



НОВОЕ
В ЖИЗНИ,
ТЕХНИКЕ

Серия «Космонавтика, астрономия»
№ 8, 1977 г.
Издается ежемесячно с 1971 г.

Б. Г. Мурзаков,
кандидат химических наук

**ПРОБЛЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ЖИЗНИ НА
ПЛАНЕТАХ**

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»
Москва 1977

На последней странице обложки представлены фрагменты панорамных снимков марсианской поверхности, переданных «Викингами» (NASA).

526 M91
M91 Мурзаков Б. Г.
Проблемы обнаружения жизни на планетах. М., «Знание», 1977. 64 с.
(Новое в жизни, науке, технике. Серия «Космонавтика, астрономия», 8. Издаётся ежемесячно с 1971 г.)
Брошюра посвящена актуальным проблемам экзобиологии – науки, изучающей вопросы возникновения, эволюции и природы жизни вне Земли и разрабатывающей биологические и физико-химические методы обнаружения признаков жизни на других планетах Солнечной системы с помощью космических станций. Приводятся предварительные результаты подобного рода исследований, проведенных с помощью космических станций «Викинг».
Брошюра рассчитана на широкий круг читателей.
© Издательство «Знание», 1977 г.
20604 526

СОДЕРЖАНИЕ

Введение
Что такое жизнь?
О происхождении жизни на Земле
Биосфера – продукт жизни
«Искусственные планеты»
Исследование внеземного вещества
Исследование планет Солнечной системы
Марс с точки зрения экзобиологии
«Викинги» исследуют Марс
Заключение

ВВЕДЕНИЕ

20 лет космической эры, начиная с запусков первых искусственных спутников Земли и первых полетов автоматических станций к Луне и планетам, оказали глубокое влияние на все области человеческой деятельности и, в первую очередь, на развитие почти всех отраслей науки и техники, что порой вызывало появление ряда новых научных дисциплин. Так, например, объединение фактического материала, которым располагали такие науки, как биология, химия, физика, астрономия и целый ряд других теоретических и прикладных дисциплин, привело к возникновению самостоятельной области науки – экзобиологии, в задачу которой, в частности, входят поиск и обнаружение признаков жизни на других планетах Солнечной системы. Решение этих вопросов тесно связано с разработкой соответствующих методик поиска жизни, с конструированием «биологической» аппаратуры космических станций, с изучением и моделированием экологической среды и условий жизни на других планетах.

Современный уровень развития космической техники позволяет перейти в настоящее время к непосредственному экспериментальному решению основной проблемы экзобиологии – поиску жизни на других планетах Солнечной системы с использованием аппаратуры космических станций, способных совершить мягкую посадку на поверхность этих планет. В то же время экзобиология сейчас переживает еще только «романтическую» стадию своего развития: она не располагает ни одним фактом о наличии где-либо во Вселенной даже наипростейшей формы жизни, но и не отрицает возможное существование вне Земли, в том числе и на планетах Солнечной системы, каких-нибудь микроскопических форм жизни. Следует отметить, что обнаружение микроорганизмов на других планетах позволило бы разрешить ряд фундаментальных проблем биологии, таких, как неизвестные еще пути эволюции органических веществ, происхождение жизни на Земле и т. д.

Мысль о возможном существовании жизни на других космических телах Вселенной возникла у людей еще с незапамятных времен. И не удивительно, что многие выдающиеся ученые и мыслители прошлого высказывали идею о множественности обитаемых миров во Вселенной. Однако очень длительное время это предположение было источником различных псевдонаучных представлений. Фантазия людей населила самыми причудливыми существами Луну, Венеру, Марс и даже Солнце, что в значительной мере дискредитировало саму идею о вероятной жизни на этих небесных телах.

Особое внимание при обсуждениях возможной жизни вне Земли уделялось Марсу. Начиная с конца XIX в. стали выдвигаться и «научные» доводы в пользу существования на этой планете различных (в том числе и разумных) форм жизни.

В 1877 г. итальянский астроном Д. Скиапарелли обнаружил на поверхности Марса сеть правильных узких темных линий, которые были названы «каналами». Через год на карту Марса было нанесено уже 30 подобных «каналов». Дальнейшие наблюдения якобы указывали на то, что эти «каналы» представляют собой замкнутую сеть, у которой лишь немногие линии обрываются в широких областях поверхности, названных «пустынями». Кроме того, эти линии пересекались, образуя темные пятна, названные «оазисами». Все это привело к тому, что в 1893 – 1895 гг. Скиапарелли выдвинул гипотезу об искусственном происхождении «каналов» Марса. Американский ученый П. Ловелл в 1894 г. основал в штате Аризона специальную обсерваторию по изучению марсианских «каналов», предполагая их ирригационными сооружениями, построенными марсианами.

Еще до обнаружения «каналов», в 1860 г., было впервые высказано предположение о возможном существовании на Марсе растительной жизни. По мнению некоторых ученых, на это указывали такие сезонные изменения деталей марсианской поверхности, как изменение окраски ее темных областей весной и летом, медленное изменение очертания некоторых из «морей», появление белой полярной шапки осенью, ее исчезновение весной, песчаные бури и т. д. Страстным пропагандистом идеи растительной жизни на Марсе стал Г. А. Тихов, который в 40-х годах нашего столетия выдвинул основные положения целой новой «науки» – астроботаники, главной задачей которой стало изучение условий существования растительной жизни на Марсе. Казалось, что создание новой научной дисциплины было вполне обосновано. Позиция астроботаников особенно укрепилась в 1957 – 1958 гг., когда в инфракрасном диапазоне спектра излучения марсианских «морей» В. Синтон обнаружил три полосы поглощения, характерные для некоторых органических веществ, в частности ацетальдегида, имеющегося в земных растениях. Однако ряд ученых, в том числе и сам В. Синтон, усомнились в «биологическом» происхождении обнаруженных спектральных линий марсианских «морей». И действительно, проведенные вскоре дополнительные исследования показали, что линии, обнаруженные в спектре «морей», соответствуют не марсианскому ацетальдегиду, а вызваны некоторыми веществами, находящимися в земной атмосфере и «неотфильтрованными» при изучении реального спектра марсианских «морей».

По мере накопления новых научных данных о Марсе и других планетах стало ясно, что в пределах Солнечной системы существование высокоразвитых организмов вне Земли полностью исключается. Решающую роль в получении столь важного вывода сыграли результаты космических исследований непосредственных окрестностей Марса, Венеры, Юпитера, Меркурия и других небесных тел Солнечной системы. В частности, фотографии поверхности Марса, полученные межпланетными космическими станциями типа «Марс», «Маринер» и «Викинг», показали, что те четкие линии, которые похожи на «искусственные каналы», есть ни что иное, как густая протяженная сеть кратеров. Таким образом, прав оказался Е. Антониади, который еще в начале XX в. утверждал, что «каналы» Скиапарелли не являются сплошными линиями, а распадаются на множество пятен, сливающихся при наблюдении в слабосильные телескопы.

Потерпела «поражение» и гипотеза о растительной жизни на Марсе, а вместе с этим потеряла смысл дальнейшего существования такая «отрасль науки», как астроботаника. Однако следует подчеркнуть, что некоторые положения астроботаники, в частности установленная ею тесная связь между условиями среды обитания и характером жизни, имели большое значение при выборе более верного подхода к проблеме существования жизни вне Земли. Но в то же время сейчас на повестке дня остается лишь один вопрос – поиск на других планетах микроскопических форм жизни, и именно поиск микроорганизмов представляет собой основную задачу сегодняшней практической экзобиологии.

Какова же стратегия поиска внеземной жизни? Каким арсеналом обладает современная наука для обнаружения внеземных микроорганизмов? О чем говорят первые биологические эксперименты, проведенные

на поверхности Марса космическими аппаратами? Все эти и другие сопутствующие вопросы подробно рассмотрены в данной брошюре. Но прежде чем перейти к ним, попытаемся сначала ответить на вопрос, что такое жизнь, каковы ее проявления на самом микроскопическом уровне, изучаемом экзобиологией?

ЧТО ТАКОЕ ЖИЗНЬ

На этот, казалось бы, простой вопрос ответить с полной определенностью пока нельзя, поскольку многие стороны такого уникального явления природы, как жизнь, нам еще неизвестны. Но в то же время мы располагаем на сегодняшний день полным набором признаков, которые позволяют выявить живые организмы и отличить их от неживой материи.

С точки зрения современной биологии живой организм характеризуется внешней и внутренней организацией, ему свойственны движение, реакция на внешние раздражители, рост, процесс обмена веществ (метаболизм). Все эти важные признаки жизни свойственны и неживой природе, которой в известной степени также присущи организация, движение, реакция на раздражение, рост. Поэтому основным признаком всего живого является размножение и изменчивость от поколения к поколению. Неживое же не может размножаться, и нет у него наследственных изменений.

Рассмотрим теперь проявление некоторых наиболее общих особенностей живой материи.

Клетка – единица жизни. Клетка – это наименьшая форма организации живой материи. И животные, и растения, и микроорганизмы обладают клеточной организацией. Человеческий организм, например, состоит из многих миллиардов клеток, объединенных в более крупные элементы – ткани, которые, в свою очередь, составляют еще более высокие по уровню единицы – органы, связанные в одно целое – организм. Но если животные и растения в громадном большинстве своем являются многоклеточными организмами, то мир микроорганизмов представлен, как правило, одноклеточными существами: бактерии, дрожжи, некоторые микроскопические грибы, простейшие и многие водоросли – все это одноклеточные организмы.

Какова же внешняя и внутренняя структура клетки, скажем, бактериальной?

Как и все клетки, она содержит протоплазму (рис. 1), состоящую из цитоплазмы и ядра (относительно бактерий чаще говорят об области ядра). Цитоплазму охватывает цитоплазматическая мембрана, к внешней стороне которой примыкает клеточная стенка, определяющая форму клетки. Большинство палочковидных и спиралевидных бактерий снабжены органами передвижения, называемыми жгутиками.

Главная и наиболее важная функция цитоплазматической мембраны состоит в том, чтобы поддерживать в клетке определенное давление, которое регулирует поступление питательных веществ и выведение продуктов, образующихся в результате биохимической активности клетки (это давление называют осмотическим).

Важным жизненным центром клетки является ядро. Именно оно управляет деятельностью клетки и обеспечивает передачу наследственных особенностей от одного поколения к другому. Ответственность за эту операцию несут молекулы дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК).

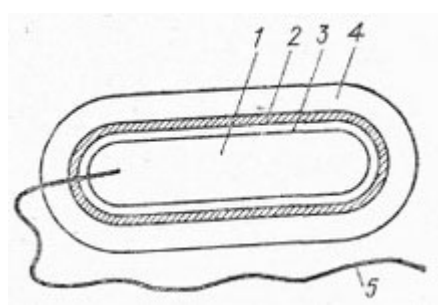


Рис 1. Схематическое изображение бактериальной клетки: 1 – цитоплазма; 2 – клеточная стенка; 3 – цитоплазматическая мембрана; 4 – капсула; 5 – жгуты

Благодаря биофизике – науке, изучающей организм с позиций физических закономерностей, наблюдаемых с помощью привлекаемых для этой цели физических приборов, удалось узнать различные параметры бактериальной клетки. Выяснилось, что ее диаметр равен 0,5 мкм, площадь поверхности – 0,0000000079 см², объем – 0,000000000000065 см³, а масса – 0,000000000000069 г. Три четверти ее массы составляет вода, остальная же часть – сухая биомасса, которая состоит из белков (53%), Сахаров (16%), нуклеиновых кислот (18%), жиров (10%) и некоторых простых соединений (3%). Всего в состав клетки входит около 40 типов структурных элементов. Эта поразительная «компактность» живой системы – одно из наиболее существенных проявлений жизни. Она дает основание предполагать, что столь малые объемы, в которые укладывается очень сложная клеточная организация, носят универсальный характер для любой формы жизни во Вселенной.

Углерод и его соединения – химическая основа жизни. Во Вселенной насчитывается по крайней мере пять основных уровней организации материи. По степени возрастания сложности они располагаются так: 1) элементарные частицы; 2) химические элементы; 3) молекулы; 4) агрегированные химические системы – кристаллы; 5) свёрхупорядоченные органические структуры.

Что касается элементарных частиц, то их универсальность во Вселенной доказана экспериментально. Если говорить об атомном и молекулярном уровнях организации материи, то имеющиеся в настоящее время данные по изучению земной коры, океанов и атмосферы, а также внеземного вещества (лунного грунта, метеоритов) и межзвездного пространства позволяют говорить об универсальности и этих частиц в космическом пространстве: как неорганические, так и органические вещества построены из одинаковых атомов и молекул, независимо от того, являются ли они земными.

