенно отличаться в этом отношении от чистой воды, а слабые растворы лишь незначительно. Согласно закону Рауля, давление паров слабых растворов пропорционально доле молекул воды в растворе.

Приведем несколько примеров. Давление паров над раствором сахарозы, в котором на одну молекулу сахара приходится 99 молекул воды (16%-й раствор по массе), почти точно составляет 99% давления паров над чистой водой при той же температуре. Температура точки замерзания такого раствора равна - 1,10°C. Морская вода представляет собой сложную смесь солей, равновесное давление паров составляет 99% их давления над чистой водой при той же температуре, а замерзает морская вода при температуре -1,87°C. Из закона Рауля следует, что 98% молекул в морской воде приходится на долю чистой воды. (Если речь идет об электролитах, как в данном случае, то ионы рассматриваются как молекулы.) Большое Соленое озеро, как и многие другие соленые озера, насыщено или почти насыщено хлоридом натрия (NaCl бытовая поваренная соль). Давление паров насыщенного раствора NaCl составляет 75% от давления паров чистой воды, а его температура замерзания близка к -21°C. Доля молекул воды в этом растворе составляет 82% (при такой высокой концентрации солей закон Рауля выполняется лишь приближенно). Другая соль - хлорид кальция (CaCl²), редко встречается в природе, но в одном из водоемов Антарктиды (о нем говорится далее в этой главе) она содержится в насыщающей концентрации. Температура точки замерзания насыщенного раствора хлорида кальция равна -51°C, а равновесное давление его паров при комнатной температуре составляет только 31 % от равновесного давления паров чистой воды.

Как видно из этих примеров, добавление к воде растворенных веществ стабилизирует жидкую фазу при более низких (по сравнению с чистой водой) значениях давления пара и температуры. До экспедиции "Викингов" предполагалось, что благодаря этому эффекту на поверхности Марса может существовать жидкая вода. Далее мы проанализируем это предположение наряду с некоторыми данными о биологической пригодности воды, содержащей высокие концентрации растворенных веществ.

Вода на Марсе

Открытие "Викингов"

Проблема воды на Марсе - ее количества, фазового состояния и распределения - была предметом интенсивного изучения как до полета "Викингов", так и в период их работы на Марсе. Даже Персивалю Ловеллу было известно, что эта планета представляет собой пустыню. Однако, насколько высока ее сухость, оставалось неясным вплоть до 1963 г., когда на основании спектрометрических исследований было установлено наличие паров воды в атмосфере Марса и оценено ее количество: примерно 14 мкм в пересчете на осадочную воду, что эквивалентно величине давления пара у поверхности планеты 0,5 мкбар (см. гл. 5). Более поздние наблюдения, проводившиеся как с Земли, так и с космических аппаратов до полетов "Викингов", подтвердили наличие в атмосфере паров воды в концентрации, соответствующей 50 мкм осадочной воды, что равносильно давлению примерно 2 мкбар. (Давление паров воды в земной атмосфере на экваторе в среднем составляет 28 мбар, или 28000 мкбар.) Как мы видели, чтобы предотвратить испарение чистой воды, необходимо давление пара не менее 6,1 мбар: поэтому с самого начала не

вызывало сомнений, что жидкая вода, если она вообще существует на Марсе, даже при высокой концентрации растворенных веществ должна встречаться на поверхности крайне редко.

Исследования по программе "Викинг" значительно расширили наши знания о количестве и распространенности воды в атмосфере Марса. Соответствующие данные были получены для всего марсианского года, причем с несравненно более высоким пространственным разрешением, чем удавалось достигнуть прежде на основе наземных наблюдений; были, кроме того, исследованы области Марса, вообще недоступные для наблюдений с Земли. По измерениям, проведенным "Викингами", количество паров воды колебалось в зависимости от времени года и района в пределах 0-120 мкм осадочной воды (что эквивалентно давлению у поверхности около 4,5 мкбар). Самое высокое содержание было обнаружено в атмосфере над границей северной ледяной шапки, в области 70-80 с.ш., в середине лета, когда эта полярная шапка уменьшалась до своего минимального размера. "Остатки" ее состояли из водяного льда; об этом свидетельствовали содержание паров воды в атмосфере над

полярной шапкой, а также ее температура. Летом 1976 г., во время посадки "Викингов", она составляла -168°C : это слишком высокая температура для полярной шапки, состоящей из замерзшей углекислоты.

По мере перемещения к югу от областей с максимальным содержанием паров воды датчики на космических аппаратах "Викинг" регистрировали все более низкую концентрацию паров в атмосфере. Как видно из рис. II, содержание воды резко падало, достигая минимума в Южном полушарии. Полученные данные почти не оставляют сомнений в том, что в период лета в Северном полушарии основным источником воды на Марсе является северная полярная область.

С приближением осени и зимы содержание паров воды в атмосфере Северного полушария уменьшалось, тогда как на юге увеличивалось лишь незначительно. Во время летнего сезона 1977 г. в Южном полушарии содержание воды в южной атмосфере не достигало тех максимальных значений,

которые были обнаружены в период северного лета в районе северной полярной шапки. Все лето температура южной полярной шапки оставалась близкой к точке замерзания диоксида углерода; следовательно, эта ледяная шапка не могла служить источником паров воды в атмосфере, даже если бы она и содержала воду. Это вполне вероятно, хотя достоверно не установлено. Предполагается, что значительное различие между двумя полярными шапками, обнаруженное при анализе измерений, проведенных "Викингами", отчасти объясняется пыльными бурями, которые возникают только в Южном полушарии в период южного лета. Плотное облако пылевой взвеси, образовавшейся в атмосфере, препятствует нагреванию южной полярной шапки солнечным излучением.

В экваториальных широтах, где температура поверхности часто поднимается выше 0°C (по этой причине в эпоху, предшествовавшую полету "Викингов", эти области казались особенно благоприятными для жизни), содержание паров воды в атмосфере на протяжении всего года не превышало 5-15 мкм осадочной воды. При таких условиях поверхность планеты должна быть чрезвычайно сухой. Действительно, К. Б. Фармер и П. Э. Доме на основании данных, полученных "Викингами", пришли к выводу, что вся область между 35 ю. ш. и 46 с. ш. представляет собой сухую зону, лишенную воды, которая, возможно, сконцентрирована в полярных областях, играющих роль своего рода водяных ловушек. Вероятно, большие количества воды сохранились вокруг полярных областей под поверхностью в виде постоянных отложений замерзшего льда, или вечной мерзлоты. Вечная мерзлота выходит на поверхность у Северного полюса, образуя остаточную ледяную шапку-нечто вроде вершины айсберга. Не исключено, что подобные отложения водяного льда

имеются на поверхности и у Южного полюса, но это пока не доказано.

На Земле, как мы знаем, наблюдается совершенно иная картина: здесь наибольшее количество паров воды сосредоточено в области экватора, а наименьшее — у полюсов. В среднем давление паров воды на нашей планете на широте 0 равно 28 мбар: на широте 70° оно составляет в среднем (для обоих полушарий) 1,3 мбар. Это различие обусловлено тем, что жидкая вода присутствует на Земле на всех широтах, а количество водяных паров в атмосфере зависит главным образом от температуры, которая высока на экваторе и низка у полюсов. На Марсе вода (в виде льда) сконцентрирована почти полностью в полярных областях, где вследствие низкой температуры содержание паров воды в атмосфере очень невелико. Поэтому, даже когда атмосфера Марса насыщена парами воды, их давление незначительно.

Эти предварительные заключения были подтверждены в ходе исследований, проведенных космическими аппаратами "Викинг". Оказалось, что повсюду на Марсе давление паров воды намного ниже того предела, который необходим для существования на планете жидкой воды. По существу, полученные "Викингами" результаты свидетельствуют, что Марс даже суше, чем ожидалось. До полета "Викингов" считалось, что пары в атмосфере локализованы вблизи поверхности и поэтому оседают ночью в виде инея.

Предполагалось, что после восхода Солнца иней может таять, вызывая кратковременное увлажнение почвы, которое, как думали, и обеспечивает возможность существования популяций микроорганизмов. Однако теоретический анализ этой модели, проведенный в 1970 г. Эндрю Ингерсоллом, показал, что из-за низкой температуры, низкого атмосферного давления и состава атмосферы Марса иней на поверхности испарится прежде, чем сможет растаять. Затем К. Б. Фармер доказал, что иней все-таки может таять, если, образовавшись, он покроется тонким слоем принесенной ветром достаточно мелкой пыли, которая замедлит процесс испарения.

Сейчас этот спор представляет чисто академический интерес. Полученные "Викингами" результаты показали, что, во-первых, повсюду в атмосфере Марса пары воды присутствуют в очень низкой концентрации, и, во-вторых, они нелокализованы вблизи поверхности, а независимо от времени года и места в основном сконцентрированы в атмосфере, на высоте 10 км и выше. В этих условиях невозможно осаждение инея в заметном количестве. Хотя фотокамеры обоих спускаемых аппаратов "Викинг" и обнаружили над поверхностью ночные туманы, состоящие из крошечных кристалликов льда, эти частицы слишком малы, чтобы выпасть на почву.

Несмотря на то что эти наблюдения, по-видимому, исключают возможность суточных колебаний количества атмосферных паров воды, сезонное перемещение воды из атмосферы в грунт и обратно, несомненно, происходит, по крайней мере в северной полярной области. Фотокамеры спускаемого аппарата "Викинг-2", совершившего посадку севернее первого, обнаружили на окружающей почве тонкий слой инея, который сохранился в течение нескольких месяцев

зимнего сезона. Это явление удалось наблюдать на протяжении двух зимних сезонов. Иней не мог непосредственно конденсироваться из атмосферы, поскольку в то время в ней было слишком мало водяных паров. Было высказано предположение, что иней образовался в Южном полушарии, а затем был перенесен частицами пыли в северную полярную область, где на нем конденсировался углекислый газ; в результате кристаллы льда стали настолько тяжелыми, что выпали на грунт. А после испарения CO_2 остался чистый (водяной) лед. Значительная часть воды перемещается из Южного полушария в Северное благодаря этому или какому-то иному механизму, но большая часть конденсата, ежегодно накапливающегося в арктической области, состоит из той воды, которая совершает сезонные перемещения между почвой и атмосферой.

Водоемы с соленой водой на Марсе?

Посмотрим теперь, может ли существовать на Марсе жидкая вода в виде высококонцентрированных солевых растворов. Наиболее подходящей с этой точки зрения солью является хлорид кальция, если, конечно, он имеется на Марсе. В точке замерзания (-51 °C) давление паров насыщенного раствора хлорида кальция равно 34 мбар. Однако, как мы знаем, максимальное давление паров воды в атмосфере Марса составляет только 4,5 мкбар. так что и насыщенный раствор хлорида кальция неизбежно будет испаряться. Для поддержания такого раствора, вероятно, должны время от времени пополняться запасы воды. Предположительно, это может происходить за счет сезонных отложений инея в полярных областях. Но измерения температуры в месте посадки второго спускаемого аппарата показали, что такой раствор будет находиться в твердом (замерзшем) состоянии всю зиму и может растаять только в дневное время летом.

Хлорид кальция, по всей вероятности, редко встречается на Марсе. Это обусловлено теми же причинами, что и его малая распространенность на нашей планете. На Земле кальций существует главным образом в виде известняка (карбоната кальция) и гипса (сульфата кальция). Обе эти соли гораздо хуже растворимы, чем хлорид кальция, и из раствора осаждаются быстрее его. На Марсе, как показал проведенный в рамках научной программы "Викинг" анализ неорганических составляющих почвы, диоксид углерода в избытке присутствует в атмосфере, а сульфат кальция - в почве. По-видимому, как карбонат, так и сульфат кальция образовывались повсюду, где в прошлом на поверхности Марса существовала жидкая вода. Никакая другая соль, которая могла бы присутствовать на Марсе, не может обеспечить существование на планете жидкой воды.

Жизнь при марсианских температурах

Очевидно, что низкая температура на Марсе - главный фактор, определяющий состояние воды на этой планете. Средняя температура марсианской поверхности - 55 °C, а на Земле она равна 15 °C (см. табл. 4). Даже на экваторе Марса ночная температура опускается намного ниже нуля, хотя днем она может подниматься до 25 °C. Несмотря на то что по земным стандартам температура на Марсе неблагоприятна,

сама по себе она не исключает возможности жизни на планете. Известно, что некоторые земные микроорганизмы могут развиваться при температуре ниже - 10 °C, сообщалось даже о росте дрожжей при температуре - 34 °C. Некоторые виды клеток способны выживать (хотя и не растут) при очень низких температурах - вплоть до - 196 °C. Вполне можно предположить, что если бы на Марсе существовал подходящий растворитель, температурные условия не ограничивали бы возможность активной жизни, по крайней мере в некоторых областях планеты.

Выводы

Итак, маловероятно, что жидкая вода в каком-либо виде хотя бы время от времени возникает на Марсе. Марсианская жизнь, если таковая существует, должна мобилизовывать все свои возможности, чтобы извлечь воду из атмосферных паров или льда и использовать ее в качестве растворителя. В этом процессе потребляется значительное количество энергии. На Земле некоторые организмы, обитающие в пустынях, для получения воды действительно используют ее пары. Далее в этой главе мы расскажем, какими способами обитатели пустынь получают жидкую воду.

Вода в биологических системах

Водная активность

Все клетки (за исключением тех, которые находятся в состоянии покоя) живут в том или ином водном растворе. Клетки высших животных омываются сывороткой крови, клетки растений - в тканевом соке, а такие живущие вне организмов клетки, как бактерии, существуют в разного рода водных средах. Растения и животные сами создают свою

внутреннюю среду, а клетки микроорганизмов вступают в обмен непосредственно с внешней средой.

Говоря о потребности клеток в воде, удобно пользоваться понятием водной активности среды, в которой они обитают. Водная активность a_w - мера эффективной концентрации воды в растворе, т. е. концентрации воды, доступной для химических реакций. В любом водном растворе часть воды связана с молекулами или ионами растворенного вещества в комплексы, называемые гидратами. Именно образование

гидратов переводит растворенное вещество в раствор. Поскольку молекулы воды, участвующие в образовании гидратов, не доступны для других реакций, водная активность раствора ниже, чем водная активность чистой воды. Давление паров раствора, которое связано с водной активностью, также ниже, чем у чистой воды. Действительно, водная активность определяется как отношение давления паров раствора, p , к давлению паров чистой жидкой воды, p_0 , при той же температуре:

$$a_w = \frac{p}{p_0}$$

Водная активность численно равна относительной влажности воздуха, находящегося в равновесии с раствором. Таким образом, если насыщенный раствор хлорида кальция ($a_w = 0,75$ при 25 °C) поместить в сосуд малого объема, то заключенный в этом сосуде воздух будет иметь относительную влажность 75%. Как следует из закона Рауля, водная активность слабых растворов равна доле свободных молекул воды в этом растворе.

Высшие растения и животные

В табл. 5 указаны значения водной активности некоторых растворов, представляющих биологический интерес. Все многоклеточные организмы для нормального роста и метаболизма нуждаются в высокой водной активности. Сыворотка крови человека - среда, в которой мы живем, - характерна для всех млекопитающих. По своей водной активности она лишь незначительно отличается от активности дистиллированной воды. Фактически ее активность соответствует 0,9%-му соленоватому раствору NaCl, который обычно называют физиологическим раствором. Клеточный сок большинства растений по своей водной активности сходен с кровью животных.

Растения пустынь. Можно было бы предположить, что клетки растений и животных, приспособившихся к жизни в безводных условиях, предъявляют не столь жесткие требования к наличию воды, как клетки других организмов. Однако это не так. Различные виды живых организмов, обитающие в пустыне, обладают сложными механизмами, которые позволяют им приспособиться к окружающим условиям, подерживая в своих внутренних жидкостях водную активность, мало отличающуюся от той, которая присуща видам, живущим во влажной среде. Растения достигают этого главным

Таблица 5. Водная активность некоторых растворов, представляющих биологический интерес

Раствор	Температура, °C	Источники
Вода Любая	1.000	Сыворотка крови человека
Клеточный сок (горох)	0,994	[28]
Dipodomys (сыворотка крови)	0,993	[28]
Tenebrio (жидкости тела)	0,987	[8]
Морская вода	0,98	[31]
Насыщенный раствор сахара	0,85	[25]
NaCl	0,75	[25]
CaCl ₂	0,31	[33]
CaCl ₂	0,42	[33]

образом тем, что просто запасают воду впрок. В большинстве пустынь время от времени выпадают дожди, и некоторые растения, например кактусы и другие суккуленты, накапливают и хранят воду в стеблях и листьях, используя ее в засушливые периоды. Кроме того, эти растения могут уменьшать скорость испарения воды из листьев и стеблей, закрывая устьица (поры), через которые в нормальном состоянии происходит газообмен. Поскольку процесс фотосинтеза, протекающий в организме, зависит от интенсивности газообмена с атмосферой, закрытие устьиц приводит к замедлению роста. По данным П.С. Нобеля, лишь у не многих видов растений пустыни водная активность клеточных жидкостей падает до столь низкой величины, как $a_w = 0,96$ при 25 °C.

Другие растения пустынь не запасают воду, но проходят свой полный жизненный цикл за короткий период времени, когда имеется вода, оставляя на последующий засушливый период только покоящиеся семена или луковицы. Покоящиеся клетки, по всей видимости, находятся в состоянии водного равновесия (или близком к нему) с внешней средой. Состояние покоя может быть также реакцией некоторых многолетних растений на чрезвычайную засуху.

Выживание таких растений критическим образом зависит от обильного, хотя и редкого орошения земли дождями. Другим потенциальным источником воды являются водяные пары, которые присутствуют в атмосфере даже в самых

засушливых земных пустынях в огромных - по марсианским стандартам - количествах. При высокой дневной температуре относительная влажность воздуха в пустынях очень низкая, однако ночью, когда температура резко понижается, воздух многих пустынь на Земле насыщается парами воды, которые затем конденсируются в виде росы или тумана. Эти источники воды не играют важную роль в жизни растений (за исключением, пожалуй, лишь произрастающего в Чили кустарника *Nolana mollis*), и среди высших растений не достоверно установленных примеров использования паров воды в процессе фотосинтеза и роста. Листья некоторых растений, например бромелиевых*, поглощают водяные пары из атмосферы, что способствует их выживанию. Но растению трудно сделать это в таких количествах, чтобы обеспечить свой рост, поскольку даже в насыщенном парами воздухе количество воды незначительно. Например, 1 г жидкой воды занимает объем в 1 см³, тогда как то же количество воды в виде пара в воздухе, насыщенном водяными парами при 25 °C, занимает объем 43 500 см³. Излишне говорить, что процесс поглощения растениями водяных паров протекает чрезвычайно медленно.

Было обнаружено, что кустарник *Nolana mollis*, который растет в пустыне Атакама на севере Чили, конденсирует из атмосферы пары воды, выделяя соли (главным образом NaCl) через специальные солевые железы своих листьев. Пары воды конденсируются на листьях, когда их давление в атмосфере превышает давление паров выделяемого раствора соли. Хотя относительная влажность воздуха в этом районе Чили даже ночью редко превышает 80%, конденсат образуется в достаточном количестве - даже капает с листьев, увлажняя землю. Возможно, хотя и не доказано, что при высокой влажности, когда конденсируется довольно много воды, на листьях образуется раствор соли концентрацией ниже некоторого определенного критического значения, который, попадая в почву, может впитываться корнями растений. Затем соли выводятся, а вода используется растением. Как мы увидим далее, подобный механизм существует и у насекомых.

Было установлено, что некоторые лишайники, произрастающие в пустыне, также используют для фотосинтеза пары воды. Как и прочие микроорганизмы, лишайники не

* Семейство растений тропических районов Америки. Прим. персе.

создают постоянной внутренней среды для своих клеток, которые должны выживать в изменяющихся условиях. Если говорить о лишайниках пустынь, то это означает, что они могут длительное время существовать в обезвоженном покое и быстро активизироваться при контакте с водой. Жизнедеятельность пустынных лишайников зависит обычно от туманов или рос, которые обеспечивают их жидкой водой, но у некоторых видов лишайников чистый фотосинтез (превышение образования продуктов фотосинтеза над распадом углеводов в процессе метаболизма) возможно и при использовании только паров воды. Ланге и его коллеги показали, что *Rumalina maciformis* (лишайник, произрастающий в пустыне Негев) способен к фотосинтезу, когда относительная влажность воздуха превышает 80%. Было установлено также, что и антарктические виды лишайников используют для фотосинтеза пары воды. Очевидно, что, когда единственным источником влаги служат пары, рост происходит очень медленно.

Животные пустынь. Животные, обитающие в засушливых зонах, не запасают воду, а иногда даже и не пьют ее. Скорее всего, они сами производят ее и сохраняют. Вопреки глубоко укоренившемуся представлению верблюдов в действительности воду не запасает. Однако он способен выживать при значительном обезвоживании, выдерживая и преодолевая существенный недостаток воды. К числу наиболее интересных животных, не пьющих воду, относится кенгуровая крыса *Dipodomys merriami*, мелкий грызун, обитающий в пустынях Аризоны и Калифорнии (он подробно описывается в прекрасной работе Кнута Шмидта-Нильсена [28]). В нормальном состоянии кенгуровая крыса воду не пьет, даже если она имеется. По существу, всю необходимую воду это животное получает, окисляя органическое вещество (главным образом, углеводы), содержащееся в семенах и сухих растениях, которыми оно питается. Все аэробные организмы непременно производят воду в процессе метаболизма, но выживать только за счет такой воды способны лишь очень немногие животные.

Кенгуровая крыса-ночное животное: в течение жаркого дня она остается в подземной норе, где при относительно низкой температуре поддерживается высокая влажность. Кроме того, потеря воды из-за испарения ее телом сведена у этого животного до минимума благодаря отсутствию потовых желез, выделению очень концентрированной мочи, сухих фекалиев и малой потере воды при дыхании. В лаборатор

ных опытах Шмидт-Нильсен показал, что кенгуровая крыса может неограниченно долго жить без воды, питаясь сухим ячменем, при относительно низкой влажности-около 24%. При 10%-ной относительной влажности животные начинают терять вес, как бы сигнализируя этим, что при такой или более низкой влажности они не в состоянии поддерживать водный баланс. Когда при нормальной влажности их вместо ячменя кормили соевыми бобами, они выделяли так много мочи (вследствие высокого содержания белка в бобах), что вынуждены были пить воду для поддержания ее баланса. Кенгуровые крысы наделены такими мощными почками, что способны пить даже морскую воду!