Такое сходство органических соединений во многом определяется уникальными свойствами углерода, являющегося их химической основой. Главная особенность углерода состоит в его способности образовывать валентные связи $-C-C-$, которые так же прочны, как и связи с другими элементами. Строение атома углерода позволяет ему реагировать как с электроположительными, так и с электроотрицательными атомами. Атомы углерода образуют не только связи $-C-C-$, но и боковые ответвления, которые обеспечивают высокую реакционную способность и лабильность вещества. Особенностью углерода является и его свойство образовывать кратные связи, т. е. связи атомов, осуществляемые несколькими парами ковалентных электронов. Кратные связи дают возможность органическим соединениям вступать в реакцию присоединения, полимеризации, конденсации и т. д. Благодаря этим и другим свойствам углерод, по-видимому, и является единственным элементом периодической системы Менделеева, способным быть основой всех живых систем.

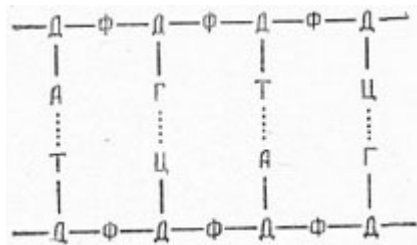
Углерод и другие химические элементы, постоянно присутствующие в живых организмах, называют биогенными (их около 40). Среди них важную роль играют, кроме углерода, водород, азот, сера, фосфор, кислород, калий, хлор, магний, натрий и кальций, на долю которых приходится 99,9% сухой биомассы клетки. Среди остальных биогенных элементов следует отметить железо, медь, марганец, кобальт, бром, йод, фтор, бор, кремний, литий, рубидий и стронций.

В цитоплазме микробов содержатся образования, называемые рибосомами, которые являются центрами синтеза белка, выполняющего в клетке самые разнообразные функции. Прежде всего, белки являются структурными элементами клеток; кроме того, они выполняют роль биохимических катализаторов (в этом случае их называют ферментами), которые обуславливают, направляют и ускоряют почти все химические реакции, происходящие в живой природе.

При исследовании химической структуры белков выяснилось, что основными структурными единицами их макромолекул являются аминокислоты. Интересно отметить, что в состав белков в различных комбинациях входит всего только 20 аминокислот. Но поскольку число сочетаний из 20 очень велико, то не удивительно то многообразие структуры и связанных с ней функций различных белков, наблюдаемое в природе.

В живой природе мы находим и другую группу очень важных полимерных соединений, называемых нуклеиновыми кислотами. Макромолекулы нуклеиновых кислот могут быть двух типов: уже упоминаемая нами дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК) и рибонуклеиновая кислота (РНК). ДНК находится в ядре клетки (РНК встречается и в цитоплазме) и представляет собой длинную макромолекулу, основными структурными элементами которой являются нуклеотиды. Каждый нуклеотид, в свою очередь, разделяется на три элемента: органическое основание, углевод и фосфорная кислота. Углевод дезоксирибоза (Д) и фосфорная кислота (Ф) во всех нуклеотидах одинаковы, но органических оснований несколько: аденин (А), тимин (Т), гуанин (Г) и цитозин (Ц).

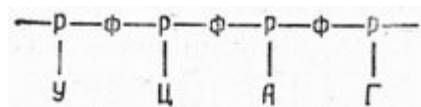
Внутреннюю организацию молекулы ДНК можно изобразить следующей схемой:



Как видно из схемы, молекула ДНК состоит из двух цепей, связанных между собой через основания с помощью так называемых водородных мостиков. В пространственном отношении обе цепи могут охватить воображаемый цилиндр так, что их основания все время будут оказываться друг против друга. Такое построение молекулы называют по предложению Дж. Уотсона и Ф. Крика «моделью двойной спирали ДНК».

РНК отличается от ДНК тремя особенностями (рис. 2): вместо углевода дезоксирибозы здесь содержится близкий к нему углевод рибоза (Р), вместо тимина (Т), присутствующего только в ДНК, имеется урацил (У) и, наконец, в отличие от ДНК, которая в структурном отношении представляет собой двойную цепь, РНК напоминает просто длинную цепь (нуклеотиды в ней расположены последовательно в ряд).

Часть молекулы РНК можно изобразить в виде следующей схемы:



, где Ф – остаток фосфорной кислоты.

Вода – биологический растворитель. По сегодняшним научным представлениям жизнь на Земле возникла в океане путем формирования сложноорганизованных систем органических соединений. Современные теории биохимии указывают, что любая форма жизни вообще невозможна без присутствия жидкой среды. Только в ней может осуществляться весь комплекс химических и биологических процессов, которые мы называем жизнью.

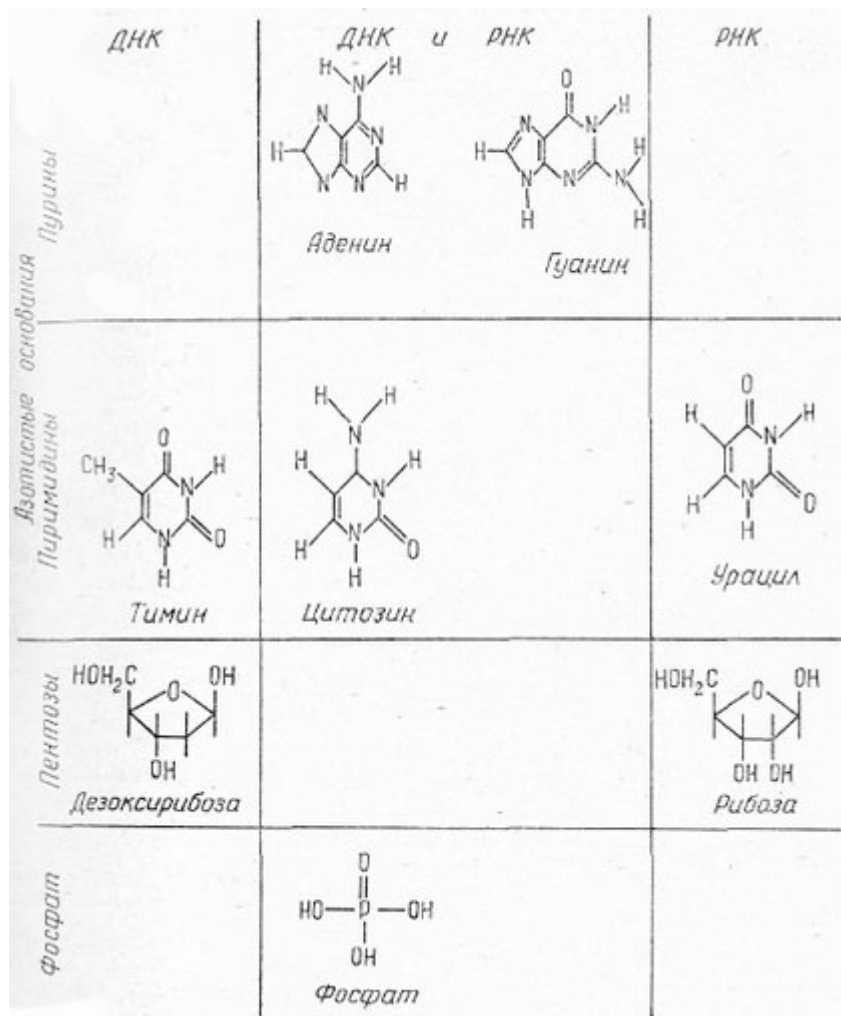


Рис. 2. Структурные элементы, из которых построены ДНК и РНК

Жидкая вода как раз и является внутренней средой любой живой клетки земных организмов. Все они, таким образом, являются водными существами, требующими достаточного количества влаги для ввода субстратов внутрь клетки, для внутриклеточного метаболизма, для вывода токсичных продуктов и для процессов, связанных с ростом и размножением микроорганизмов.

Иначе говоря, вода является основным биологическим растворителем, чему способствуют, по-видимому, такие ее характерные особенности, как возможность медленно нагреваться и остывать, наличие у нее низкой теплопроводности и высокого значения скрытой теплоты переходов из твердого состояния в жидкое, а затем и в парообразное, способность к диссоциации (распаду на заряженные атомы – ионы) и т. д.

Все эти свойства жидкой воды позволяют живым организмам приспосабливаться к окружающим средам и регулировать свой обмен в зависимости от внешней температуры, обеспеченности питательными веществами и других факторов.

Асимметрия живого. Как отмечал еще Л. Пастер, характерным признаком живой материи является асимметрия органических молекул и связанная с этим оптическая их активность (правда, он неверно при этом предполагал, что это свойство не характерно для неживой материи). Асимметрия наблюдается только в том случае, если атом углерода в органической молекуле связан с четырьмя другими разными атомами или группами атомов. При этом возможны две пространственные конфигурации, которые относятся друг к другу, как предмет к своему зеркальному отражению. Один из таких изомеров вращает плоскость поляризованного света в правую

сторону, другой – в левую. Такие соединения называются оптическими изомерами (рис. 3).

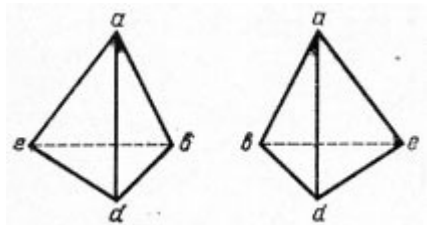


Рис. 3. Типичный пример двух оптических антиподов. Когда у углеродного атома все четыре заместителя различны, возникают оптические антиподы, которые нельзя совместить в пространстве

Смесь, состоящая из равных (эквивалентных) частей правовращающих и левовращающих изомеров, называется рацемической смесью, или рацематом. В отличие от изомеров сам рацемат является оптически неактивным веществом, поскольку вращение плоскости поляризованного света, обусловленное одним изомером, точно компенсируется противоположным вращением другого изомера.

Те органические молекулы, которые создаются живыми организмами (вещества клеток и продукты метаболизма) и которые имеют асимметрический вид, всегда находятся в природе в оптически активном состоянии. Это касается не только мономерных единиц, но и полимеров, полисахаридов и т. д. Легко заметить, что это свойство присуще цепям ДНК, рассмотренным нами ранее.

Признак асимметрии является, таким образом, всеобщим, а обнаружение оптической активности считается одним из наиболее вероятных методов поиска жизни на других планетах, и обнаружение оптически активных веществ во внеземных образцах может быть весомым аргументом в пользу существования жизни на данной планете. Подобный эксперимент может быть осуществлен с помощью метода поляриметрии (об этом методе более подробно будет сказано дальше).

Однако необходимо учесть, что успехи космохимии указывают на возможность образования в природе оптически активных веществ и в результате небиологических процессов (тем самым неверно предположение Пастера относительно исключительности этого свойства). Таким образом, в отрыве от других данных обнаружение оптически активных веществ нельзя рассматривать как бесспорное доказательство внеземной жизни.

Рост и размножение клеток. Основным свойством микроорганизмов, как и всего живого, является способность к размножению.

Клетки могут расти, однако их рост не безграничен, он останавливается при достижении определенного предела, а далее они размножаются путем деления. При росте в определенный момент материнская клетка делится на две дочерние. Вырастая, они также делятся, и в результате образуется четыре клетки (рис. 4), затем восемь, шестнадцать и т. д. Подобно человеку и животным, клетки, возникшие из одной материнской, представляют собой уже новое поколение. Независимо от размеров, морфологии, уровня организации различных представителей живой природы всем им присуще единое, универсальное свойство – способность производить потомство. Эта особенность живой материи носит, по-видимому, универсальный характер.

Процесс размножения микроорганизмов можно наглядно изобразить графически в виде так называемой кривой роста. Если на оси абсцисс отложить период времени, а по оси ординат – логарифм количества клеток, то кривая будет иметь вид, представленный на рис. 5. При «посеве» бактерий на свежую питательную среду они приспосабливаются к новым условиям и первое время не размножаются (этот период принято называть лаг-фазой). После него следует фаза быстрого размножения с логарифмической зависимостью числа клеток от времени выращивания, что описывается экспоненциальной кривой. В связи с этим такая часть кривой роста называется логарифмической фазой, или лог-фазой.

Постепенно, однако, питательные вещества убывают, накапливаются продукты обмена (метаболизма), что ведет к торможению размножения бактерий: они вступают в стационарную фазу. Затем они начинают отмирать и распадаться, и кривая роста входит в фазу отмирания.



Рис. 4. Процесс деления бактериальной клетки путем образования поперечной перегородки

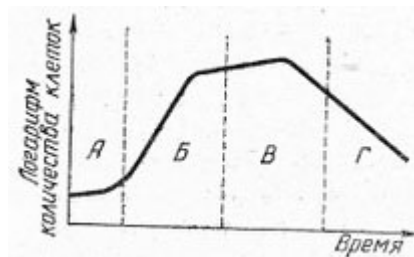


Рис. 5. Кривая роста для бактерий: А – лаг-фаза; Б – лог-фаза; В – стационарная фаза; Г – фаза отмирания

В конечном счете в задачу биологического исследования грунта другой планеты входит получение кривой роста микроорганизмов, которые могут в нем присутствовать.