Как видно из табл. 5, механизмы приспособления, вырабатанные кенгуровой крысой для жизни в пустыне, не связаны с каким-либо уменьшением основных водных потребностей клеток ее организма: водная активность крови *Dipodomys* фактически такая же, как и нашей собственной. Следует понять, что животные, которые не пьют воды, тем не менее ее используют. Питаясь растениями, они потребляют воду, входящую в состав продуктов фотосинтеза. Таким образом, углевод, который *Dipodomys* превращает в воду, как бы представляет собой источник воды [см. реакцию (4) на с. 76].

Многие насекомые, обитающие в условиях ограниченного доступа влаги, например мучной хрущак *Tenebrio molitor*, в изобилии паразитирующий в муке и зерне, живет за счет воды, полученной в процессе метаболизма. Кроме того, *Tenebrio* и некоторые другие насекомые используют также пары воды, которые они способны улавливать из ненасыщенной атмосферы. Для этой цели *Tenebrio* выработал особый механизм-он заключается в образовании концентрированного солевого раствора в маленьких трубочках, связанных с кишечником, в котором абсорбируются пары воды, проходящие через стенку кишечника. Таким образом *Tenebrio* может получать воду из атмосферы, относительная влажность которой не превышает 88%. Поскольку давление пара в жидкостях тела этого насекомого (см. табл. 5) значительно выше указанного, для приобретения этой воды *Tenebrio* должен затрачивать определенную энергию. Сообщалось, что и другие насекомые способны извлекать пары воды из атмосферы всего лишь с 45%-ной относительной влажностью. В этих случаях для конденсации паров воды используются, по-видимому, не минеральные соли, а хорошо растворимые органические соединения.

Микроорганизмы

Жизнь в рассолах и сиропах. Как и другие клетки, микроорганизмы живут только в

водных растворах, исключая период состояния покоя. Многие из них способны функционировать при гораздо более низкой водной активности, чем клетки высших растений и животных. Однако большинство видов микроорганизмов может развиваться при величине водной активности не ниже 0,90. Еще до того, как возникла наука, люди использовали это обстоятельство: хранили мясо и рыбу в сушеном или соленом виде. Фрукты хорошо сохраняются в насыщенном растворе сахарозы, каковым является, например, джем. Иногда и такие продукты портятся, что свидетельствует о способности некоторых организмов развиваться при водной активности 0,85 и даже 0,75 (см. табл. 5). Самая низкая водная активность, при которой зарегистрирован рост микроорганизмов, составляет 0,61. При такой водной активности в растворе сахара медленно растут плесневый грибок *Xerotyces chrysopus* и дрожжи *Saccharomyces rouxii*, хотя и тот и другой организмы предпочитают большую концентрацию воды. Например, для роста *Xerotyces* оптимальна $a^w = 0,92$. Способность развиваться при $a^w = 0,75$ и ниже обнаружена не только у дрожжей и плесени, но также и у некоторых бактерий и водорослей.

Может быть, эти микроорганизмы способны переносить низкую водную активность окружающей среды благодаря тому, что могут поддерживать высокую водную активность внутри клеток, т. е. там, где протекают основные химические процессы? Нет, это не так. Клеточные мембраны хорошо проницаемы для воды, так что предложенное объяснение неверно. Дело в том, что эти организмы научились жить при такой водной активности среды. (В обзоре А. Д. Брауна [3] описаны различные физиологические механизмы, которые делают возможной такую адаптацию.)

Жизнь в антарктической пустыне. Биологические исследования, проведенные в одной из самых суровых пустынь на Земле (и единственной, которая по своим условиям в какой-то степени приближается к марсианским), стали возможны после проведения Международного геофизического года (1957-1958), когда было привлечено внимание к отдаленному антарктическому континенту. Одним из результатов МГГ стал международный договор, ратифицированный в 1959 г. шестью государствами, который провозгласил

Антарктиду немилитаризованной зоной, сохраняемой для научных исследований на протяжении 30 лет.

Известно, что этот континент покрыт огромной ледяной шапкой, но после проведения МГГ многие люди с удивлением узнали, что там есть области, свободные ото льда. Самая большая из них - холодная пустыня площадью в несколько тысяч квадратных километров, обычно называемая "сухие долины", - расположена недалеко от американской полярной станции Мак-Мердо в южной части Земли Виктории. Основной экологической особенностью этих долин является сочетание низкой температуры и дефицита жидкой воды. Средняя годовая температура воздуха составляет около -20°C , а средняя температура в летнее время близка к 0°C . Осадки редки - приблизительно 10 см в год (всегда только в виде снега). Незначительность осадков обусловлена ограниченной способностью холодной атмосферы удерживать пары воды. Эта область, отсеченная от основного движения ледников и от внутренних районов континента Трансантарктическими горами, свободна ото льда и насквозь продувается сильными и холодными, но очень сухими ветрами, постоянно дующими с высокого антарктического купола в сторону океана. Ветры способствуют испарению снега, сопровождаемому слабым таянием.

Есть основания полагать, что эти долины иссушались на протяжении тысяч лет. Хотя соленые озера и водоемы, питаемые в течение короткого антарктического лета талой водой ледников, не имеют стока, так как расположены на замёрзшем грунте, объем воды в них меньше, чем они могут вместить. Эта разница обусловлена потерями при испарении. У некоторых озер есть террасы с сухими останками водорослей, отмечающие более высокий уровень воды в прошлом. Определение абсолютного возраста этих водорослей методом

радиоуглеродного хронометрирования показало, что 3000 лет назад уровень, например, озера Ванда был на 56 м выше, чем сейчас. По оценкам возраст всей системы сухих долин лежит в пределах от 10 до 100 тыс. лет.

Жизнь в этих долинах почти целиком представлена мик роорганизмами. По береговым линиям встречаются обиль ные популяции морских водорослей и цианобактерий (рань ше их называли сине-зелеными водорослями). Эти организ мы, осуществляющие фотосинтез, поддерживают жизнь больших популяций бактерий, дрожжей и плесневых гриб ков. Попадают ся также микроскопические животные: про стейшие, коловратки и тихоходки. Количество организмов

заметно уменьшается по мере удаления от ручьев и водое мов. На сухих возвышенностях долин отсутствуют даже лишайники-самые стойкие среди наземных антарктических организмов. Уильям Бойд, один из первых исследователей этого района, сообщил, что в некоторых образцах почвы из наиболее засушливых районов вообще не удается обнару жить бактерий. Позднее такой же результат получила целая группа биологов. Рой Кэмерон, специалист по почвенной микробиологии из Лаборатории реактивного движения, в гчение восьми сезонов исследовал сотни проб грунта, взятых в этой пустыне. Приблизительно в 10% из них микроорганизмов обнаружить не удалось, а в большей части других их количество было очень незначительным. Роберт Бенуа и Кэлеб Холл получили сходные результаты. "На тех участках, где почва получает минимальное количество во ды. писали они.-поверхностный слой толщиной в дюйм (~2,5 см) чаще всего был полностью абиотическим (т.е. лишенным каких-либо форм жизни) или содержал менее 10 бактерий на грамм почвы". В пробах, взятых из более глубоких слоев, микроорганизмы обычно присутствовали. но на одном участке Бенуа и Холл не смогли обнаружить никаких бактерий в слое глубиной в метр.

Так как при увлажнении эти почвы способны поддержи вать жизнь, можно заключить, что именно вода является фактором, лимитирующим возможность ее существования в почвах сухих долин. Низкая же температура не относится к таким факторам: действительно, многие микроорганизмы в пой области, особенно живущие в более низких и увлажнен ных местах, могут расти и осуществлять фотосинтез при температурах около 0 С. В то же время, несмотря на обилие засоленных участков почвы и водоемов, у организмов, оби тающих в этих долинах, редко обнаруживается приспособ ленность к низкой водной активности. Этот и некоторые другие факты свидетельствуют о том. что небольшие по пуляции микробов, обнаруженные в сухих почвах, не местно го происхождения, а занесены ветрами из других, более благоприятных для жизни районов. Такие организмы на ходяг подходящие для себя условия только на некоторых ограниченных, защищенных участках сухих долин. Кэмерон. например, обнаружил водоросли, растущие на нижней сто роне полупрозрачной гальки, где они были защищены от высыхания, а Имре Фридман установил, что бактерии и лишайники могут жить внутри полупрозрачных пористых скальных пород, под поверхностями, обращенными к северу

и получающими достаточно солнечного света, чтобы рас таял снег, который затем выпитывается в породу.

Характерная для сухих долин скудность микробной жиз ни, обусловленная постоянной засухой, свойственна также и озерцу Дон Жуан-мелкому водоему площадью 4-8 га, который из всех водоемов нашей планеты, по-видимому, более всего похож на гипотетические (и, возможно, не существующие) марсианские лужи (фото 8). Когда это озер цо впервые обнаружили в 1961 г., оно было незамерзшим, хотя температура воды составляла -24 С. Различные на блюдатели впоследствии отмечали, что точка его замерзания лежит в интервале температур -(48-57) С. Этот водоем насыщен хлоридом кальция, который кристаллизуется в виде гексагидрата $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Кристаллы, обнаруженные в озер це Дон

Жуан, а до этого известные лишь по лабораторным экспериментам, получили минералогическое название-антарктицит. Их образование стало возможным в результате совместного воздействия характерных для этих мест очень низких температур и высокой сухости воздуха.

Время от времени два пресноводных ручья, питающих озеро, вероятно, приносят в него микроорганизмы, и поэтому не удивительно, что их там иногда обнаруживали. Первое сообщение о микроорганизмах, обитающих в этом водоеме с водной активностью около 0,40 (табл. 5), оказалось, однако, неожиданностью и впоследствии не подтвердилось. Озеро, по-видимому, практически стерильно: это согласуется с тем фактом, что среди микроорганизмов этих долин редко встречаются устойчивые к высоким концентрациям солей.

Результаты этих исследований Антарктиды вопреки распространенному мнению свидетельствуют о том, что адаптационные возможности жизни не безграничны. Правильнее считать, что условия, при которых жизнь может существовать, фактически довольно ограничены.

Заключение

Хотя способы адаптации организмов к жизни в пустынях при дефиците воды очень оригинальны и подчас удивительны, все они практически теряют смысл, если их оценивать с точки зрения исключительной сухости Марса. В качестве возможных моделей марсианских форм жизни среди всех известных на Земле видов, пожалуй, можно рассматривать только лишайники, способные использовать пары воды. Все другие виды прямо или косвенно нуждаются в жидкой воде.

К этим видам относятся и насекомые, о которых говорилось выше, так как водяные пары-это только добавка к их основному источнику воды, каковым являются углеводы растений. Нет сведений, что лишайники могут поглощать пары воды при относительной влажности ниже 80%, кроме того, те не способны заселять сухие долины Антарктиды - а ведь они по марсианским стандартам отличаются высокой влажностью. По-видимому, если на Марсе жизнь и существует, то в смысле использования воды она должна основываться на каких-то иных принципах, чем земная жизнь.

Антарктика и меры по стерилизации космических аппаратов при полетах на Марс

К первым сообщениям о стерильных почвах Антарктиды все отнеслись скептически. Говорить "стерильная почва" это значит продемонстрировать микробиологическую безграмотность: ведь каждый биолог знает, что микроорганизмы являются существенным компонентом того, что мы обычно называем "почва", т.е., попросту говоря, материала, на котором растут растения. Поскольку растения не растут в сухих долинах, можно спорить о том, следует ли называть поверхностное вещество их грунта почвой. Во всяком случае, непригодность сухих долин антарктической пустыни для жизни стала рассматриваться всерьез лишь после того, как накопилось достаточно доказательств.

Эти соображения, высказанные моими коллегами и мной, не получили единодушного одобрения. Такая точка зрения отличалась от традиционной, а кроме того, представлялось спорным ее отношение к исследованиям Марса. Эти соображения прежде всего ставили под сомнение возможность заражения Марса земными микроорганизмами. Это широко распространенное мнение, уходящее корнями в ловелловские представления о Марсе, лежало в основе большой программы по стерилизации космических аппаратов, которую НАСА проводило в жизнь в соответствии с договором, обязывающим все государства избегать "пагубного заражения" вне земных объектов при космических исследованиях. Следуя этому договору, НАСА подвергло полностью собранную космическую станцию, предназначенную для посадки на поверхность Марса, тепловой стерилизации. Эта процедура влекла за собой значительное увеличение расходов по про

грамме исследования Марса, а кроме того, могла нанести вред как космическому аппарату, так и установленным на нем приборам. Поэтому после 1963 г., когда начала выясняться подлинная природа марсианской среды, основные положения карантинной политики и детали самой процедуры стерилизации стали предметом активного обсуждения. В этом контексте результаты исследований в Антарктиде трактовались достаточно однозначно: если земные микро организмы не способны заселять сухие долины Антарктиды, которые для любых земных бактерий или дрожжей должны казаться раем по сравнению с Марсом, нет ни малейшего смысла беспокоиться о том, что они заселят Марс.

Но не все ученые согласились с таким выводом. Среди них был Вольф Вишняк, профессор микробиологии Рочестерского университета и член биологической группы проекта "Викинг". Он не принимал саму идею стерильности почвы, даже в Антарктиде. Как человек, игравший ведущую роль в организации марсианской карантинной политики, Вишняк считал разрешение этих споров настолько срочным делом, что лично отправился в сухие долины Антарктиды южным летом 1971-1972 гг. Он был убежден, что в антарктических почвах достаточно воды для существования микро организмов и проблема их поиска носит скорее методический характер. Поэтому, пользуясь соответствующими приемами, можно обнаружить активно растущие популяции микроорганизмов во всех почвах сухих долин. Применяв некоторые новые методы идентификации почвенных микро организмов, Вишняк получил результаты, которые убедили его в правильности избранного пути. Однако работу не удалось завершить за один летний сезон. В 1973 г. ученый вернулся в Антарктику для проведения обширных полевых работ, но трагически погиб там, упав в трещину на леднике.

Работа, начатая Вишняком, до сих пор не завершена. Если бы не преждевременная гибель, он, наверное, смог бы взять образцы почвы на многих участках и критически сравнить свои методы с теми, которые применяли его предшественники для анализа тех же почв. Теперь же вопрос о возможности жизни в сухих долинах остается для многих открытым. Однако что касается Марса, то здесь ответ ясен. Вопрос о жизни на Марсе был решен в ходе научных исследований по программе "Викинг". Два стерильных спускаемых аппарата "Викинг", опустившиеся на поверхность Марса, установили, что условия на планете гораздо более суровы, чем представлялось с орбиты. Выяснилось,

что Марс застрахован от бактериального загрязнения не только благодаря сухости и холоду, несравненно более жестоким, чем в Антарктиде, - это было ясно и до полета "Викингов", - но и вследствие особенностей самой химической среды планеты, которая обеспечивает ее самостерилизацию. Но об этом мы расскажем в следующей главе.

Глава 7

Полет "Викингов": где же марсиане?

Тот, кто не видел живого марсианина, вряд ли может представить себе его страшную, отвратительную наружность.

Г. Дж. Уэллс, "Война миров"*

В 60-70-х годах к Марсу была запущена серия советских межпланетных автоматических станций "Марс", которые, однако, не передали на Землю никаких данных, касающихся наличия жизни на планете**. Американские спускаемые аппараты "Викинг", хотя и не первыми достигли марсианской поверхности, работали там продолжительное время и смогли поведать немало интересного об этой планете. В настоящей главе описаны результаты этих исследований, которые представляют интерес с точки зрения биологии.

Посадка

Космические станции "Викинг" достигли Марса к середине июня и начале августа 1976 г. Затем они перешли на заранее рассчитанные орбиты вокруг планеты и начали поиск мест, пригодных для посадки. Выбор места посадки определялся двумя соображениями: безопасностью для спускаемого аппарата и научным интересом. По научным соображениям еще до полета было решено посадить спускаемые аппараты в районах, расположенных на разных широтах, чтобы получить сведения о различных климатических и географических зонах.

* Уэллс Г. Избранные произведения в 3-х томах.-М.: Молодая гвардия, 1956, т. 2, с. 168.

** В период 1962-1977 гг. к Марсу совершили полет семь автоматических станций "Марс", первыми проложившие путь к этой планете. В 1971 г. спускаемый аппарат "Марс-3" впервые осуществил мягкую посадку на поверхность планеты. В 1973 г. впервые по межпланетной трассе одновременно совершили полет четыре станции "Марс". Станция "Марс-5" стала третьим советским искусственным спутником "красной" планеты, а "Марс-6" достиг ее поверхности. В результате этих полетов были получены ценные сведения о физико-химических свойствах Марса, в том числе о температурных условиях и содержании паров воды в атмосфере.

Фотокamеры и инфракрасные датчики на борту орбитальных аппаратов вместе с наземным радиолокатором вели целенаправленный поиск мест посадки спускаемых аппаратов. Прежде всего искали участки, где температура и влажность превышали средние значения, так как они могли быть наиболее благоприятными для существования жизни. Однако обнаружить такие места не удалось. И поскольку с биологической точки зрения разные участки на одной и той же широте мало чем отличались друг от друга, окончательное решение о местах посадки было принято исходя из соображений безопасности спускаемого аппарата.

Когда все было подготовлено, по команде с Земли включились пиротехнические устройства, разомкнувшие соединения, которые удерживали вместе орбитальный и спускаемый аппараты. Пружинные толкатели разделили их, и спускаемый аппарат (снабженный лобовым экраном для аэродинамического торможения в атмосфере) начал опускаться на поверхность Марса с высоты 1500 км. Для торможения спуска на высоте 6 км (ее измеряли с помощью радиолокатора самого спускаемого аппарата) над поверхностью был раскрыт парашют и сброшен лобовой экран. На высоте 1,5 км был сброшен парашют, выдвинуты три опоры спускаемого аппарата и для окончательного погашения скорости при спуске включены тормозные двигатели. Спускаемый аппарат "Викинга-1" опустился на марсианскую поверхность 20 июля 1976 г. в точке с координатами 22,5 с. ш. и 48 з. д. на Равнине Хриса. Аппарат "Викинга-2" совершил посадку 3 сентября на противоположной стороне планеты на Равнине Утопия, в точке с координатами 47,5 с.ш. и 226 з. д., примерно на 1500 км севернее первого. В северном полушарии Марса в это время было раннее лето. Планировалось, что исследования продолжатся в течение 90 дней после посадки, но четыре космических аппарата функционировали около двух лет, а спускаемый аппарат "Викинга-1" проработал более шести лет.

Использование тормозных ракетных двигателей во время спуска аппаратов вызывало беспокойство, так как их выхлопы могли вызвать физические и химические изменения окружающей среды в местах посадки. Чтобы свести эти воздействия к минимуму, в конструкцию двигателей были внесены изменения, позволяющие уменьшить нагревание и разрушение грунта на поверхности, а в качестве топлива использован специально очищенный гидразин (N²H⁴), при горении которого не образуются органические продукты. Выхлоп состоял

из смеси азота, водорода и аммиака (приблизительно в равных объемах), а также 0,5% паров воды. Лабораторные испытания показали, что при использовании этого топлива и модифицированных двигателей в районе посадки спускаемого аппарата может погибнуть

лишь незначительная часть почвенных бактерий. Однако при выхлопе все же наблюдалось значительное загрязнение грунта аммиаком и, вероятно, парами воды, хотя точные измерения не проводились. В соответствии с этими результатами учитывалась возможность химических изменений грунта в местах посадки, вызванных аммиаком и водой.

Состав атмосферы

Пока спускаемые аппараты приближались к поверхности Марса, приборы, смонтированные в лобовые экраны, проводили измерения давления, температуры и состава атмосферы. Аналогичные измерения осуществлялись затем на поверхности с помощью дополнительных приборов, доставленных спускаемыми аппаратами. С биологической точки зрения самым важным был вопрос о составе атмосферы и особенно о наличии в ней азота. По общему мнению, этот элемент, входящий в состав нуклеиновых кислот и белков, совершенно необходим для жизни. Ранее с помощью космических аппаратов было установлено, что содержание азота в атмосфере Марса не превышает 5% (в атмосфере Земли он составляет 77%), а возможно, его вообще там нет.

Приборы "Викингов" зарегистрировали, что в атмосфере Марса присутствует 2,7% азота, 95% диоксида углерода, 1,6% аргона, 0,13% кислорода, а также (в еще меньших количествах) монооксид углерода, неон, криптон, ксенон, озон и пары воды. Вероятно, когда-то атмосфера Марса была гораздо богаче азотом, но со временем он улетучился в космическое пространство. Азот достаточно тяжелый элемент, и сам по себе он не мог бы улетучиться, но Майкл Мак-Элрой в свое время показал, что атомы азота могут приобрести такую способность благодаря некоторым химическим процессам в верхних слоях атмосферы Марса. Как и предсказывает теория, "Викинги" обнаружили, что соотношение тяжелого ^{14}N и обычного ^{14}N изотопов азота в марсианской атмосфере выше, чем в земной, т. е. из атмосферы Марса в первую очередь улетучивался более легкий изотоп.

Поиски жизни

Приборы

Для поиска следов жизни на Марсе каждый спускаемый аппарат был снабжен одинаковым набором из шести приборов: две фотокамеры, газовый хроматограф с масс-спектрометром для идентификации органических соединений в грунте и три прибора, предназначенные для выявления метаболической активности микроорганизмов в грунте. За работу каждого из приборов и интерпретацию его показаний отвечала определенная группа ученых, хорошо знакомых с его конструкцией и возможностями. Этот принцип распространялся на все приборы, установленные на спускаемых и орбитальных аппаратах "Викинг". Подобные группы специалистов вместе с инженерами, управлявшими космическими аппаратами, и руководителями полетов, координировавшими все действия, и составили коллектив участников программы "Викинг".

Фотокамеры

Среди прочих приборов, установленных на борту "Викингов" и предназначенных для поиска жизни, фотокамеры обладали двумя особенностями. Во-первых, их работа не зависела от того, какова химическая природа марсианской жизни. Наблюдатели на Земле должны были решать, свидетельствует ли тот или иной объект о наличии на планете жизни, основываясь лишь на его внешнем виде, а не на физиологии или химическом составе. Ведь марсианин из кремния мог с тем же успехом попасть в поле зрения "фотокамеры, как и марсианин из углерода. Фотокамеры могли обнаружить не только сами живые существа, но и их следы, останки, сделанные ими предметы и, наконец, их движение. Однако разрешающая способность фотокамер не позволяла различать объекты размером менее нескольких миллиметров, что ограничивало возможность обнаружения жизни. Как мы знаем, целые царства живых организмов имеют меньшие размеры, но фотокамеры "Викингов" были не в состоянии заметить их.