Передача наследственных признаков. В момент деления в ядре клетки формируются материальные носители наследственных признаков – хромосомы, которые у всех организмов состоят из дезоксирибонуклеиновых кислот (ДНК). Определенный участок молекулы ДНК соответствует только одному гену. Специфическая информация, содержащаяся в гене, определяется последовательностью оснований в цепи ДНК (аденина, гуанина, тимина и типозина) и в дальнейших поколениях сохраняется. Таким образом, в молекуле ДНК «зашифрован» процесс синтеза белков из 20 различных аминокислот. Сохранение специфических свойств, т. е. постоянство признаков на протяжении ряда поколений, называют наследственностью. Изучением передачи признаков и закономерностей наследования занимается генетика.

Таким образом, наряду с другими критериями жизни (ролью углерода как химической основы живых систем, воды как основного биологического растворителя, явлением асимметрии молекул и организмов и т. д.) современная биология ставит вопрос и об универсальности в космическом масштабе такого важного свойства жизни, как существование нуклеиновых кислот – хранителей наследственной информации.

Возможна ли другая химическая основа жизни? Этот вопрос возник после того, как стало очевидным, что физические условия на других планетах (см. далее) резко отличаются от земных. В первую очередь это относится к таким параметрам, как температура, давление, состав атмосферы, содержание воды и т. д. Отсюда возникло предположение об уникальности биологической эволюции на различных небесных телах и, как следствие, возможное отсутствие полного подобия их организмов земным.

Рассмотрим возможные варианты таких форм внеземной жизни, приняв за основной ограничивающий фактор, например, температуру. Известно, что активная жизнь ограничена пределами температур, внутри которых водные растворы остаются жидкими. Нижняя граница для водно-белково-нуклеиновой жизни в «скрытой» форме, как оказалось, может простирается практически до абсолютного нуля, в то время как при высоких температурах большинство органических веществ (белки, углеводы, липиды и т. д.) разлагаются.

Существуют и химические ограничения на элемент, который может вместо углерода стать химической основой жизни: и по-видимому, этот элемент должен обладать рядом свойств, сближающих его с углеродом. В этом смысле выбор ограничивается бором, кремнием, азотом, фосфором и в некоторой степени серой. Наибольшее внимание здесь заслуживает кремний, так как уже получены разнообразные кремниевые полимеры в соединениях с азотом, фосфором, углеродом (в частности, их свойства свидетельствуют о том, что кремний может быть заменителем углерода как цепочкообразующий элемент органической системы). Было выдвинуто предположение, что «кремниевая жизнь» возможна при высоких температурах (до 1000°C) и высоких давлениях. Растворителями, образующими физиологические жидкости в таких условиях, могут быть безводная серная кислота, трисульфид фосфора и другие продукты.

В случае низких температур основой жизни могут быть углеродистые вещества. Однако в таких условиях вода уже не пригодна в качестве растворителя, хотя ее и может заменить аммиак, способный растворять большое количество разнообразных соединений. На основе аммиака построены схемы реакций, которые приводят к получению полной аналогии белков, пептидных связей и других жизненно необходимых соединений.

Существуют также модели гипотетических обитателей далеких миров, основой тела которых могут быть германий, бор, фосфор, а в качестве биологических жидкостей – сернистый ангидрид, синильная кислота, плавиковая кислота или жидкий фтор. Такие гипотезы, безусловно, заслуживают определенного внимания. Однако необходимо подчеркнуть, что, не опровергая в принципе возможности существования где-либо во Вселенной жизни, основанной на соединениях, отличных от органических (т. е. углеродных), наши знания в этой области ограничены земными представлениями. Всякие же предположения, не подкрепленные экспериментальными данными, носят чисто умозрительный характер и на данном этапе развития наших знаний не могут быть основополагающими для разработки стратегии поиска внеземной жизни. Большинство исследователей, например, сходятся на том, что в пределах Солнечной системы иная химическая основа жизни исключается. Поэтому усилия специалистов сосредоточены на выработке такой стратегии поиска внеземной жизни, которая бы основывалась на представлениях о жизни как водно-белково-нуклеиновой системы.

Организм как открытая термодинамическая система. В последние годы предпринимаются попытки объяснить процессы и явления жизни с точки зрения законов термодинамики. Известно, что по отношению к окружающей среде все системы делятся на изолированные (у которых отсутствует обмен энергией и веществом с внешней средой), закрытые (обменивающиеся с внешней средой только энергией) и открытые (осуществляющие энергетический и вещественный обмен со средой). Изолированные и закрытые системы относятся к замкнутым системам, так как в них сохраняется постоянным общее количество массы. Все живые организмы относятся к открытым системам, поскольку непрерывный обмен энергией и веществом является необходимым условием жизни. Живой организм нуждается в непрерывном притоке свежего питательного вещества, которое необходимо для обновления структурных элементов клетки, для накопления энергии, расходуемой для совершения различных функций организма: движения, процессов размножения, поглощения источников питания, выделения отходов жизнедеятельности и т. д. Поэтому живой организм постоянно находится в состоянии обмена веществом и энергией с окружающей средой. Прекращение способности организма к обмену (к метаболизму) означает его смерть.

Живая материя тесно связана с физическим миром, составляя его неотъемлемую часть. Поэтому многие закономерности и процессы, в нем происходящие, находят отражение и в живой материи. Но преломление таких процессов в живой материи носит специфический характер. Это, в частности, относится к характеру действия законов термодинамики.

Не вдаваясь подробно в вопросы теоретической биологии, на вопрос, стоящий в заглавии раздела, можно ответить следующим образом. Жизнь мы можем определить как термодинамическую открытую систему, способную запасать и преобразовывать энергию, осуществлять синтез биологически важных молекул, размножаться, производить механические движения, сохранять постоянство во внутриклеточных процессах при изменении состояния внешней среды.

Несомненно, что с прогрессом наших знаний о механизмах жизненных процессов понятие «жизнь» будет все более обогащаться и становиться все более полным.

О ПРОИСХОЖДЕНИИ ЖИЗНИ НА ЗЕМЛЕ

Обнаружение жизни вне Земли является главной задачей экзобиологии. Мы пока знаем единственный пример существования жизни – это жизнь на Земле. В космическом плане земная жизнь представляет собой сравнительно новое явление: длительность ее существования оценивается «всего» в 3 и 4 млрд. лет. Возраст самой Земли больше – 5 – 6 млрд. лет, а возраст Солнечной системы еще больше – 10 млрд. лет.

Трудность познания возможных путей возникновения живой материи на других планетах осложняется тем, что нам до сих пор не ясны многие процессы, приведшие к происхождению жизни на самой Земле. Если бы мы знали, как возникла жизнь на Земле, то тогда можно было бы доказать, что то сочетание событий, которое привело к возникновению жизни на Земле, могло повториться на других планетах. Именно это обстоятельство оказывается основной причиной того, что в число вопросов, рассматриваемых экзобиологией, включены и проблемы происхождения жизни на Земле.

Вплоть до XX в. начиная со времен Аристотеля существовало убеждение в возможности зарождения лягушек, мышей, червей и прочих организмов по существующим «рецептам» из настоев, мусора, ила и т. д.

Нелепость подобных представлений очевидна, и не удивительно, что они вызывали резкую критику со стороны передовых ученых прошлого. Однако, несмотря на эту критику, «теория самопроизвольного зарождения» возродилась, но уже в другом виде. После создания голландским натуралистом А. ван Левенгуком первого микроскопа ему удалось «проникнуть» в невидимый до тех пор мир мельчайших микроорганизмов. Разнообразные по размерам и внешнему виду и неприхотливые в источниках питания, они обнаруживаются повсюду. Опыты, проведенные многими учеными после открытия Левенгука, казалось бы, подтверждали гипотезу о «самопроизвольном зарождении» микроорганизмов, так как те обнаруживались там, где находились

питательные вещества. Они заполняли жидкости, находившиеся в открытых сосудах, вызывали порчу продуктов и т. д.

В 1862 г. Л. Пастером были опубликованы результаты его исследований, касающихся проблемы «самопроизвольного зарождения». При этом Пастер руководствовался только экспериментальным методом, который он очень высоко ценил. Пользуясь круглыми баллонами с оттянутой шейкой, Пастер кипятил содержащийся в них раствор сахара или другие настои и, запаивая баллоны, убеждался в том, что жидкость остается стерильной. Лишь при вскрытии этих баллонов содержащаяся в них жидкость вновь могла «зарасти» микробами (в результате «заражения» микроорганизмами воздуха). Пастер, таким образом, впервые показал, что условия, в которых возникла жизнь, ничего общего не имеют с колбами, заполненными питательными веществами. Механизм появления живых существ на нашей Земле должен быть иным.

Однако, отвергнув «теорию о самопроизвольном зарождении», Пастер не смог выдвинуть строго научной теории возникновения живых существ. Многие другие ученые XIX в. также не видели путей решения проблемы происхождения жизни.

Долгие годы, например, выдвигалась, опровергалась и вновь возрождалась теория возникновения жизни на Земле путем так называемой панспермии. Еще в середине XVII в. А. Кирхер предположил, что зародыши жизни рассеяны «в хаосе и во всех элементах». Само слово «панспермия» было использовано еще впервые греческим философом Анаксагором, который предполагал, что разнообразные живые существа возникают из ила при оплодотворении его рассеянными повсюду «эфирными зародышами» («сперматом»). В 1865 г. было высказано предположение, что микробы законсервированы в теле метеоритов. Падая на Землю, метеориты доставляют на нашу планету и микроорганизмы. Последующие сообщения, казалось бы, подтверждали это предположение.

В 1932 г. У. Липман опубликовал данные о выделении им из метеоритов разнообразных микроорганизмов, способных развиваться на питательных средах. Однако тот факт, что эти микробы оказались полностью идентичными земным, вызвало со стороны микробиологов предположение, что метеориты при их контакте с земной поверхностью «заражаются» земной микрофлорой. Еще через 30 лет группа американских ученых сообщила об обнаружении в некоторых метеоритах микроструктур, напоминающих клетки микроорганизмов. Но вскоре было показано, что эти структурированные элементы не являются остатками микроорганизмов, а представляют собой минеральные гранулы. Таким образом, все попытки обнаружить микробы в метеоритах оказались неудачными.

Вторая «теория панспермии» была предложена шведским физико-химиком С. Аррениусом, который наивно полагал, что с других планет, в частности с Венеры, когда она находится на минимальном расстоянии от Земли, зародыши жизни (различные микроорганизмы) под действием давления света переходят на Землю.

Однако ошибочность таких предположений очевидна. Во-первых, сейчас стало ясно, что на Венере, по всей вероятности, микроорганизмы отсутствуют. А во-вторых, пользуясь выражением академика А. А. Имшенецкого, «теория панспермии» не приемлема для действительного понимания существа проблемы хотя бы потому, что она лишь «переносит решение этого вопроса с Земли на другую планету... Идеалистическая сущность этой теории в том, что она, считая жизнь вечной, не пытается даже поставить вопрос, как появилась жизнь».

Теория происхождения жизни на Земле А. И. Опарина. Развитие биологии и смежных с ней областей, появление новых теорий и методов позволили накопить обширные данные о микроорганизмах и их свойствах, о химии клетки. Это привело к формированию действительно верных воззрений по вопросу о сущности жизни.

В 1924 г. академик А. И. Опарин опубликовал свою теорию возникновения и развития жизни. Каковы же ее основные положения?

Используя диалектический материалистический подход к данной проблеме, А. И. Опарин отмечал, что материя находится в постоянном движении и изменении, в постоянном развитии, причем это развитие носит поступательный, односторонне направленный процесс. Результатом такого процесса является формирование все более и более совершенных объектов действительности, наделенных качественно новыми, все более сложными и многообразными формами организации и движения.

Жизнь и является одной из таких сложных и совершенных форм движения, которая могла возникнуть лишь на определенном этапе в процессе длительного развития планеты. Успехи современного естествознания, богатый фактический материал, которым располагают сейчас астрономия, физика, геология, химия, биология, позволяют нам мысленно восстановить картину происхождения первых организмов на Земле, наметить те возможные этапы, которые вели к этому.

Первым этапом, который привел к возникновению живой природы, явилось формирование предбиологических систем, которые обладали многим набором органических веществ, характерным для клетки, но не были способны самостоятельно осуществлять процессы обмена с окружающей средой (метаболизм). Общепризнанно теперь, что создание предбиологических систем явилось результатом так называемой химической эволюции – процесса поступательного превращения простых химических соединений во все более и более сложные. Начальным этапом химической эволюции явился синтез органических соединений из простых веществ, присутствовавших в примитивной атмосфере Земли. Источниками энергии, необходимой для синтезов органических соединений, могли быть ультрафиолетовое излучение Солнца, электрические разряды,

ионизирующее и тепловое излучение Солнца, тепловая энергия вулканического происхождения, радиоактивного распада и т. д.