Второе отличие фотокамер от других приборов, использовавшихся при поиске жизни, заключалось в том, что всего одного фотоснимка могло оказаться достаточно для завершения работы. Каждая фотография несла такую богатую

информацию (в техническом смысле этого слова), что в принципе наличие жизни на Марсе можно было доказать одним-единственным снимком. Никакой другой прибор на основании единственного наблюдения не мог дать убедительного свидетельства существования марсианской жизни.

Фотокамеры с помощью специальных электронных устройств записывали наблюдаемую картину на магнитоленту. Полученные изображения затем либо передавались непосредственно на Землю, либо ретранслировались через орбитальные аппараты. Возможны были и прямые передачи без магнитолентной записи. Эти изображения, цветные и черно-белые, получали как с высоким, так и с низким разрешением, а в некоторых случаях-даже стереоскопические.

Полученные с Марса фотографии внимательно исследовались различными специалистами-участниками программы "Викинг", что давало возможность одновременно решать широкий круг вопросов. Их также тщательно изучала с целью обнаружения признаков жизни особая группа специалистов по анализу изображений. Скрупулезно исследовались обычные, стереоскопические и цветные изображения. Их анализировали на ЭВМ, пытаясь выявить малейшие перемены или изменения в пейзаже; на них искали объекты, светящиеся в ночное время. Тем не менее не было замечено ничего указывающего на существование на Марсе жизни, что не находило бы более правдоподобного небиологического объяснения. Сошлемся на отчет специальной исследовательской группы: "Не было получено ни прямых, ни косвенных доказательств присутствия на Марсе макроскопических биологических объектов" [12].

Хотя фотокамеры и не обнаружили следов жизни, полученные фотографии бесценны не только тем, что расширили наши представления о природных условиях Марса. Эти желтоватые пейзажи марсианских равнин останутся вечным свидетельством исторической "встречи" легенды и современной техники, состоявшейся летом 1976 г.

Газовый хроматограф с масс-спектрометром (ГХМС)

Строго говоря, ГХМС не предназначался специально для поисков следов жизни. Его задача скорее заключалась в поиске и анализе органических соединений на поверхности

Марса. Хотя, как мы видели в гл. 3, на Земле все органические вещества фактически имеют биологическое происхождение, во Вселенной широко распространено абиогенное по своей природе органическое вещество. До полета "Викингов" предполагалось, что если на Марсе и отсутствует жизнь, то по крайней мере там должно встречаться органическое вещество, занесенное метеоритами. Поводом для такого предположения была близость Марса к поясу астероидов (он расположен между орбитами Марса и Юпитера), который и является "поставщиком" метеоритов. Считается, что метеориты сталкиваются с Марсом значительно чаще, чем с Землей, и, согласно расчетам, вследствие этого за геологический период на Марсе должно было накопиться достаточно органического вещества, чтобы обнаружить его с помощью ГХМС. Кроме того, если Марс обитаем, то там должно также присутствовать органическое вещество биологического происхождения. Перед запуском "Викингов" ученые часто обсуждали вопрос, как с помощью имеющихся в их распоряжении приборов установить, биологическое или небиологическое происхождение имеют найденные органические соединения, а в том, что они-хотя бы в следовых количествах-обнаружатся на Марсе, большинство ученых не сомневались. Однако после посадки аппаратов на планету этот вопрос больше не возникал.

Работа ГХМС производилась в несколько этапов. Устройство для взятия образцов грунта-ковш, укрепленный на конце раздвижной стрелы,-захватывало небольшую порцию

марсианского грунта, которая затем измельчалась, просеивалась через сито и поступала в нагреватель вместимостью всего около 200 мг. Здесь происходило ступенчатое нагревание образца до температуры 500 С, в результате чего органическое вещество превращалось в летучие продукты. При низких температурах в летучее состояние переходят небольшие нейтральные органические молекулы, а при высоких разрушаются (пиролизуются) крупные, или полярные молекулы, образуя небольшие летучие фрагменты. Эти газы поступали затем на колонку газового хроматографа-длинную трубку, заполненную гранулами синтетического органического материала, через которую они двигались с различными скоростями в зависимости от массы молекул. По мере разделения смеси ее компоненты выходили через другой конец колонки, один за другим попадая в масс-спектрометр. Там под действием пучка электронов происходило дальнейшее разделение каждого компонента на заряженные ос

колки, массы которых измерялись по величине их ускорения в электростатическом и электромагнитном полях. Изучая полученный таким образом спектр молекулярных масс, опытный масс-спектроскопист может установить структуру молекулы, из которой образовались осколки. На следующем этапе определялось строение исходной молекулы, из которой возникли продукты, идентифицированные в ходе масс-спектрометрии. Это также можно сделать, хотя не всегда с полной достоверностью.

В научной программе проекта "Викинг" метод, сочетающий хроматографию с масс-спектрометрией, был одним из самых важных. По сравнению с обычными методами органического анализа он обладал рядом существенных преимуществ, поскольку позволял анализировать практически любые органические соединения. Это означает, что классы соединений, подвергавшихся анализу на Марсе, не определялись заранее. (Фактически возможности ГХМС не ограничивались анализом только органических соединений. При введении газовой смеси в газовой-хроматографическую часть прибора - минуя пиролиз - проводился также анализ состава атмосферы.)

Метод ГХМС отличался чрезвычайно высокой чувствительностью при анализе органических соединений. Он позволял определить присутствие нескольких молекул вещества, содержащего больше двух атомов углерода, среди миллиарда других молекул или нескольких частей на миллион - в случае соединений, содержащих не более двух атомов углерода в молекуле. Это в 100-1000 раз меньше той концентрации органических молекул, которая встречается в почвах пустынь на Земле. В каждом районе посадки анализ содержания органических веществ проводился с двумя образцами грунта, в том числе исследовалась проба, взятая из-под камня на Равнине Утопия. Результаты всегда были отрицательными. Удалось зарегистрировать лишь следы чистых органических растворителей, оставшихся от промывки самого прибора. (Обнаружение и идентификация этих загрязнений доказали, что прибор работал нормально.) Кроме этого были найдены диоксид углерода и пары воды, образовавшиеся при распаде минералов марсианского грунта в результате нагревания ГХМС. Дополнительные подробности этих исследований можно найти в статье, опубликованной группой молекулярного анализа [1].

Среди всех результатов биологических экспериментов по программе "Викинг" отсутствие органического вещества в

грунте Марса, зарегистрированное при столь высокой чувствительности прибора (несколько частей на миллиард), имеет наибольшее значение. Уже после первой серии явно отрицательных результатов ГХМС, полученных с места посадки на Равнине Хриса, стало очевидно, что если и следующие анализы дадут такие же результаты, то убедительное доказательство наличия жизни в грунте планеты станет не возможным-независимо от исхода других экспериментов. Однако другие биологические эксперименты лишь подтвердили данные ГХМС.

Микробиологические эксперименты

Еще на самых ранних этапах исследований ныне покойный Альберт Тайлер, известный биолог из Калифорнийского технологического института, заявил, что хороший биологический эксперимент по обнаружению жизни на Марсе должен включать мышеловку и фотокамеру. Однако в середине 60-х годов мысль о том, что на Марсе возможны высшие формы жизни, была полностью отвергнута. Согласно общему мнению, самое большее, на что здесь можно рассчитывать, — это наличие микроорганизмов. Даже те ученые, которые отстаивали теоретическую возможность существования на Марсе высших форм жизни, признавали, что вероятность ее обнаружения предельно возрастает, если сосредоточить основное внимание на поиске микроорганизмов в грунте. Нельзя представить себе планету, населенную высшими формами жизни, где не было бы микроорганизмов, но легко вообразить обратное: планету, на которой микроорганизмы являются единственной формой жизни. Инопланетный корабль, прибывший на Землю с целью выяснить, обитаема ли она, поступил бы правильно, исследовав ее почву. Почва — богатая биологическая среда, населенная бактериями, дрожжами и плесневыми грибами. Эти организмы многочисленны и, обладая высокой устойчивостью, лучше других выживают в экстремальных условиях, так что вряд ли где на Земле можно найти хотя бы небольшой образец почвы, не содержащий микроорганизмов.

По этим соображениям на обоих спускаемых аппаратах "Викингов" было установлено по три прибора для обнаружения метаболической активности почвенных микроорганизмов. Во всех этих экспериментах изучалось воздействие небольших проб грунта, взятого с поверхности Марса, на различные вещества. Для выяснения природы биологической или небιологической — реакций использовалось тепло.

Поскольку, как известно, реакции, устойчивые к сильному нагреванию, скорее всего, являются небιологическими, тогда как реакции, чувствительные к умеренному теплу, могут быть как биологическими, так и небιологическими по своему характеру.

Два эксперимента строились настолько с учетом условий жизни на Земле, что их просто невозможно было провести в подлинно марсианских условиях. В обоих экспериментах использовались водные растворы органических соединений, в которых должны были инкубироваться образцы марсианского грунта. Поскольку жидкая вода не может существовать на Марсе, растворы вместе с образцами грунта (во избежание их замерзания или кипения) следовало инкубировать при температурах и давлениях, значительно превышающих марсианские. Такие эксперименты в большей степени соответствуют представлениям о Марсе Ловелла или, во всяком случае, взглядам, господствовавшим до полета "Маринер-4", а не современным сведениям об этой планете. Это вызвало серьезные сомнения в разумности включения названных экспериментов в научную программу проекта "Викинг". Тем не менее их все-таки оставили, хотя третий эксперимент (с использованием жидкой воды), первоначально также утвержденный, был исключен при комплектации бортового оборудования для научных исследований. Совершенно неожиданно результаты двух экспериментов с увлажнением образцов внесли впоследствии очень важный вклад в наши представления о Марсе.

Эксперимент по газообмену (ГО). Первоначальный план этого эксперимента по замыслу его создателя Вэнса Оямы состоял в том, чтобы смешать образец марсианского грунта с питательным раствором в герметически закрытой камере при температуре около 10 °C. При этом камеру следовало продувать находящейся под давлением смесью газов (гелия, криптона и углекислого газа), контролируя через определенные промежутки времени изменения в составе газовой смеси. Предполагалось, что наличие в почве микроорганизмов приводит к образованию и последующему исчезновению различных газов, возникающих в процессе метаболизма, — именно такой результат наблюдается при исследовании земных

почв. Для идентификации и измерения концентрации этих газов был разработан специальный газовый хроматограф.

Набор химических веществ в питательном водном растворе, включавший витамины, аминокислоты, пурины и пи

римидины, органические кислоты и неорганические соли, в значительной степени был ориентирован на биохимию земных организмов. После обсуждения научной программы "Викинг" биологической группой, состоявшей из авторов трех экспериментов и еще трех членов, дополнительно назначенных НАСА*, в методику проведения эксперимента по газообмену было внесено небольшое, но принципиальное изменение. Суть его заключалась в следующем: перед смачиванием образец грунта следовало поместить в герметически закрытую камеру с небольшим объемом питательного раствора, который был отделен от образца, но мог насыщать камеру парами воды. Таким образом марсианский грунт подвергали воздействию паров воды под давлением, которое по-видимому, существовало на Марсе много миллионов лет назад. Анализ газовой смеси должен был производиться в условиях этого "типа увлажнения", прежде чем грунт вступит в контакт непосредственно с раствором.