На первой стадии химической эволюции, которую Дж. Бернал называет «от атома до молекулы», произошло формирование промежуточных органических молекул из таких неорганических соединений, как вода, метан, аммиак. Эти молекулы (углеродные и азотистые соединения типа аминокислот, аденин, сахар и т. д.) попадали в океан, покрывающий тогда Землю, составляя так называемый «первичный бульон». Следующая стадия – «от мономера до полимера» – соответствовала усложнению молекул, образованных на первой стадии, до полимерных, более сложных соединений (за счет большого разнообразия химических реакций, происходивших в «первичном бульоне»). Результатом этого явилось возникновение динамической организации, фактически той предбиологической системы, о которой мы упоминали.

Реальность осуществления данных процессов доказана экспериментально. Во-первых, исследования радиоастрономов показали, что в различных частях Вселенной обнаруживаются разнообразные органические соединения, образованные в результате воздействия многочисленных факторов межзвездной среды: взрывов, радиации, электрических разрядов и т. д. Во-вторых, в современной лаборатории удастся воспроизвести условия, близкие к существовавшим на Земле в начальный период ее эволюции. Если в такие условия поместить простые неорганические вещества, то в результате воздействия факторов, которые упоминались выше, можно получить сложные органические соединения, вплоть до составных частей белков, нуклеиновых кислот и других важных в биологическом отношении соединений.

Но каким бы ни было сложным органическое соединение, до превращения его в живое существо еще очень далеко. И именно стадия перехода от сложных предбиологических систем в биологические является предметом усиленных поисков ученых.

А. И. Опариным и его сотрудниками, а также учеными других стран проведены блестящие эксперименты по изучению водных растворов высокополимерных органических веществ, широко распространенных в природе. Учеными показано, что в таких растворах часто обнаруживается интересное явление, когда различные полимерные соединения объединяются между собой в целые молекулярные «рои», которые можно выделить и рассмотреть под микроскопом. Такие образования, называемые «коацерватными каплями», могут быть, например, получены из двух компонентов: белка и полиглюкозида (полимерного сахара), белка и нуклеиновой кислоты, двух различных белков и т. д. В такие структуры включаются также и другие соединения, находящиеся в растворе.

Однако образование «коацерватной капли» и ее способность концентрировать в себе вещества окружающего раствора еще не могут в какой-либо мере служить моделью живой системы. Но тем не менее они могут и могли служить основой, на которой в дальнейшем формировалась открытая термодинамическая система, обладающая способностью обмениваться веществом и энергией с окружающей средой. Уже сейчас показано, что если в «коацерватную каплю», состоящую из полиглюкозида и особого белка, называемого гистоном, ввести соответствующий катализатор, а в окружающий раствор – фосфорное соединение глюкозы (глюкозо-1-фосфат), то в «коацерватной капле» начинает образовываться крахмал (а это приводит к ее росту).

Таким образом, есть все основания полагать, что дальнейшая эволюция «коацерватных капель» приводила к возникновению систем, которые по своей организации были более сложны, чем сами «коацерватные капли», но несравненно проще, чем живые клетки. Эти системы ученые называют протобионтами. Они были способны за счет веществ и энергии «первичного бульона» увеличивать свою массу, расти. Под влиянием внешних механических сил (например, ударных волн или океанского прибоя) протобионты должны были дробиться наподобие капель эмульсии при ее встряхивании. Часть осколков при этом лишалась способности к дальнейшему развитию и «выключалась» из цепи последующей эволюции. Другая часть сохранялась и все более совершенствовалась.

Такое совершенствование, по-видимому, в большой степени касалось систем катализаторов, включенных в них. Именно эта трансформация элементарных неорганических и органических соединений в конечном счете привела к возникновению белковых ферментов, деятельность которых контролировалась нуклеиновыми кислотами.

Прошли сотни миллионов лет (в течение которых начальные условия на нашей планете в значительной степени изменились), прежде чем предбиологическая эволюция привела к появлению первых организмов.

В настоящее время еще не ясны все стороны процесса эволюции протобионтов в живые существа. Однако совершенно очевидно, что подобный путь эволюции предбиологических систем вполне реален и он вполне мог привести к возникновению первых живых существ на нашей планете.

Теория происхождения жизни на Земле, как видно из приведенного материала, отвергает как ненаучную концепцию об исключительности Земли как «колыбели жизни». Везде, где возможно существование подобных условий, жизнь должна возникнуть как закономерный итог эволюции материи.

БИОСФЕРА – ПРОДУКТ ЖИЗНИ

В реальной обстановке жизнь нам известна только как неразрывная и составная часть биосферы. Так называют оболочку Земли, состав, структура и энергетика которой обусловлены деятельностью живых

микроорганизмов. Иначе говоря, если жизнь представляет собой наиболее существенное свойство биосферы, то биосфера – продукт жизни.

Сразу же после возникновения первых живых организмов на Земле началось глубокое и длительное влияние их деятельности на среду своего обитания. Во всех процессах, происходящих в биосфере, активная роль принадлежит микроорганизмам. Есть все основания полагать, что микроорганизмы занимают всю область биосферы, поскольку они исключительно устойчивы к неблагоприятным для них физическим и химическим факторам окружающей среды.

В последние годы накоплены обширные сведения о распространенности микроорганизмов на Земле. В 1951 г. академик Б. Л. Исаченко сообщил об обнаруженных им так называемых пурпурных бактериях в нефтеносных слоях Земли на глубине 1700 м. В донных осадках открытых областей Мирового океана число гетеротрофных (т. е. питающихся органическими соединениями) бактерий колеблется от нескольких десятков до нескольких тысяч и десятков тысяч. В Курило-Камчатской впадине Тихого океана, являющейся одной из самых глубоких на Земле, число микроорганизмов составляет несколько десятков клеток в 1 мл воды.

Гораздо сложнее было определить степень распространенности микроорганизмов в верхних слоях атмосферы. До недавнего времени считалось даже, что они существуют не выше 20 км от поверхности Земли. Но вот в 1975 г. группой: научных сотрудников Института микробиологии АН СССР во главе с академиком А. А. Имшенецким были осуществлены эксперименты по поиску микроорганизмов в стратосфере до высот 85 км. При помощи научной аппаратуры, размещенной в головной части метеорологической ракеты, были впервые взяты для микробиологического анализа пробы воздуха на высоте 48 – 85 км. Обнаружение в результате этого анализа микроскопических грибов и бактерий экспериментально подтвердило глубокое проникновение микроскопических форм жизни на большие высоты.

Рассмотрим теперь более подробно свойства биосферы.

Пределы жизни микроорганизмов. Вопрос о границах биосферы тесно связан с предельной адаптацией (приспособлением) организмов к экстремальным условиям. К этим условиям следует отнести и те, которые имеются на других планетах, в открытом космосе и к которым земные организмы в обычных условиях явно не приспособлены. Например, на Марсе эти условия характеризуются низким барометрическим давлением (около 5 – 7 мбар), наличием цикла замораживание – оттаивание (при изменении температуры от –100 до +10 – 15°C), действием мощного ультрафиолетового излучения, высокой интенсивностью ионизирующей радиации, отсутствием в атмосфере и грунте планеты достаточных запасов жидкой воды и т. д. Каждый из этих факторов сам по себе способен вызвать многие необратимые изменения в структуре и функциях высокоорганизованных живых систем, но еще более губительным для них является суммарное воздействие всех этих факторов.

Могут ли и в какой степени микроорганизмы приспособиться к таким жестким условиям среды обитания? Чтобы ответить на этот вопрос, обратимся к данным, которыми располагает экология – наука, изучающая, в частности, взаимоотношение живых существ и окружающих их условий. Но прежде всего отметим, что экологические условия на Земле обуславливают существование микроорганизмов в горячих источниках и на поверхности ледников, на дне океанов и в высоких слоях атмосферы, в кислотных и щелочных средах. Микробы обнаруживают даже в отходах атомных реакторов, где интенсивность радиации в 2000 раз превышает дозу, смертельно опасную для человека.

Реакция микроорганизмов на понижение температуры. В настоящее время все микроорганизмы по их реакции на температуру принято разделять на три группы: психрофильные (холодолюбивые), мезофильные (предпочитающие средние температуры) и термофильные (теплолюбивые). Но каков нижний предел температуры для психрофильных микроорганизмов?

Обширные исследования, проведенные учеными у нас в стране и за рубежом, показали, что даже почвы Антарктиды заселены микроорганизмами, хотя плотность их там не высока. Предполагавшееся ранее наличие в Антарктиде так называемых «стерильных» районов сейчас полностью отвергнуто результатами анализа образцов грунта этих районов, проведенного при помощи самых современных микробиологических методов.

Возникает вопрос, каковы возможные механизмы сохранения жизнеспособности микробов при столь низких температурах?

Высказывалось, в частности, предположение, что внутри клетки может происходить подъем температуры за счет поглощения ультрафиолетовых лучей. Приспособительными реакциями на понижение температуры могут быть: дегидратация (уменьшение количества свободной воды), накопление жиров, увеличение осмотического давления. Все эти способы приспособления организмов к низким температурам доказаны экспериментально. Характерно, что и высшие растения после воздействия на них низких температур (близких даже к абсолютному нулю) сохраняли свою жизнеспособность.

Данные по микробиологии Антарктиды и модельные эксперименты позволяют высказать некоторые суждения о возможности распространения микроорганизмов на Марсе. Микробная жизнь на Марсе может быть распределена там неравномерно, концентрируясь вокруг скоплений влаги, наличия питания, областей, благоприятных по температурным и другим условиям. По мере удаления от подобных «оазисов» рассеяние возможных микроорганизмов должно возрастать, достигая предела в максимально жестких условиях среды обитания.

В условиях Марса действие низких температур может в значительной степени сглаживаться низким барометрическим давлением. Известно, что давление на поверхности Марса составляет всего 5 – 7 мбар. В этом случае таяние льда будет происходить при температурах приблизительно от –5 до 0°C. Ниже этого предела вода будет находиться в твердом состоянии, выше – в парообразном.

Таким образом, мы подходим к основному выводу о влиянии низких температур на организм: в конечном счете пределы существования микроорганизмов при низких температурах связаны с наличием на планете воды, поскольку активная жизнь возможна лишь в жидкой среде.

Реакция микроорганизмов на нагревание. Где же находится верхний предел температур, при которых еще возможно существование микроорганизмов? Этот вопрос вызывает особый интерес при рассмотрении проблемы наличия водно-белково-нуклеиновой жизни на таких планетах, как Венера.

Обычно бактерии погибают при длительном нагревании до точки кипения воды. Но еще в 1955 г. член-корреспондент АН СССР С. И. Кузнецов обнаружил в термальных водах вулкана Кошелева, Паужетки и в некоторых гейзерах Камчатки живые микроорганизмы при температуре 90 – 95°C. Об аналогичных фактах сообщают и другие исследователи.

Некоторые из палочковидных бактерий при особых условиях образуют в своих клетках шаровидные или овальные тельца, называемые спорами (бактерии, образующие споры, называются бациллами). Эти споры, как оказалось, способны переносить такие неблагоприятные для них условия, как нагревание или высушивание.. Спорообразующие микроорганизмы выдерживают стерилизацию при температуре до 160°C. Однако, по-видимому, планета, на которой преобладают температуры: выше 100°C, вряд ли может быть обитаемой. Таким образом, если микроорганизмы могут существовать практически при любой низкой температуре, при достаточно высоких температурах большинство органических соединений, составляющих основу тела микроорганизмов, разрушается.

В научной литературе обсуждаются возможные внутриклеточные механизмы, позволяющие микроорганизмам сохранять свою жизнеспособность при повышенных температурах. Возможно, что на «горячих планетах» микроорганизмы осуществляют функции жизнедеятельности лишь в ночное время, когда температура значительно ниже дневной, а внутри клеток – выше окружающей. В дневное время при высоких температурах микроорганизм может находиться в состоянии анабиоза (покоя). Однако каким образом в это время сохраняется в нативном (неизменном) состоянии белок – неизвестно.

Возможно также охлаждение клетки путем поглощения ею жидкости в период пониженных температур и последующего испарения при повышении температуры в дневное время. Однако этот механизм может действовать лишь при низкой влажности. В отсутствие влаги активная жизнь невозможна.

О существовании микроорганизмов при недостатке влаги. Результаты космических исследований планет Солнечной системы показывают, что на многих из них отсутствуют значительные запасы жидкой воды. Поэтому вопрос о возможности существования микроорганизмов в условиях с недостатком воды приобретает важное теоретическое и практическое значение для экзобиологии. Особый интерес представляет для ученых изучение микроорганизмов, живущих в пустынных почвах. Эти исследования позволили накопить обширные данные о механизмах адаптации почвенных микроорганизмов таких жарких пустынь, как Сахара, Каракумы, Нубийской и других районов, где, казалось бы, невозможно существование ничего живого. Однако при: помощи современных методов микробиологии удалось выявить в раскаленных песках и каменистых нагорьях разнообразные по морфологии и физиологии микроорганизмы, названные учеными ксерофитами. Эти микроорганизмы могут расти и размножаться в условиях, когда содержание воды в окружающей среде составляет всего 45% относительной влажности. Таким образом, было доказано, что микроорганизмы могут участвовать в метаболических процессах, находясь в чрезвычайно сухих условиях.

В основе жизнедеятельности ксерофитов лежат особенности их внутриклеточных механизмов: высокое осмотическое давление, способность накапливать при благоприятных условиях, а при неблагоприятных удерживать необходимые запасы воды в клетке, способность перехода в состояние анабиоза (покоя).

Конечно, не исключена возможность, что эволюция организмов на других планетах породила и другие специфические механизмы их адаптации к условиям с пониженной влажностью. Что же касается вероятных марсианских микроорганизмов, то, по мнению ряда ученых, они могли бы обладать способностью извлекать воду из грунта или льда.

Кроме перечисленных выше факторов, сильно влияющих на микроорганизмы, представляет интерес для экзобиологии и еще один – химический состав окружающей среды («атмосферы»). Реакция микроорганизмов на этот состав, или, как еще говорят, «реакция среды» (pH), определяется следующим образом. Если основания создают при этой реакции щелочной характер среды, то принимают, что $pH > 7$, если среда становится кислой – $pH < 7$ (при $pH = 7$ среда называется нейтральной).

Рассмотрим теперь данные, полученные при помощи специальных камер, моделирующих в лабораторных условиях климатические особенности других планет, что стало важным шагом в развитии наших представлений о возможном характере жизни на планетах Солнечной системы.

«ИСКУССТВЕННЫЕ ПЛАНЕТЫ»

Большое значение для правильного понимания воздействия экстремальных условий на микроорганизмы имеют лабораторные исследования в камерах «искусственный Марс». Одна из таких камер, имеющаяся в Институте микробиологии АН СССР (рис. 6), позволяет моделировать следующие параметры планеты: определенный состав атмосферы, барометрическое давление, влажность грунта, температуру. При использовании этой камеры было получено, что при одновременном воздействии на микроорганизмы колебаний температуры от -60 до $+25^{\circ}\text{C}$, давления 9 мбар, влажности 3,8% и при составе «атмосферы», состоящей из 80% CO_2 и 20% азота, наиболее устойчивым оказался олигонитрофильный микроорганизм, выделенный из почвы о. Диксон. Ксерофитные и солетолерантные (устойчивые к действию больших концентраций солей) микроорганизмы, выделенные из почв пустыни Каракумы, также являются жизнестойкими по отношению к условиям, которые создаются в этой камере. Интересно, что при помещении организмов в условия низких давлений (до 9 мбар), они быстро адаптируются к этому фактору, сохраняя свою жизнеспособность и после окончания такого воздействия. Отметим, что пониженное давление обуславливает снижение точки кипения воды, которая может переходить в пар при температурах от 0 до $+5^{\circ}\text{C}$.

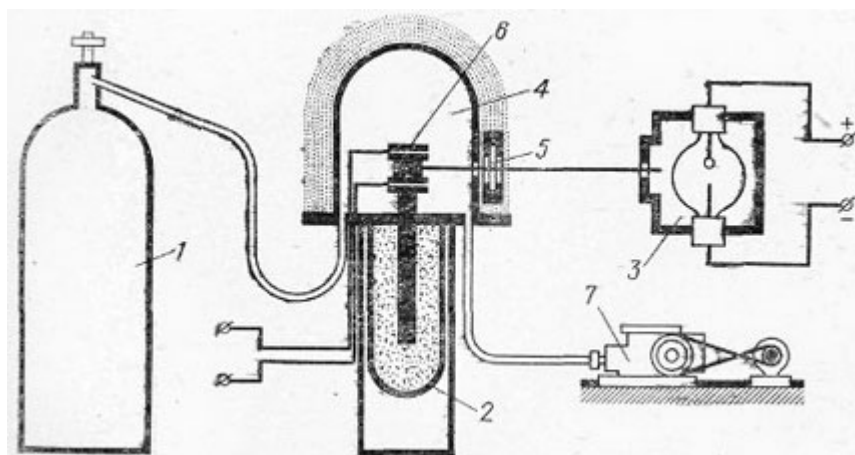


Рис. 6. Схематическое изображение камеры «искусственный Марс»: 1 – баллон с газовой смесью; 2 – сосуд с охлаждающей смесью; 3 – лампа, дающая ультрафиолетовое излучение; 4 – камера для исследуемых микроорганизмов; 5 – окно для входящих ультрафиолетовых лучей; 6 – нагревательный элемент; 7 – насос

Фактором, который может в максимальной степени препятствовать росту и размножению микроорганизмов, является радиация. Довольно сильное магнитное поле Земли и ее мощный озоновый «экран» защищают поверхность нашей планеты от губительных потоков заряженных космических частиц. Что же касается других планет, то, например, мощность дозы радиации вблизи и на поверхности Марса равна 20 мрад в сутки, в то время как средняя летальная доза для «кишечной палочки» в 4000 раз меньше. Большинство других организмов еще более чувствительно к действию радиации.

Казалось бы, что этот фактор полностью должен исключать возможное существование жизни на Марсе. Однако существует целый ряд организмов, которые относительно легко приспосабливаются к этому фактору. Обнаружены, например, микроорганизмы, живущие в атомных реакторах. Все это указывает на то, что ионизирующая радиация, по-видимому, не является фактором, ограничивающим жизнь на других планетах, включая Марс.

Заметное воздействие на микроорганизмы оказывает ультрафиолетовое излучение на длине волны 2537 Å, хотя оно относится к неионизирующей радиации. Это излучение, составляя значительную часть солнечного спектра, постоянно воздействует на живые организмы, проникая в их клетки и вызывая активацию, приводящую к многообразным и серьезным последствиям. Ожидаемые на Марсе дозы подобного излучения составляют 104 эрг/см^2 , что в отсутствие озонового слоя и облаков вокруг Марса может вызывать гибель микроорганизмов. Исследования, например, показали, что любой организм, попавший под влияние такого мощного воздействия, погибает.

Однако это справедливо лишь для незащищенных клеток. Если же организм будет находиться под защитным слоем, то воздействие ультрафиолетового излучения в значительной степени ослабится. Подобным защитным экраном могут служить частицы пыли, металла или ржавчины, а также слои других клеток или спор (пленка хрома, толщиной 800 Å оказывается достаточной для защиты от дозы $7,8 \cdot 10^7 \text{ эрг/см}^2$). Так, относительно тонкий слой марсианской пыли полностью может защитить микроорганизмы от гибели. Кроме того, поражения, обусловленные ультрафиолетовым излучением, в значительной степени обратимы, поскольку микроорганизмы имеют специфические механизмы восстановления повреждений жизненно важных биологических функций.

Важную защитную роль играют и особые окрашенные вещества, содержащиеся в ряде микроорганизмов, утилизирующие некоторые виды радиации по типу фотосинтеза или превращающие жесткую радиацию в энергетически менее сильное воздействие.

С получением новых данных о Марсе соответственно меняют и параметры приборов, имитирующих экологическую среду планеты. Однако, как бы широко ни варьировались эти условия, реальным фактом остается чрезвычайно высокая выносливость микроорганизмов, что подтверждает вероятность их присутствия на планете.

Интересно, что к неблагоприятным факторам окружающей среды чрезвычайно приспособленными оказываются простейшие организмы (инфузории, амебы, парамеции и др.). Обычно в них быстро возникают адаптивные реакции на внешние воздействия без каких-либо изменений генотипических свойств. Многочисленные исследования, проведенные над простейшими, указывают на их устойчивость к воздействию космического вакуума, различного состава «атмосферы», ультрафиолетового излучения, резкой перемены температур, низкой влажности (как при отдельном воздействии определенного фактора, так и в виде комплекса их действий). Эти эксперименты демонстрируют широкие возможности организмов различного уровня эволюции приспосабливаться к экстремальным факторам внешней среды, что повышает вероятность существования жизни на Марсе и других планетах.

Особый интерес вызывает лабораторный эксперимент по проверке способности микроорганизмов размножаться и расти в условиях, характерных для Юпитера. Предполагается, что места возможного обитания живых организмов на Юпитере характеризуются резко выраженной щелочной средой, обусловленной присутствием на планете аммиака. Опыты, проведенные в связи с этим, показали, что в жидкой щелочной среде бактерии оставались жизнеспособными и при десятикратном увеличении уровня щелочности, которая известна как предельная для роста других организмов. Данные экспериментов, проводимых с использованием камеры «искусственный Юпитер», свидетельствуют о том, что принципиальных возражений против существования микроорганизмов в условиях Юпитера нет. Иное дело, определить, действительно ли существуют на этой планете живые организмы.

Перейдем теперь к непосредственному рассмотрению результатов исследования различных тел Солнечной системы.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВНЕЗЕМНОГО ВЕЩЕСТВА

Метеориты. До недавнего времени единственными космическими объектами, доступными для непосредственного изучения в земных лабораториях, были метеориты. Как мы уже отмечали ранее, в метеоритах не обнаружено никаких признаков присутствия микроорганизмов. Но это не означает, что метеориты не представляют интереса для экзобиологии. «Космические пришельцы» – метеориты продолжают привлекать к себе внимание хотя бы с точки зрения установления уровня химической эволюции в различных районах Вселенной. Результаты исследования химического состава метеоритов, например, свидетельствуют о том, что на различных космических телах Вселенной происходит абиогенный (не биологический) синтез органических соединений.

Таким образом, метеориты, являющиеся осколками более крупных космических тел – астероидов, предоставляют ученым информацию о направленности химической эволюции в Солнечной системе.

В последнее время получены данные о присутствии в метеоритах соединений, неизвестных ранее химикам. Так, 28 сентября 1969 г. к северу от Мельбурна в Австралии упал метеорит, который был немедленно поднят и доставлен в лабораторию, так что он был практически не загрязнен земными микроорганизмами и органическими веществами почвы. Химический анализ обнаружил в нем среди органических соединений аминокислоты, которым нет аналогов на Земле. Нахождение в метеоритах подобных веществ является убедительным свидетельством внеземной химической эволюции.

Исследование лунного грунта. Доставленный на Землю лунный грунт предоставил первую возможность изучить незагрязненный внеземной материал с целью поиска признаков биологической эволюции. Ученых издавна привлекала мысль, что жизнь возможна не только на Венере и Марсе, но и на Луне. Однако первые же полеты на Луну разочаровали ученых. Ни на поверхности-Луны, ни в ее грунте не оказалось никаких живых существ или даже косвенных признаков их присутствия в прошлые эпохи. Этот вывод, помимо всего прочего, имел и важные практические последствия: отпала необходимость в длительном карантине космонавтов, возвращающихся после завершения полета на Луну.

Существовала надежда, что анализ лунного органического вещества предоставит ученым достаточно данных хотя бы об уровне химической эволюции. Но и здесь ученых ждало разочарование. Органического вещества на Луне оказалось очень мало; по-видимому, первичного органического вещества там не сохранилось, а новообразование его за счет абиогенного синтеза происходит, вероятно, в недостаточных количествах.

По данным анализа образцов лунного грунта, доставленных на Землю американскими астронавтами и с помощью советских автоматических станций, количество содержащегося в них органического вещества составляет всего 0,001% (в сухих пустынных областях Земли органические вещества присутствуют в количестве

0,05 – 2%). В связи с этим было выдвинуто предположение, что на ранних геологических стадиях Луна потеряла свои легколетучие химические элементы и соединения (может быть, поэтому-то углерод в лунном грунте содержится лишь в виде карбидов и графита). Однако даже то небольшое количество органического вещества, которое было обнаружено в лунных породах, говорит о том, что химическая эволюция на Луне хоть и в незначительных масштабах, но все-таки происходит. По-видимому, на Луне условия для синтеза органических веществ абиогенным путем возникли сравнительно недавно, и лишь в геологически отдаленном будущем химическая эволюция на Луне, может быть, разовьется в больших масштабах.

Итак, ни в метеоритах и космической пыли, ни в образцах лунного грунта внеземные организмы не обнаружены. Естественно, что внимание исследователей теперь с надеждой обращено на планеты Солнечной системы. Рассмотрим кратко физические условия на поверхности этих планет с точки зрения возможности существования там жизни.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАНЕТ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Меркурий. Это ближайшая к Солнцу планета Солнечной системы. Ее средний диаметр составляет всего 4863 км. До недавнего времени о Меркурии мало что было известно, поскольку наблюдения этой планеты сильно затруднены ее близостью к Солнцу.

3 ноября 1973 г. впервые к Меркурию была запущена автоматическая межпланетная станция «Маринер-10». Она совершила три облета Меркурия: 29 марта 1974 г. (при минимальном расстоянии 720 км от поверхности планеты), 21 сентября 1974 г. (48 тыс. км) и 16 марта 1975 г. (210 км). Впервые с такого близкого расстояния были получены снимки поверхности Меркурия (при третьем облете удалось получить ряд снимков с рекордным разрешением 45 м). Что же эти снимки, а также результаты других исследований, полученные аппаратурой «Маринера-10», дали для экзобиологии?