Введение этого дополнительного цикла измерения в пробы по 1 грамму дало удивительный результат. При инкубации с парами воды из грунта выделились четыре газа: азот, аргон, углекислый газ и кислород. Первые три присутствовали в относительно небольших количествах, так что их появление можно было объяснить вытеснением газов, абсорбированных в пробах грунта парами воды. Однако повышение давления кислорода нельзя было объяснить простой десорбцией. Например, в первом же эксперименте (на Равнине Хриса) менее чем через два сола (марсианские сутки) после увлажнения камеры давление кислорода увеличилось почти в 200 раз. Как указывали Ояма и Вердал [14], столь резкое изменение давления означает, что газообразный кислород выделяется в результате химической реакции между парами воды и каким-то веществом, содержащимся в грунте. Таким веществом вполне могли быть богатые кислородом оксиды, супероксиды и озониды. Эти соединения имеют общую формулу $M^+O_2^-$, MO_2^- и MO_3^- соответственно, где М означает водород либо металл. В присутствии воды все они быстро разлагаются с выделением кислорода. Наличие таких сильных окислителей в поверхностном слое грунта Марса, вероятно, объясняет не только выделение кислорода, но и отсутствие органического вещества в грунте. Ранее предполагалось, что эти вещества могут существовать на Марсе и их количество

* В группу входили Гарольд П. Клейн, Джошуа Ледерберг, Джилберт В. Левайн, Вэнс Ояма, Александр Рич и автор.

там значительно больше, чем это показали исследования "Викингов".

После семи солов увлажнения парами воды первая проба марсианского грунта смачивалась путем введения в камеру большего количества водного питательного раствора. Теперь эксперимент по газообмену проходил в том виде, как был задуман первоначально.

Влажный грунт инкубировали в течение 196 солов (6,7 месяца); как полагали исследователи, марсианские организмы должны были обнаружить свое присутствие, выделяя или поглощая газы. Ничего подобного не произошло. Единственным значительным изменением, которое удалось зарегистрировать за эти месяцы, была убыль кислорода; это объяснялось тем, что он вступал в реакцию с аскорбиновой кислотой (витамином С) питательного раствора.

Во втором эксперименте камера была освобождена от газа и среды, высушена, после чего в нее загрузили новую порцию поверхностного материала. Образец нагревали на протяжении 3,5 ч при температуре 145 °C, охлаждали и затем опять увлажняли. Снова

наблюдалось выделение кислорода, в количестве, примерно вдвое меньшем, чем в первом эксперименте, но этого было достаточно, чтобы подтвердилась небиологическая природа процесса. Эксперименты по газообмену, проведенные спускаемым аппаратом "Викинга-2" на Равнине Утопия, дали сходные результаты, хотя и меньшие по масштабам. Таким образом, эксперименты по газообмену показали, что марсианская поверхность является химически активной вследствие присутствия в грунте разных районов планеты соединений типа пероксидов.

Эксперимент по выделению радиоактивной метки. Джил берт Левайн, разрабатывая эксперимент с выделением радиоактивной метки (ВРМ), исходил из предположения, что марсианские микроорганизмы, находясь в водном растворе питательных веществ, будут выделять газ. Однако этот эксперимент отличался от описанного ранее эксперимента по газообмену некоторыми существенными деталями. Прежде всего, использовавшаяся в нем питательная смесь состояла всего из семи более простых и универсальных соединений. Это растворенные в воде муравьиная, гликолевая и молочная кислоты (в виде их натриевых или кальциевых солей), а также аминокислоты глицин и аланин; аланин и молочная кислота присутствовали в форме оптических изомеров. Все эти молекулы могут образоваться абиогенно в реакции Миллера с искровым разрядом; все они были обнаружены в метеоритах или в межзвездных газово-пылевых облаках, что позволяло предположить, что организмы, где бы они ни существовали, смогут усвоить в процессе обмена веществ хотя бы одно из этих соединений. Эксперимент ВРМ отличался также тем, что в питательном растворе использовались

вещества, меченные радиоактивным углеродом. Поэтому образование любого газа, содержащего углерод (преимущественно СО₂), можно было зарегистрировать, измеряя уровень радиоактивности. Это существенно повышало чувствительность измерения. Сочетая в себе универсальность и высокую чувствительность, данный эксперимент был почти идеальным для выявления признаков жизни на планете, имеющей воду.

Эксперимент начинался с добавления приблизительно 0,1 см³ радиоактивной среды к 0,5 см³ марсианского грунта. Чтобы предотвратить кипение среды при температуре как меры (около 10 С), в камеру продували гелий. Объем введенной среды был рассчитан так, чтобы увлажнялась только какая-то часть образца марсианского грунта. Почти сразу после инъекции среды началось сильное выделение радиоактивного газа. Постепенно уменьшаясь, оно в конце концов достигало уровня, при котором в радиоактивную кислоту превращалось только 1/10 часть атомов углерода из смеси органических веществ. Наиболее вероятно, что источником радиоактивного газа была муравьиная кислота-соединение с одним атомом углерода в молекуле, которое легко окисляется пероксидами до СО₂.

Когда выделение радиоактивного газа почти полностью прекращалось, вновь вводился питательный раствор. Если бы выделение радиоактивного газа вызывалось действием на грунт пероксидов, то новая порция питательного раствора не приводила бы к его дальнейшему образованию, поскольку пары воды из первой порции раствора должны были бы разрушить пероксид даже в той части образца грунта, которая непосредственно не соприкасалась с питательным раствором. Но если бы радиоактивный газ выделяли микроорганизмы, содержащиеся в грунте, то добавление свежей питательной среды только усилило бы выделение газа. Подтвердилось первое предположение: газ больше не выделялся. Аналогичный результат был получен и с остальными исследованными образцами марсианского грунта.

На следующем этапе эксперимента по выделению радиоактивной метки повторялся тот же анализ, но с нагретой пробой грунта. В опыте по газообмену при нагревании образца грунта до 145 С в течение 3,5 ч выделение кислорода уменьшалось примерно вдвое. Однако в экспериментах ВРМ при нагревании образца марсианского грунта до 160 С в течение 3 ч

активность полностью прекращалась. Различие в режимах инкубации по продолжительности времени и вели

чине температуры в этих двух экспериментах незначительно. Наиболее важно, по-видимому, как позже отметил Ояма, различие в методике проведения эксперимента. Ведь в экспериментах по газообмену камера при нагревании была открыта, и через нее продувался гелий, тогда как в опыте по выделению радиоактивности камера была все время закрыта. Анализ, проведенный с использованием ГХМС, показал, что при нагревании образцов грунта до температуры 500 °C около 1 % их массы выделяется в виде воды, а какая-то часть воды выделяется даже при нагревании до 200 °C. Несомненно, что эта вода образуется из гидратированных минералов, а не в результате испарения ее свободной формы. Анализы ГХМС не проводились при температуре 160 °C, но длительное пребывание образца марсианского грунта при этой температуре в ходе эксперимента ВРМ вполне могло привести к образованию достаточного количества воды, которая и разрушила вещество-окислитель, ответственное за возникновение СО₂. Возможно и другое объяснение. Быть может, на Марсе существуют термостабильные и термолabile пероксиды, вызывающие окисление, и те из них, которые были обнаружены в эксперименте по выделению радиоактивности, принадлежали именно к последнему классу.

Эксперименты по выделению продуктов пиролиза (ВПП). Еще до полетов "Викингов" можно было с уверенностью

сказать, что если жизнь и существует на Марсе, то она приспособлена к марсианским, а не к земным условиям. Поэтому мной вместе с сотрудниками Джорджем Хобби и Джерри Хаббардом были разработаны эксперименты по выделению продуктов пиролиза, называемые также экспериментами по ассимиляции углерода, которые предназначались специально для проведения биологического анализа марсианского грунта именно при существующих на Марсе условиях.

План эксперимента состоял в инкубации образца марсианского грунта в атмосфере Марса, обращенной небольшим количеством меченных радиоактивным углеродом газов СО и СО¹⁴ (они присутствуют в атмосфере планеты в количествах 0.1 и 95% соответственно), и последующем измерении количества атомов радиоактивного углерода, включившихся в органическое вещество образца. Инкубация грунта должна была происходить в течение 120 ч при давлении, температуре, составе атмосферы и солнечном освещении, характерных для Марса. После удаления из камеры радиоактивной атмосферы проба должна была нагреваться в потоке гелия до температуры 625 °C, чтобы произошел пиролиз любых содержащихся в ней органических веществ и превращение их в летучие фрагменты. Ток гелия уносил их затем из камеры в колонку, заполненную сорбентом из кизельгура*, поглощающим все органические вещества, но не СО и СО₂. Как только молекулы органических соединений отделялись от непрореагировавших с кизельгуром газов, колонка нагревалась до температуры 640 °C, при которой газы высвобождались и затем окислялись до СО, под действием находившегося в этой же колонке оксида меди. И наконец, можно было измерить радиоактивность образовавшегося СО₂.

На Марсе этот эксперимент был осуществлен по запланированной программе, за исключением двух пунктов. Во-первых, из-за наличия в спускаемых аппаратах источников тепла температура в камерах, где проводился анализ, была выше температуры марсианского грунта в обоих районах посадки. Температура в камере колебалась в пределах 8--26 °C, тогда как температура грунта снаружи оставалась ниже 0 °C в ходе всего эксперимента. Поскольку

на

* Кизельгур (инфузорная мука диатамит) - осадочная горная порода, состоящая из панцирей микроскопических диатомовых водорослей и обладающая большой пористостью и способностью к адсорбции. Прим. ред.

экваторе Марса температура может достигать 25 С, нельзя сказать, что температурные условия в камерах сильно отличались от марсианских.

Во-вторых, в качестве источника освещения в эксперименте использовался не солнечный свет на Марсе—это было технически трудно осуществить,—а ксеноновая лампа со спектром, похожим на спектр солнечного света у поверхности Марса (в котором отфильтрованы длины волн короче 320 нм). Свет требовался для обеспечения энергией фото синтеза организмов, если бы таковые обнаружались. Так как лабораторные эксперименты показали, что на минеральной поверхности, облученной ультрафиолетовым светом с длиной волны короче 300 нм, в присутствии СО и паров воды идет абиогенный синтез простых органических соединений, мы решили исключить этот диапазон волн, чтобы избежать путаницы при выяснении природы источников органического вещества. Хотя указанная область присутствует в спектре солнечного излучения, достигающего поверхности Марса, мы оправдывали ее исключение тем, что свет этих длин волн настолько разрушителен для сложных органических молекул, что у марсианских организмов должны были выработаться защитные механизмы, позволяющие либо отфильтровать, либо нейтрализовать ее действие.

Лабораторные испытания показали, что течение эксперимента не зависит от фотосинтеза в пробах грунта. Фиксация СО и СО₂ в органическое вещество в живых клетках происходит и в ходе темновых процессов. В самом деле, при лабораторных испытаниях приборы регистрировали фиксацию как в темноте, так и при фотосинтезе.