Оказалось, что поверхность Меркурия очень напоминает лунную и также покрыта большим количеством разнообразных кратеров поперечником до 120 км. Имеются и более ровные места, встречаются узкие долины, видимо, заполненные в далеком прошлом вулканической лавой, обнаружены впадины ударного происхождения (одна из них – Калорис достигает в поперечнике 1280 км). Перепад температур на поверхности превышает 500°C (при максимальной температуре 380°C). У планеты обнаружены слабое магнитное поле и очень разреженная атмосфера, давление которой вблизи поверхности Меркурия составляет всего $2 \cdot 10^{-9}$ мбар.

Как очевидно, уже эти условия полностью отрицают существование на этой планете водно-белково-нуклеиновой жизни, хотя и допускают гипотетическую форму жизни, химической основой которой является кремний (как уже отмечалось выше, вероятность существования такой жизни в природе чрезвычайно мала).

Венера. Эта ближайшая к Земле планета (ее орбита ближе других подходит к орбите Земли) и по таким характеристикам, как размеры, масса, плотность, она очень похожа на нашу планету. Венера обладает мощной атмосферой, которую впервые обнаружил еще в 1761 г. М. В. Ломоносов.

Все эти данные о Венере очень привлекательны для построения различных предположений о наличии жизни на этой планете. И совсем еще недавно возможное существование жизни на Венере почти не подвергалось сомнению. Воображение фантастов (да и многих ученых) «создавало» на этой планете гигантские папоротники, непроходимые джунгли, безбрежные океаны, кишасшие рыбами и животными.

С приходом космической эры начался новый этап изучения этой планеты. В разное время к Венере был запущен целый ряд советских автоматических станций «Венера», а также три американские станции «Маринер». 22 и 25 октября 1975 г. спускаемые аппараты межпланетных станций «Венера-9» и «Венера-10» совершили мягкую посадку на поверхность этой планеты и впервые передали на Землю панорамные снимки районов посадки и ряд другой ценной информации.

Оказалось, что условия на поверхности Венеры резко отличаются от существующих на Земле. Нагрев поверхности в дневные часы достигает значений 460 – 470°C, а атмосферное давление вблизи поверхности доходит до $(8,5 - 9,0) \cdot 10^4$ мбар.

Результаты, полученные с помощью автоматических межпланетных станций, показали, что у Венеры полностью отсутствует собственное магнитное поле. Атмосфера Венеры на 97% состоит из углекислого газа и, кроме того, содержит азот ($\leq 2\%$), кислород ($\leq 0,1\%$). Содержание водяного пара на высоте 20 – 40 км от поверхности (0,01%) оказалось несколько большим, чем предполагали раньше, но тем не менее воды на Венере в 3000 раз меньше, чем на Земле. По-видимому, недостаток воды на этой планете и является причиной обогащения ее атмосферы углекислым газом (если бы на Венере когда-либо были запасы воды, то они «связали» бы атмосферный углекислый газ в карбонаты, как это произошло в свое время на Земле).

Таким образом, совершенно очевидно, что условия на поверхности Венеры исключают наличие там какой-либо жизни. Но тем не менее ряд ученых предполагает возможное обитание венерианских микроорганизмов в отдельных облаках облачного покрова этой планеты (нижняя граница этого покрова находится на расстоянии 35 км от поверхности, верхняя – достигает 68 – 70 км). Здесь, по мнению этих ученых, должны существовать более благоприятные условия для жизнедеятельности микроорганизмов. Однако пока еще не получено никаких

данных, подтверждающих или опровергающих предположение о наличии в атмосфере Венеры этих своеобразных «планктонов».

Следующими планетами по величине их удаленности от Солнца являются Земля и Марс, но в связи с тем значением, который представляет Марс для экзобиологии, эта планета будет рассмотрена нами несколько позже в отдельной главе.

Юпитер. Эта гигантская планета более чем в 1200 раз превосходит Землю по своему объему. И по другим своим основным характеристикам (строению, составу атмосферы, физическим условиям на «поверхности») Юпитер сильно отличается от планет земной группы: Меркурия, Венеры, Земли и Марса. К нему вообще не применимо понятие «поверхности», поскольку неизвестно, есть ли у этой планеты резкая граница, отделяющая жидкое вещество ее недр от вышележащей атмосферы.

3 марта 1972 г. и 6 апреля 1973 г. в сторону Юпитера стартовали автоматические межпланетные станции «Пионер-10» и «Пионер-11», которые соответственно 4 декабря 1973 г. и 3 декабря 1974 г. осуществили пролет около этой планеты на расстоянии 130 и 43 тыс. км. Благодаря информации, переданной на Землю этими автоматическими станциями во время их пролета около Юпитера, были получены первые сведения, касающиеся непосредственных окрестностей этой планеты. Например, у Юпитера было обнаружено мощное и чрезвычайно сложное по своей структуре магнитное поле, напряженность которого близ верхнего облачного покрова планеты колеблется от 2 до 12 Гс, что значительно превышает напряженность магнитного поля Земли у ее поверхности. Количество гелия в атмосфере Юпитера оказалось в 5 раз меньше, чем водорода, и, по оценке некоторых ученых, эти химические элементы составляют 97 – 99% всей атмосферы планеты. В ней также обнаружены аммиак, метан, вода, фосфен, циановодород и другие элементы.

Из-за низких температур в надоблачной атмосфере (не превышающих -110°C) обнаруженный на Юпитере водяной пар должен находиться в верхних слоях в виде льда, но в более глубоких слоях атмосферы, из-за наличия у Юпитера внутреннего источника тепла вода может находиться и в жидком состоянии. Благодаря наличию этого внутреннего источника тепла, в атмосфере Юпитера есть все необходимые условия для синтеза многих органических соединений, и, действительно, в атмосфере Юпитера недавно были обнаружены такие органические соединения, как ацетилен и этан.

Таким образом, Юпитер, несмотря на, казалось бы, «суровые» условия, представляет огромный интерес для экзобиологов, поскольку химическая эволюция на этой планете достигла достаточно высокого уровня. Однако для того чтобы сделать более конкретные выводы о возможности существования на Юпитере живых микроорганизмов, необходимы дальнейшие исследования этой планеты. И понятен интерес экзобиологов к предстоящим запускам к Юпитеру еще двух автоматических межпланетных станций – «Вояджер-1» (прежнее название «Маринер-11») 20 августа 1977 г. и «Вояджер-2» («Маринер-12») 1 сентября 1977 г.

Определенный интерес с экзобиологической точки зрения представляют спутники Юпитера, поскольку, по крайней мере, у одного из них (Ио) обнаружена атмосфера (правда, сильно разреженная).

Сатурн. Эта планета по своим характеристикам очень близка к Юпитеру и, по-видимому, тоже обладает мощным магнитным полем. Поэтому все наши выводы относительно существования юпитерианской жизни можно отнести и к этой планете (кстати, в атмосфере Сатурна недавно был обнаружен этан). Но, к сожалению, «космическая эра» Для Сатурна еще не началась, и все с нетерпением ожидают 5 сентября 1979 г. – день когда около этой планеты должен пролететь «Пионер-11», а буквально через год, в 1980 г., достигнут окрестностей Сатурна «Вояджер-1» и «Вояджер-2».

Следует отметить, что, помимо самой планеты, чрезвычайный интерес представляет и один из ее спутников – Титан, по своим размерам (4850 км) соперничающий с Меркурием. Самой удивительной особенностью Титана является наличие у него мощной атмосферы, по своей протяженности превышающей земную. Результаты спектроскопических исследований атмосферы Титана указывают на присутствие в ней водорода, метана и, возможно, этана.

Проведенные недавно измерения температуры Титана неожиданно для ученых дали очень высокие значения для столь удаленного от Солнца тела – от -150 до -140°C . Чтобы объяснить столь высокую температуру Титана, некоторые ученые предполагают, что в его атмосфере действует своеобразный «парниковый эффект», дополнительно нагревающий как саму атмосферу, так и поверхность этого спутника Сатурна.

На основании данных о Титане ряд ученых делают вывод о существовании довольно высокого уровня химической эволюции на этом небесном теле. По их мнению, на это указывает коричневый цвет облаков, обнаруженных в атмосфере Титана. Именно такой же цвет имеют некоторые органические полимеры, полученные из водорода, метана и аммиака при воздействии на них ультрафиолетовой радиации.

Уран, Нептун и Плутон. В то время как Уран и Нептун по своим свойствам относятся к планетам-гигантам (таким, как Юпитер и Сатурн), самая отдаленная от Солнца планета – Плутон из-за своей огромной плотности, по-видимому, более близка к планетам земного типа. Известные нам в настоящее время физико-химические характеристики этих планет указывают на отсутствие там какой-либо жизни. Но эта точка зрения может измениться, когда к наиболее близкой из них – Урану, в 1985 г. приблизится «Вояджер-2» (правда, полет этой станции к Урану пока является проблематичным, так как он соответствует лишь одной из вероятных ее

траекторий после пролета Сатурна).

МАРС С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ЭКЗОБИОЛОГИИ

Некоторые сведения об условиях на Марсе. Марс уже в течение нескольких веков привлекает к себе внимание физиков, химиков, геологов и, конечно, экзобиологов.

Еще до прихода космической эры были обнаружены многие интересные факты об особенностях рельефа планеты, ее температуре, давлении, составе атмосферы. Среди них особое внимание ученых привлекло явление сезонной «волны потемнения». Оно заключается в том, что на поверхности Марса периодически наблюдается появление обширных темных районов, перемещающихся со временем от полярной шапки к экватору. В среднем фронт потемнения движется с постоянной скоростью, одинаковой из года в год и равной 35 км в сутки.

Для объяснения этого феномена была выдвинута гипотеза, связывающая подобные изменения с резкими вариациями температурного и водного режимов планеты. В частности, предполагается, что ранней марсианской весной солнечное тепло должно вызывать испарение соответствующей полярной шапки и переход содержащейся в ней воды из твердого состояния в газообразное. Господствующие на Марсе ветры могут переносить влагу из приполярных областей в сторону экватора, причем к вечеру в связи с понижением температуры вода может переходить в иней и оседать на поверхности, придавая ей светлую окраску, а утром при повышении температуры вновь образующиеся пары воды могут перемещаться ветром дальше к экватору. Эта гипотеза, кажется, подтверждается обнаруженным недавно на Марсе именно таким направлением ветров.

Площадь Марса в 2,7 раза меньше площади Земли. Его поверхность подразделяют на три типа: оранжевые, желтые и красноватые «континенты», которые занимают около 70% территории; темные «моря», на долю которых приходится около 27% (цвет «морей» меняется от зеленоватого или голубоватого до серо-коричневого с желто-зеленым отливом); остальные 3% территории приходятся на долю наиболее сильно меняющихся полярных областей, или «полярных шапок». В июне – августе 1956 г. южная полярная шапка таяла до своего полного исчезновения со скоростью 16 – 18 км в сутки. Северная полярная шапка никогда не исчезает. Оттенки и цвета «континентов» и «морей» меняются по сезонам.

Наземные астрономические наблюдения позволили составить представление о многих климатических особенностях планеты. Однако, каковы бы ни были успехи наземных наблюдений, они не могут позволить сделать конкретные выводы о физико-химических характеристиках поверхности этой планеты. Это под силу лишь наблюдениям, проведенным с помощью космических аппаратов.

«Космическая эра» в исследованиях Марса началась 1 ноября 1962 г., когда в СССР был осуществлен запуск к этой планете автоматической станции «Марс-1». 15 июля 1965 г. около Марса на расстоянии 10 тыс. км пролетела американская автоматическая станция «Маринер-4», которая передала на Землю первые снимки поверхности со столь близкого расстояния. Полеты к Марсу советских и американских станций типа «Марс» и «Маринер» позволили получить ценнейшие сведения о физических и химических характеристиках этой планеты. На переданных ими на Землю снимках марсианской поверхности видны многочисленные кратеры, небольшая часть которых, возможно, имеет вулканическое происхождение. Однако районы, покрытые кратерами, не являются преобладающим типом марсианской поверхности. Значительную часть северного полушария Марса занимают равнины со сглаженным рельефом.

Самой удивительной деталью поверхности Марса явились многочисленные образования, напоминающие собой высохшие русла рек. Дело в том, что при существующих на Марсе температуре и давлении вода в жидком виде должна там полностью отсутствовать. Действительно, атмосферное давление на Марсе вблизи поверхности в 200 раз меньше, чем на Земле, и в среднем составляет 5 – 7 мбар. При таком давлении вода сразу из твердого состояния переходит в газообразное (при температуре около 0°C), и наоборот. Климат на Марсе очень холодный, причем в южном полушарии среднесуточная температура ниже. Например, районы полярной ночи в южном полушарии имеют максимально низкую температуру на Марсе – до –140°C. Суточные перепады температуры велики (например, до 80°C на широте 20° в северном полушарии), достигая плюсовых температур днем и очень низких ночью (от +30 до –75°C и ниже на экваторе).