На Марсе было проведено девять экспериментов по выделению продуктов пиролиза: шесть—на Равнине Хриса и три—на Равнине Утопия. Самый первый анализ (сделанный на Равнине Хриса, С 1—на рис. 18) дал положительный результат. Количество связанного углерода было невелико по сравнению с тем, что наблюдалось при анализах образцов земного грунта, но значительно выше фонового уровня, установленного в предполетных лабораторных анализах стерильных проб грунта. Учитывая меры, принятые для устранения помех небологической природы, получение даже слабого сигнала с Марса было поразительным. Поэтому было решено провести новый контрольный эксперимент (С 2): вторая проба марсианского грунта нагревалась при температуре 175 С в течение трех часов перед инкубацией с радиоактивными газами. Количество связанного углерода при

этом снизилось на 88%. Казалось, мы обнаружили на Марсе синтез органического вещества, чувствительный к температуре, но то обстоятельство, что и после нагрева 12% реакции продолжалось, ставило под сомнение биологическую природу процесса.

В двух последующих экспериментах (С 3 и С 4) были предприняты безуспешные попытки повторить результат эксперимента С 1. Если исходить из критериев, установленных на основании предполетных анализов, то результаты экспериментов можно лишь с большой натяжкой признать положительными, хотя ни один из них по количеству связанного углерода даже не приблизился к эксперименту С 1. Была проведена еще одна проверка (С 5) термостабильности слабых реакций, зарегистрированных в С 3 и С 4. На этот раз образец грунта инкубировали при 120 С в течение примерно 2 мин, после чего температура понижалась до 90 С и грунт инкубировался еще около 2 ч. На этот раз никаких изменений в реакции не произошло, что опять же свидетельствовало о ее небологической природе. В последнем эксперименте на Равнине Хриса (С 6) изучалось влияние на реакцию паров воды. Никаких изменений не было обнаружено и в этом случае.

Из трех экспериментов, проведенных на Равнине Утопия, первый (U 1) по слабому положительному ответу был сходен с экспериментами С 2—С 6. На основании выработанных еще на Земле критериев результаты LJ 2 и U 3 следовало признать отрицательными. Дальнейшие анализы на Равнине Утопия пришлось прекратить из-за появления течи в аппарате.

Хотя положительные результаты экспериментов по выделению продуктов пиролиза еще не получили полного истолкования, вероятность того, что они связаны с биологическими процессами, ничтожна. Такой вывод объясняется следующими причинами.

1. Поскольку не удалось воспроизвести обнадеживающий результат эксперимента С 1, следует рассматривать полученные в нем высокие показания как аномалию, обусловленную, видимо, сбоем в работе прибора. Если это действительно так, то 88%-ная потеря активности в эксперименте С 2 неоправданно высока и реакция более устойчива к высокой температуре, чем это следует из результатов первого анализа. Термостабильная, небиологическая по своей природе реакция четко выражена в эксперименте С 5.

2. Хотя вода должна быть фактором, ограничивающим возможность жизни на Марсе (см. гл. 6), введение в экспери

ментальную камеру ее паров в концентрации, создающей влажность, близкую к насыщению, не влияло на реакцию либо оказывало угнетающее воздействие. (Воду впрыскивали в экспериментах С 5, С 6 и LJ 2. Подробности приведены в работах [4, 5].)

3. Хотя данных на этот счет недостаточно, по-видимому, можно считать, что наблюдаемая реакция протекает при мерно одинаково как в темноте, так и на свету. (Эксперименты LJ1 и LJ3 проводились в темноте, а все другие - на свету.) Образцы грунта, взятые с поверхности Земли, как правило, связывают гораздо больше углерода на свету, что объясняется присутствием там фотосинтезирующих организмов.

4. Лабораторные опыты, проведенные после полета "Викингов", показали, что, за исключением сомнительной чувствительности реакции к высоким температурам, все отмеченные выше ее особенности характерны для небиологических реакций между смесью радиоактивных газов и богатыми железом минералами. К их числу относится магемит (Fe^+O_3)-магнитная форма оксида железа, которая сравнительно редко встречается на Земле, но, как позволяют думать результаты, полученные "Викингами", широко распространена на Марсе.

Таким образом, на основании полученных результатов фиксацию углерода, зарегистрированную в эксперименте по выделению продуктов пиролиза (ВПП), вероятно, можно объяснить тем, что на поверхности Марса присутствуют один или несколько железосодержащих минералов, которые реагируют с CO из газовой смеси. Содержание железа в

грунте поверхности Марса составляет 13%. Хотя специалисты все еще обсуждают вопрос, какие именно минералы имеются на поверхности планеты, вероятно, в данном эксперименте были зарегистрированы продукты реакции, катализируемой железом. Природа образовавшегося продукта, независимо от того, органический он (т. е. содержащий атомы углерода, соединенные с атомами водорода) или нет, не известна. Если предположить первое, то, судя по результатам эксперимента ВПП, количество синтезированного органического вещества должно быть близко к пределу чувствительности газового хроматографа с масс-спектрометром (эксперимент ГХМС) при условии, что углерод перешел в состав какого-то одного соединения. Если бы образовалось более одного соединения, то газовый хроматограф не смог бы их обнаружить. В любом случае результаты этих двух экспериментов не противоречат друг другу.

Не понятно, как можно согласовать данные эксперимента ВПП со свидетельствами присутствия в грунте Марса агрессивных пероксидных соединений. Если такие соединения равномерно распределены в грунте, то это значит, что в их присутствии синтез органических соединений невозможен. Однако в тех экспериментах ВПП, где пары воды вводились в смесь радиоактивных газов, не было замечено, чтобы количество углерода, поглощенного в образце грунта, существенно возросло. Это позволяет предполагать, что распределение химических соединений на поверхности планеты неравномерно. Отсюда также следует, что

частицы грунта, проявившие активность при фиксации углерода в экспериментах ВПП, не были компонентами, связанными с пероксидными соединениями.

Подведение итогов

Районы посадки двух спускаемых аппаратов "Викингов" были очень похожи по химическому составу образцов грунта, несмотря на различие климатических условий и большое расстояние между ними. Мы понимаем теперь, что это сходство обусловлено теми процессами, которые происходят по всей планете, и данные, полученные на Равнинах Хриса и Утопия, вероятно, типичны для поверхности Марса. Примером таких процессов могут служить планетарные бури, которые разносят мелкий поверхностный материал по всей планете. Другим примером-особенно важным благодаря

своей биологической значимости-следует считать процесс расщепления молекул воды в нижних слоях атмосферы Марса коротковолновым ультрафиолетовым излучением Солнца. Продукты этого фотолиза, H и OH , очень реактивны, а их последующая судьба прояснилась после теоретических исследований Доналда Хантена и других специалистов по атмосфере планет.

OH -сильный окислитель, и непрерывное образование его в непосредственной близости от поверхности Марса обусловливает отсутствие в ней органического вещества. Между прочим с этим связана и красноватая окраска Марса: он покрыт оксидами железа. Данное обстоятельство объясняет, почему атмосфера планеты не состоит из CO и O_2 . Ведь именно эти газы образуются при облучении CO_2 ультрафиолетом Солнца, но CO вновь окисляется в присутствии OH . Наконец, реакции с участием OH легко приводят к образованию пероксидных соединений, подобных H_2O_2 и HO_2 . Еще до полетов "Викингов" Хантен предсказывал, что эти соединения должны проникать из атмосферы в поверхностные слои Марса. Именно наличием таких веществ можно объяснить результаты экспериментов по газообмену и выделению радиоактивной метки.

Специалисты по атмосферам планет слишком поздно пришли к этому заключению, чтобы как-то повлиять на программу исследований по поиску жизни на Марсе. Мы узнали об этих выводах только после полета "Викингов". Тем не менее тот факт, что приборы спускаемых аппаратов подтвердили теоретические предсказания, не только доказывает обоснованность изменений, внесенных в программу эксперимента по газообмену, но и важен в другом отношении. При спуске на Марс оба космических аппарата продвигались к поверхности сквозь облака поднятой пыли, которая потом исследовалась вместе с примесями, образовавшимися от выхлопов тормозных двигателей. В выхлопе содержалось 0,5% паров воды, и поэтому какое-то разрушение пероксидов кажется неизбежным. Кроме того, на треть выхлоп состоял из аммиака-горючего газа, который также мог прореагировать с этими веществами в присутствии минеральных катализаторов, содержащихся в грунте. Таким образом, исследовавшиеся пробы содержали, вероятно, лишь часть действительно имеющихся в грунте активных молекул, и то, что какая-то их доля все же сохранилась, следует рассматривать как удачу.

Окисление при помощи пероксидов не единственный процесс, в котором органическое вещество на Марсе может быть разрушено. Эксперименты, проведенные Пангом и его сотрудниками, показали, что под воздействием ультрафиолетового излучения в присутствии оксида титана (в грунте на поверхности Марса содержится 0,5% титана) атмосферный кислород вызывает быстрое окисление органического вещества. Как и окисление под действием OH , этот процесс также происходит на планете повсеместно.

Зная по крайней мере два механизма, способствующие разрушению органического вещества на всей поверхности Марса, трудно сомневаться в том, что данные, полученные аппаратами "Викинг", характерны для любого района планеты.

Глава 8 Жизнь в Солнечной системе

Нам суждено спускаться вновь и вновь. В тот край, откуда началась дорога, Чтобы опять взглянуть... и в изумлении Его увидеть, словно в первый раз.

Т. С. Э.шот, "Легкое головокружение"

Убежденность в существовании жизни на планетах Солнечной системы возникла у людей лет на 300 раньше, чем были получены убедительные научные данные как о самой жизни, так и о планетах. Такие представления-плод естественного, но неоправданно широкого толкования революционных идей Коперника-сформировались у мыслителей XVII-XVIII вв. не на основе научных фактов, а исходя из общих философских принципов. Со временем благодаря углублению научных знаний существование жизни на других планетах перестало быть не вызывающей сомнения истиной, а превратилось в гипотезу, которая подлежала логическому анализу и экспериментальной проверке. Выполнению этой программы, которая завершилась лишь в наши дни, способствовали два обстоятельства: более глубокое проникновение в тайны природы и происхождения живой материи, а также разработка новых методов исследования планет, позволившая переступить пределы, установленные возможностями земных телескопов. В числе этих новых методов прежде всего следует назвать создание межпланетных космических аппаратов и непрерывно совершенствующуюся технику передачи информации.

Современные биологи показали, что жизнь-это химический феномен, отличающийся от прочих химических процессов проявлением генетических свойств. Во всех известных живых системах носителями этих свойств служат нуклеиновые кислоты и белки. Сходство нуклеиновых кислот, белков и работающих на их основе генетических механизмов у организмов самых различных видов практически не оставляет сомнений в том, что все живые существа, ныне обитающие на Земле, связаны эволюционной цепью, которая соединяет их также с существовавшими в прошлом и вымершими видами. Подобная эволюция-естественный и неизбежный

результат работы генетических систем. Таким образом, несмотря на бесконечное разнообразие, все живые существа на нашей планете принадлежат к одной семье. На Земле фактически существует лишь одна форма жизни, которая могла возникнуть только однократно.

Основным элементом земной биохимии является углерод. Химические свойства этого элемента делают его особенно подходящим для образования такого типа больших инициационно богатых молекул, которые необходимы для построения генетических систем с практически неограниченными эволюционными возможностями. Космос также очень богат углеродом, и целый ряд данных (результаты лабораторных экспериментов, анализов метеоритов и спектроскопии межзвездного пространства) свидетельствует, что образование органических соединений, подобных тем, которые входят в состав живой материи, достаточно легко и в широких масштабах происходит во Вселенной. Поэтому вероятно, что если жизнь существует в каком-то ином уголке Вселенной, то она также основана на химии углерода.