Все эти данные указывают на то, что вода в жидком состоянии может присутствовать на Марсе лишь в незначительных количествах на дне ряда бассейнов, и столь ничтожные запасы воды не в состоянии образовать загадочные руслоподобные образования на Марсе. Поэтому предполагается, что подобные образования могли возникнуть в прошлом либо при выпадении воды из более плотных слоев атмосферы в геологически отдаленную эпоху, либо при катастрофических вариациях климата Марса, связанных, например, с изменением наклона оси вращения планеты. В последнем случае интенсивное таяние полярной шапки могло привести к возникновению обширных потоков воды. Следует отметить, что измерения, проведенные с помощью орбитального отсека «Викинга-1», дали неожиданно высокую температуру северной (летней) полярной шапки (–70°C), что при высокой влажности в этом районе Марса указывает на обычный (водяной) состав льда этой шапки, тогда как ранее предполагали, что она состоит из сухого (углекислого) льда.

Атмосфера Марса состоит из углекислого газа (95%), азота (2 – 3%), аргона (1 – 2%), кислорода (0,1 – 0,4%), окиси углерода (0,16%), озона (0,03%) и других элементов, включая водяной пар, содержание которого сильно

меняется вследствие его взаимодействия с поверхностью. Необходимо также отметить, что сильно разреженная атмосфера и очень слабое магнитное поле Марса почти не препятствуют большому потоку радиации, падающему на поверхность.

Есть ли жизнь на Марсе? Результаты биохимических исследований и современная теория происхождения жизни указывают на то, что в тех чрезвычайно «жестких» условиях, которые сейчас существуют на Марсе, никакой жизни образоваться не могло. Однако если ранее на Марсе существовали более благоприятные условия, то не исключено, что при переходе к нынешнему состоянию планеты образовавшиеся в прошлом микроорганизмы могли приспособиться к нынешним условиям. Во всяком случае современная теория происхождения Солнечной системы утверждает, что в прошлом Марс мог по некоторым своим характеристикам быть близок к Земле. В то же время многочисленные свидетельства быстрой приспособляемости земных организмов к экстремальным условиям среды обитания дают все основания предположить, что если в прошлом на Марсе могла возникнуть жизнь, то она не должна там полностью исчезнуть. Весьма возможно и то, что существуют еще нам неизвестные механизмы приспособления микроорганизмов к условиям с пониженной влажностью, которые имеются сейчас на Марсе.

Возникает вопрос, может ли на Марсе существовать жизнь на иной химической основе?

Подавляющее большинство ученых отрицательно относится к такой возможности, поскольку Марс находится в той же температурной зоне, что и Земля, и общий химический состав этой планеты должен быть близким к земному. Таким образом, нельзя сомневаться в том, что основы марсианской жизни должны быть подобны земной. Однако это не исключает обнаружения у марсианских микроорганизмов иного набора аминокислот или присутствия аминокислот с отличной от известных на Земле структурой. И хотя сложившийся на Земле на основе взаимной совместимости набор 20 аминокислот был закреплен эволюцией, обеспечивающей устойчивость механизма белкового синтеза, нет оснований сомневаться в возможном существовании других совместимых наборов аминокислот (один из которых мог сложиться на Марсе). В этом случае жизнь на Марсе должна быть аналогичной (в своей химической основе), но не идентичной земной.

Требования к методам поиска жизни. В космических исследованиях, связанных с обнаружением жизни на Марсе, можно выделить два основных этапа. Один из них связан с доставкой на поверхность планеты автоматической биологической лаборатории. Позднее, может, в 80-е годы, наступит следующий этап – доставка на Землю образцов марсианского грунта.

Первый этап уже начался с запуском к Марсу двух американских автоматических станций «Викинг-1» и «Викинг-2».

Какие же проблемы предстоит решить ученым в связи с проведением на поверхности Марса экспериментов по поиску жизни?

Все проблемы, связанные с обнаружением жизни вне Земли (в частности, на Марсе), можно разбить на три группы: обнаружение признаков обмена веществ и размножения организмов; установление факта существования жизни в прошлые эпохи; идентификация на планетах химических соединений, подобных белкам и аминокислотам. Для реализации этих задач предложены различные методы, в основу которых положено использование тех или иных проявлений живой природы.

Каковы же эти методы?

Обычно их разделяют на дистанционные, аналитические и функциональные. *Дистанционные* методы могут применяться в том случае, если живые системы способны производить действия, которые заметны для визуального наблюдения. Такие методы основаны на применении телевизионных устройств, например видеоконвойной камеры, для передачи изображения различных участков планеты с целью обнаружения топографии крупных существ. *Аналитические* методы предназначены для детального химического исследования поверхностного слоя планеты как возможного места локализации тех или иных форм жизни. И, наконец, *функциональные* методы поиска жизни отражают наиболее существенные свойства живого: рост, размножение, обмен веществ.

Все методы поиска жизни являются либо прямыми, либо косвенными. К прямым методам относятся дистанционные и ряд функциональных методов, к косвенным – химические анализы грунта и атмосферы, астрономические методы.

Передача «обзорных панорам» может дать вполне определенную информацию о внеземной жизни лишь в том случае, если ход эволюции органических веществ продвинулся настолько далеко, что «породил» довольно крупных по своим размерам животных и другие организмы. Если последние не будут обнаружены с помощью этого и других методов, то все дальнейшие исследования необходимо направить на поиск микроорганизмов.

Поиск этих наипростейших представителей живой природы можно осуществить путем взятия образцов грунта, являющегося основной средой обитания микроорганизмов, и внесения его в специальную камеру для культивирования, заполненную раствором питательных веществ. Микроорганизмы, оказавшиеся в благоприятных условиях (набор высокопитательных веществ, свободный к ним доступ, необходимая температура и т. д.), начнут интенсивно расти и размножаться, что будет сопровождаться нарастанием во времени интенсивности биологических и биохимических процессов: произойдут изменения в химическом составе питательной среды, «атмосферы» внутри камеры, повысится давление. Поскольку клетки будут

размножаться, то их число постоянно будет увеличиваться, что вызовет помутнение первоначально прозрачного раствора. Кроме того, произойдут и другие изменения, в частности, увеличится общее энергетическое состояние всей системы.

Важно выбрать такие методы регистрации роста и размножения микроорганизмов, которые бы протекали в динамике. Добавление же к питательной среде ядовитого вещества – антиметаболита – остановит процессы роста и размножения микроорганизмов, что на графике будет обозначено как остановка роста.

Следует отметить еще некоторые требования, предъявляемые к методам, а именно – они должны быть чувствительными, давать воспроизводимые результаты, научная аппаратура должна иметь небольшие габариты и вес. Особое предпочтение отдается тем методам, которые легко сочетаются друг с другом.

О стерилизации космических лабораторий. Создание и посылка на другие планеты автоматических биологических станций требует разработки мероприятия по предотвращению «заражения» планеты земными микроорганизмами. Любой космический аппарат, предназначенный для посадки на поверхность планеты, должен подвергаться тщательной стерилизации, так как случайный занос земных микроорганизмов на Марс может лишить науку возможности изучить внеземную жизнь этой планеты. Данные, которыми в настоящее время располагает микробиология, свидетельствуют о высокой устойчивости земных микроорганизмов к воздействию как факторов космического пространства, так и условий, имеющихся на других планетах. Если бы земные микроорганизмы попали внутрь станции, то их последующее открытие в ходе биологического эксперимента на планете дало бы ложную информацию о существовании здесь жизни. Однако помимо этой ошибки, которая бы означала крах единичного эксперимента, занесение на Марс земных микроорганизмов может иметь фатальные последствия для всей планеты Марс. Ведь не исключено, что Марс станет благоприятной средой обитания для земных организмов. Их развитие может вызвать вытеснение местной биоты и эволюцию земных организмов по пути, не известному науке.

Международные требования для карантина планет выражаются в величинах вероятности загрязнения. Принято, что методы стерилизации аппаратов, предназначенных для Марса, должны быть такими, чтобы из одного миллиона микроорганизмов мог остаться всего один микроб. Естественно, что полное уничтожение микробов, способных находиться на поверхности станции или даже внутри нее, является идеальным случаем.

В настоящее время предложены различные способы обработки космических аппаратов: тепловая, химическая, физическая, а также их различное сочетание.

Методы поиска внеземной жизни. Важной проблемой экзобиологии является разработка метода, который был бы чувствительным и в минимальной степени геоцентричным (т. е. не связанным с земными представлениями о жизни).

Микроскопия. Одним из способов обнаружения жизни являются микроскопические исследования грунта. Применение микроскопии позволяет выявить внешний облик (морфологию) клетки. С помощью микроскопа (рис. 7) можно наблюдать передвижение организмов, регистрировать их морфологию, восприимчивость клеточного материала к окрашиванию особыми красителями, называемыми флюорохромами, и т. д.

Радиометрия. Эксперименты подобного рода относятся к функциональным методам и основаны на исследовании поведения микроорганизмов в специальных камерах. Несмотря на то что метод «меченых» атомов уже давно применяется в биологии, специфичность проблемы поиска внеземной жизни накладывает на него ряд особых требований. Идея применения радиометрии заключается в том, что в жидкую среду вводятся такие питательные органические вещества, которые имеют радиоактивный атом углерода. Микроорганизмы, потребляя эти соединения, будут выделять углекислоту, в составе которой будет изотоп углерода. Углекислый газ можно собрать особым поглотителем и его радиоактивность определить с помощью счетчика (рис. 8). Предложены модификации этого метода, когда образец грунта не помещается в среду, а лишь смачивается ею.

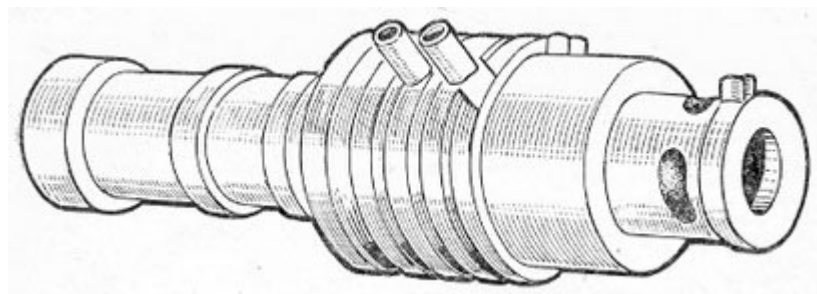


Рис. 7. Микроскоп, сконструированный специально для исследования микроорганизмов в грунте Марса

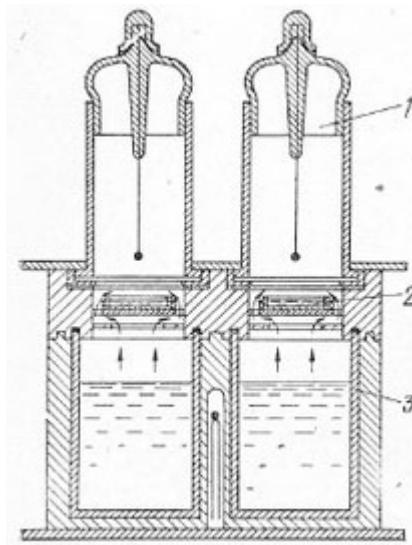


Рис. 8. Схема прибора, предназначенного для поиска микроорганизмов по выделению радиоактивной углекислоты: 1 – счетчик радиоактивных частиц; 2 – поглотитель радиоактивного углекислого газа; 3 – сосуды с питательной средой и образцом почвы

Нефелометрия. Большое значение имеют оптические методы. Среди них нефелометрии – способу регистрации мутности – принадлежит основная роль. Увеличение оптической плотности культуральной среды происходит пропорционально увеличению концентрации клеток, и это даст наглядные свидетельства о существовании микроорганизмов (рис. 9).

pH-метрия. Бактериальный рост в присутствии органического вещества, например глюкозы, приводит к образованию органических кислот, в связи с чем *pH* среды понижается. Такое изменение может быть легко зарегистрировано, и оно позволит получить наглядные доказательства жизнедеятельности микроорганизмов. В дополнение к определению других параметров изменение *pH* может служить еще одним методом определения микробного роста.

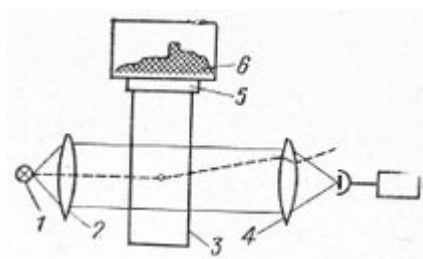


Рис. 9. Схема установки по определению рассеяния света клетками микроорганизмов: 1 – источник света; 2, 4 – фиксирующие линзы; 3 – оптическая кювета с питательным раствором; 5 – пористый фильтр; 6 – кювета с образцом почвы, заполненная питательным раствором. Рассеянный луч изображен пунктиром

Манометрический метод, основанный на измерении давления «атмосферы» внутри камеры, обладает сравнительно низкой чувствительностью и может быть использован в комбинациях с другими методами как дополнительный.