Биохимические процессы, основанные на химии углерода, могут протекать лишь при сочетании на планете определенных условий температуры и давления, а также наличия подходящего источника энергии, атмосферы и растворителя. Хотя в земной биохимии роль растворителя играет вода, возможно, хотя и не обязательно, что в биохимических процессах, происходящих на иных планетах, участвуют другие растворители.

Условия, существующие в действительности на известных нам планетах, позволяют считать, что эти минимальные требования чрезвычайно жестки и, по всей видимости, пригодные для жизни планеты-достаточно редкое явление. Благодаря значительным успехам в

изучении планет к 1975 г. стало очевидным, что в Солнечной системе только Марс, хотя и с малой долей вероятности, может рассматриваться как возможное место существования внеземной жизни. Состоявшийся в том году полет "Викингов" завершил серию важных космических экспедиций на Марс, подведя исследование, связанные с поисками жизни на других планетах, к кульминационной точке. Была закончена одна из самых удивительных глав в летописи современной науки, породившей миф о жизни на Марсе. Низвержение этого мифа, начатое в 1963 г., поведало нам немало интересного не только о самом Марсе, но и о человеческой психологии. Оно же продемонстрировало поистине безграничное могущество науки, ее способность вскрывать и исправлять собственные ошибки.

"Викинги" не только не обнаружили жизни на Марсе, но и - что не менее важно - выяснили причины невозможности ее там. Марс лишен той удивительной особенности, которая определяет экологию нашей планеты, - океанов жидкой воды, обильно освещаемых Солнцем. На Марсе совершенно нет жидкой воды, и он подвержен воздействию всеразрушающего коротковолнового ультрафиолетового излучения. Даже одного из этих факторов, вероятно, вполне достаточно, чтобы сделать планету стерильной, а в сочетании они при велик к возникновению на поверхности планеты высокоокислительных условий, которые несовместимы с существованием органических соединений. Поэтому на Марсе нет не только жизни, но и органического вещества.

Но кое-кто, не зная ни на какие научные данные, продолжает считать планету обитаемой. Время от времени приходится, например, слышать, что где-то на Марсе все же может существовать сырое и теплое место - марсианский рай, богатый своеобразными, марсианскими формами жизни. Порой ставятся под сомнения и выводы, сделанные на основании полетов "Викингов", ибо полученные результаты можно интерпретировать, предполагая, что в грунте планеты обитают микроорганизмы, плотность популяции которых ниже порога чувствительности газового хроматографа с масс-спектрометром.

Эти взаимоисключающие точки зрения - одна, допускающая, что жизнь на Марсе, как и на Земле, нуждается в воде, и другая, отрицающая подобную необходимость, совершенно фантастичны. "Райский сад", будь он на Марсе, был бы различим на фотографиях марсианской поверхности по висящему над ним облаку водяных паров и, возможно, по наличию снега. Но этих признаков обнаружено не было, и очень маловероятно, что подобное место может существовать на Марсе. Равнина Утопия (где совершил посадку один из спускаемых аппаратов), грунт на которой в течение длительного времени ежегодно бывает покрыт инеем, является по марсианским стандартам очень влажным местом, и поэтому нет оснований говорить, что при осуществлении научной программы "Викинг" образцы отбирались только в самых засушливых областях. А второе предположение, согласно которому в марсианском грунте даже и сейчас обитают микроорганизмы - не более чем еще один вариант легенды о голубом единороге, утверждающей, что этот зверь

живет в пещере на Луне. Данное утверждение невозможно опровергнуть, поскольку создатель легенды наделил единорога всеми свойствами, необходимыми для выживания на Луне. По аналогии марсианские организмы должны быть, например, способны к существованию без воды или иного растворителя и быть устойчивыми к процессу разрушающему органические вещества, фотодеструкции.

Неудавшиеся попытки обнаружить жизнь на Марсе явились не только разочарованием, но и открытием. Поскольку Марс, несомненно, считался наиболее "перспективным" объектом для поисков внеземной жизни в Солнечной системе, то теперь, в сущности, стало ясно, что Земля - единственная несущая жизнь планета в ближайшей к нам области Галактики. Мы пробудились ото сна! Мы одиноки, мы и все другие виды - наши фактические родственники, с которыми мы делим Землю. Если современные исследования Солнечной

системы заставят нас глубже осознать уникальность нашей маленькой планеты и усилят тем самым нашу решимость избежать самоуничтожения, то они дадут человечеству нечто большее, чем просто сумму новых научных знаний.

Словарь терминов

Адсорбция. Связывание молекул газа или молекул, находящихся в растворе, с твердыми поверхностями под действием специфических физических или химических сил.

Альдегид. Органическое соединение, общая структура которого описывается формулой

где R-либо водород (образующий формальдегид), либо органический радикал. Знак " \equiv " означает двойную связь (см. Химическая связь).

Аминокислота. Основная субъединица белков с общей формулой $RCH(NH^+)COOH$, где R любой из 20 различных радикалов.

Белок. Молекула, образованная одним или несколькими полипептидами (см. Полипептид). Белки в виде ферментов (см. Фермент) играют основную роль практически во всех химических реакциях, протекающих в живых клетках. Они выполняют также многие другие биологические функции, например образуют мышечные волокна.

Водородная связь. См. Химическая связь. Возгонка. Испарение твердого тела, минуя фазу таяния.

Восстановление. Присоединение атомов водорода или электронов (либо отщепление атомов кислорода) к элементу или соединению.

Генетическая система. Химические вещества и физические механизмы, лежащие в основе саморепликации и мутации.

Давление паров. Давление, вызываемое паром, находящимся в равновесии с жидкой или твердой фазой вещества.

Диэлектрическая проницаемость. Величина, характеризующая поляризацию диэлектрика под действием электрического поля; показывает, во сколько раз сила взаимодействия двух свободных зарядов в диэлектрике меньше, чем в вакууме. Величина диэлектрической проницаемости важна для объяснения свойств жидкостей как растворителей. Среди жидкостей вода имеет одно из самых высоких значений диэлектрической проницаемости.

Изотоп. Разновидности одного и того же химического элемента, отличающиеся друг от друга массой атомов. Изотопы одного элемента сходны по химическим свойствам, но некоторые из них нестабильны и подвержены радиоактивному распаду.

Иней. Мельчайшие кристаллы льда, образующиеся при конденсации газа на холодной поверхности.

Ион. Атом или группа атомов, несущие электрический заряд вследствие потери либо приобретения одного или более электронов.

Катабатический ветер. Нисходящий воздушный поток в атмосфере. Такие ветры возникают в результате нагревания, вызванного локальным возрастанием давления, и характеризуются относительно низкой влажностью.

Катализатор. Вещество, которое ускоряет химическую реакцию, не расходуясь и не изменяясь при этом.

Мантия. Слой Земли, лежащий между земной корой и ядром, расположенным в центре.

Микромоль (мкмоль). Миллионная доля моля. Моль-это количество граммов вещества, численно равное его молекулярной массе. В 1 моле содержится 6.02×10^{23} молекул вещества.

Мономер. Молекула (например, нуклеотид или аминокислота), из которой обычно образуются линейные цепи полимеров (в частности, нуклеиновые кислоты и белки).

Мутация. Случайное изменение структуры гена, которое закрепляется в результате

саморепликации.

Нуклеиновая кислота. Линейный полимер, образующийся из нуклеотидов в результате связывания остатка фосфорной кислоты одного нуклеотида с сахаром следующего. Одна из двух типов нуклеиновых кислот. ДНК. образует гены. Другая. РНК. участвует в процессе синтеза белков.

Нуклеотид. Мономерная субъединица нуклеиновых кислот с общей структурой: азотистое основание-сахар-фосфорная кислота.

Окисление. Присоединение кислорода к элементу или соединению либо отщепление водорода или электронов.

Оптический изомер. Химическое соединение, которое, находясь в растворе, вызывает вращение плоскости поляризации света по часовой стрелке или против нее. У каждого такого соединения есть пара-соединение, представляющее собой зеркальное отражение первого, которое вызывает поворот плоскости поляризации света в противоположном направлении.

Относительная влажность. Концентрация паров воды в воздухе. выраженная в процентах по отношению к насыщающей концентрации при той же температуре.

Парниковый эффект. Нагревание атмосферы, вызванное ее непрозрачностью для инфракрасного излучения; возникает в результате

поглощения грунтом солнечного (главным образом видимого) света, для которого атмосфера прозрачна.

Полимер. См. Мономер.

Полипептид. Линейный полимер, образованный в результате соединения аминокислот.

Полярная молекула. Молекула, в которой центр положительного заряда не совпадает с центром отрицательного заряда, вследствие чего возникают положительный и отрицательный полюса. Большинство молекул, входящих в состав живых клеток, полярны, как и многие растворители, например вода, аммиак, спирты. Полярные растворители характеризуются высокой диэлектрической проницаемостью (см. Диэлектрическая проницаемость).

Радикал. Атом или группа атомов, обладающих одним или более неспаренными электронами. Свободные радикалы, т. е. радикалы, не объединенные в молекулы, например образующиеся при фотолизе воды Н и ОН, обычно отличаются очень высокой реакционной способностью.

Сахар. Углевод, содержащий, как правило, не более 12 атомов углерода и имеющий общую формулу $C^x(H^yO^z)$. Обычный пищевой сахар, или сахароза, имеет формулу $C^{12}H^{22}O^{11}$.

Свободная энергия. Мера количества работы (химической, механической или электрической), связанной с химическими реакциями, протекающими при постоянных давлении и температуре. Реакции с выделением свободной энергии, например окисление сахара, протекают самопроизвольно и могут служить источником энергии. Реакции с поглощением свободной энергии, т. е. запасющие ее, например фотосинтез, не могут протекать без поступления энергии извне. Про реакции, в ходе которых не происходит изменения свободной энергии, говорят, что они находятся в равновесии.

Спектрограмма. Фотография спектра.

Тройная точка. Температура, при которой твердая, жидкая и газообразная фазы вещества находятся в равновесии. Температура тройной точки чистой воды равна 0,0099 С.

Углеводород. Химическое соединение, состоящее только из углерода и водорода.

Фермент. Белок, функционирующий как биологический катализатор.

Фотолиз. Расщепление молекул, как правило, вызванное поглощением ультрафиолетового излучения.

Фотосинтез. Процесс, при котором зеленые растения, морские водоросли и некоторые

бактерии используют солнечный свет для синтеза органического вещества из диоксида углерода (углекислого газа).

Химическая связь. Сила, удерживающая вместе атомы в молекулах. Наиболее часто встречающаяся химическая связь-это образование у двух атомов пары обобщенных электронов. Двойная химическая связь создается двумя, а тройная тремя парами обобщенных электронов. Водородные связи, играющие важную роль в формиро-

вании структуры воды, ДНК и белков, создаются ионами водорода, каждый из которых связан с двумя отрицательно заряженными атомами, например атомами кислорода или азота.

Электролит. Вещество, которое при растворении в воде диссоциирует на положительно и отрицательно заряженные ионы.

Электрострикция. Изменение объема и ограничение свободы движения молекул растворителя, вызванное воздействием электрических полей, возникающих в ходе многих химических реакций.