АТФ-метрия. Очень перспективным является определение состава специфических органических веществ, входящих в клеточный материал. Аденозинтрифосфорная кислота, или АТФ, является самым важным и широко распространенным соединением такого рода (рис. 10). Обнаружение АТФ во взвешенном материале может быть,

убедительным свидетельством присутствия в нем организмов земной природы. Один из наиболее вероятных и информативных способов проведения АТФ-метрического определения заключается в регистрации динамики нарастания количества АТФ при выращивании микроорганизмов на питательных средах.

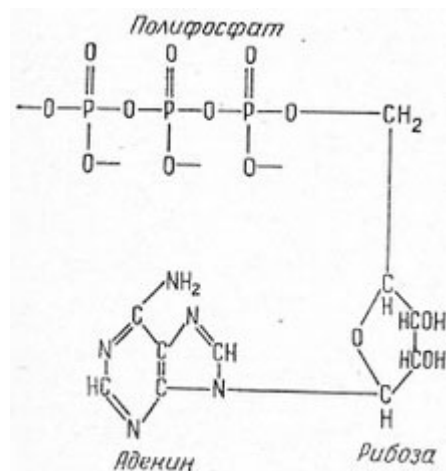


Рис. 10. Схема строения молекулы АТФ

Поляриметрия. Данный метод основан на обнаружении оптической активности питательной среды. Возможны две модификации данного метода: 1) добавление в питательную среду оптически активного вещества и регистрация уменьшения оптической активности вплоть до ее полного исчезновения; 2) добавление в питательную среду рацемата и регистрация нарастания оптической активности среды за счет потребления микроорганизмами одного из оптических изомеров. Первый метод обладает тем недостатком, что неизвестно, какой изомер – правовращающий или левовращающий – нужно добавлять в среду, поскольку физиологические потребности марсианских организмов могут отличаться от известных нам. Наибольшим преимуществом обладает вторая модификация, так как в среду добавляется рацемическая смесь субстрата, и организм сам может выбрать один из них. При его потреблении микробом равновесие между изомерами постоянно будет нарушаться и в среде будет накапливаться противоположный изомер, что легко зарегистрировать поляриметрами.

Химический анализ инопланетного грунта. Изучая жизнь вне Земли, особое внимание необходимо обратить на возможность обнаружения в грунте химических соединений, присущих живым организмам: аминокислот, белков, липидов, нуклеиновых кислот, АТФ, Сахаров, органических кислот и т. д. Обнаружение таких соединений позволит с большей уверенностью говорить о подобии инопланетных и земных организмов. Но хотя это и будет серьезным доказательством, самостоятельного применения методы органической химии не имеют, так как обнаруженные на других планетах органические вещества могут быть образованы не клеткой, а чисто химическим путем (т. е. абиогенно). Установить же, как образовалось данное вещество, очень трудно. Это может привести к неправильному выводу о существовании жизни там, где ее может и не быть. Однако возможно, что на Марсе жизнь существовала ранее и сейчас остались лишь ее следы. В таком случае методы химического анализа окажутся весьма полезными и могут применяться совместно с палеоботаническими и палеозоологическими исследованиями (рис. 11).

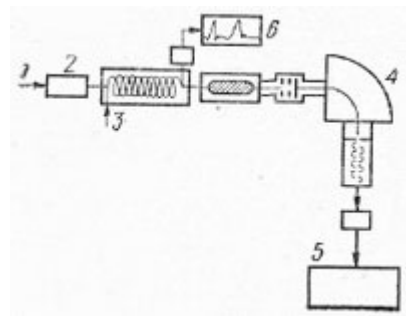


Рис. 11. Схема прибора по обнаружению органических веществ в грунте Марса (прибор представляет собой комбинацию пиролизной камеры, газохроматической колонки и масспектрометра): 1 – ввод образца; 2 – камера для сжигания; 3 – впуск газа на хроматическую колонку; 4 –

масспектрометр, 5 – блок
записи спектра масс; 6 –
запись показаний
хроматографа

Мы привели лишь часть методов, которые рекомендованы для оснащения автоматических биологических станций. Разрабатываются также модификации описанных методов. В частности, американские исследователи, исходя из ранее полученных данных о низком содержании воды на планете, предложили проводить исследования не в жидкой среде, а лишь при увлажнении образцов грунта, полагая, что вода может вызвать гибель микроорганизмов, если ее использовать в избыточных количествах. Однако другие ученые полагают, что первые биологические эксперименты на Марсе необходимо проводить, строго исходя из данных земной экологии. А эти данные говорят о том, что микроорганизмы, существующие при неблагоприятных условиях, при перенесении их в среду с лучшими условиями лучше и развиваются. Это касается как влажности, так и обеспечения организмов питанием. Кстати, ряд американских ученых выдвигают предложение использовать методы, которые не предусматривают добавления питательных веществ, а основаны на смачивании образцов грунта дистиллированной водой. И это предложение мотивировалось тем, что содержание в грунте Марса питательных субстратов невелико и организмы не приспособлены к их высоким количествам.

Признавая важными работы, направленные на исследование экологических условий Марса и проведение экспериментов в обстановке, в максимальной степени приближенной к марсианской, необходимо вместе с тем высказать опасение, что отсутствие полных данных о физических условиях на планете и попытка их моделирования могут привести к неудаче в проведении эксперимента, так как полученные результаты трудно будет интерпретировать.

«ВИКИНГИ» ИССЛЕДУЮТ МАРС

Разработка в США программы «Викинг» началась 8 лет назад. На борту станции было сначала намечено проведение 35 экспериментов, из которых 15 – для исследования химических свойств грунта и обнаружения биологических молекул, 2 – для обзора местности и микроскопирования грунта и 5 – для обнаружения роста и размножения микроорганизмов. Станция была рассчитана на работу в течение 2 лет; каждый из экспериментов предусматривалось повторить за год 30 раз, причем один полный цикл экспериментов был рассчитан на 8,5 марсианских дня. Разработка этой программы успешно завершилась изготовлением двух идентичных автоматических лабораторий «Викинг-1» и «Викинг-2», которые стартовали с м. Канаверал соответственно 20 августа и 9 сентября 1975 г.

Что же представляют собой эти лаборатории? Вес спускаемого аппарата составляет 1100 кг (рис. 12); лишь половина из них приходится на долю приборов и оборудования, телекамер, ЭВМ, средств связи и питания. Энергопитание обоих аппаратов на орбитах вокруг Земли и Марса, а также во время полета к Марсу обеспечивалось солнечными батареями. После посадки станции солнечные батареи отключались, и питание приборов и других узлов осуществлялось с помощью термоэлектрического генератора, превращающего в тепло процесс распада плутония-238.

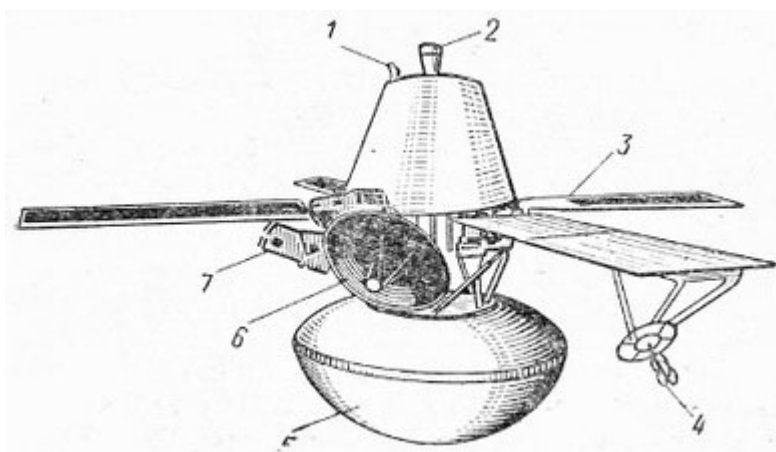


Рис. 12. Общий вид станции «Викинг»: 1 – всенаправленная антенна; 2 – двигатель ориентации; 3 – панель солнечной батареи; 4 – узконаправленная антенна; 5 – антенна ретрансляции; 6 – спускаемый аппарат; 7 – научная аппаратура орбитального отсека

При подготовке к полету большое внимание было уделено стерилизации станций с целью предотвращения занесения на Марс земных микроорганизмов. Жесткие методы стерилизации были применены для обработки всех узлов станции; монтаж блоков станции также проходил в стерильных условиях. После этого весь аппарат

помещался на 30 – 40 ч в печь с температурой 110°C, а затем закрывался биологическим экраном, верхняя часть которого отделялась за пределами земной атмосферы. Эти меры предосторожности позволили снизить вероятность загрязнения Марса аппаратами «Викинг» до $1 \cdot 10^{-6}$. Интересна конструкция биологического экрана, которым аппарат покрывался для предупреждения загрязнения в предстартовый период. Он представляет собой линзоподобное устройство диаметром 365,7 см и высотой 193,8 см; изготавливался из фибerglassовой ткани толщиной 0,0013 см. Внутренняя сторона биоэкрана состоит из алюминиевой фольги толщиной 0,008 см в форме конуса для уменьшения удара при возможных космических перегрузках.

Эксперименты по программе «Викинг» подразделяются на четыре категории: орбитальные, эксперименты при входе в атмосферу, исследования на поверхности планеты и научные исследования с помощью радиоастрономических приборов. Наибольшим количеством приборов снабжен спускаемый отсек. Это, по существу, миниатюрная автономная лаборатория (ее объем 0,03 м³) она содержит до 40 000 различных радиоэлектронных элементов.

На орбитальном и спускаемом отсеках имеются телевизионные камеры, способные обнаружить мелкие детали поверхности планеты и возможное передвижение живых существ крупных размеров. Станция снабжена инфракрасным спектрометром, способным обнаруживать пары воды. На орбитальном отсеке установлен также инфракрасный термический датчик для измерения температуры поверхности планеты.

Ряд экспериментов предполагалось выполнить во время спуска аппарата в атмосфере Марса. Установленный на спускаемом отсеке масс-спектрометр позволяет в этом случае определить состав газов атмосферы и ионосферы. Его же в комплексе с пиролитическим устройством и газохроматографическим прибором планировалось использовать на поверхности Марса для изучения органических веществ, находящихся в грунте планеты. С этой целью предусмотрен предварительный нагрев 100 мг грунта сначала до 200°, а затем до 350 – 500°C. На спускаемом отсеке установлены также приборы для регистрации флюоресценции, вызванной рентгеновским излучением с целью выявить качественный и количественный состав неорганических веществ марсианского грунта. Имеются также датчики для определения давления и скорости ветра, сейсмометры для регистрации «марсотрясения» и ударов метеоритов о поверхность планеты, приборы для обнаружения магнитных частиц в марсианском грунте.

Траектория полета «Викингов» включала вывод станций на околоземную орбиту, перелет по трассе Земля – Марс и, наконец, выход на околомарсианскую орбиту. 19 июня 1976 г. станция «Викинг-1» перешла на орбиту вокруг Марса, и с помощью установленных на нем приборов аппарат произвел «осмотр» намеченных ранее участков поверхности. Хотя до полета было проведено тщательное обследование 22 возможных мест посадки, но намеченный ранее район посадки оказался очень неровным, и поэтому решено было обследовать и другие районы. В итоге, посадка спускаемого отсека дважды откладывалась, и лишь 20 июля 1976 г. он опустился на поверхность Марса в области Хризе (22,5° с. ш., 48° з. д.).

Торможение спускаемого отсека «Викинга-1» началось на высоте 240 км от поверхности. Когда скорость снижения достигла 375 м/с (на высоте 6 км), раскрылся 16,2-метровый парашют ленточной конструкции, изготовленный из полиэфирной ткани. Купол парашюта с помощью 48 строп длиной 27 м соединен с шарнирным узлом на верхней части посадочного отсека. На высоте 1200 м этот парашют был автоматически отстрелен от спускаемого отсека, и дальнейшее его торможение происходило с помощью расположенных на корпусе отсека четырех двигателей. Это позволило снизить силу удара аппарата о поверхность до 1,2 м/с.

В полном соответствии с данной схемой 4 сентября 1976 г. была произведена и посадка спускаемого аппарата «Викинга-2», который вышел на орбиту вокруг Марса 7 августа 1976 г. Он опустился на равнину Утопия, в 6400 км к северо-востоку от места посадки «Викинга-1».

Спустя всего несколько секунд после посадки станция «Викинг-1» начала передавать первый снимок (Марс в это время находился на расстоянии около 400 млн. км от нашей планеты). На одном из последующих снимков виден участок поверхности Марса в непосредственной близости от спускаемого отсека. Ученые различили пыль, поднятую при посадке и осевшую на блюдцеобразной опоре аппарата, а также много мелких и острых камней. Был получен первый панорамный снимок, на котором видна уходящая к резко очерченному горизонту сравнительно плоская, покрытая песчаными дюнами и усыпанная большими камнями равнина. Она выглядит как дно высохшего озера, куда когда-то впадали 2 или 3 реки (руслоподобные образования).

Для обнаружения крупных организмов сканирующие телекамеры спускаемого отсека очень медленно осматривали окружающий пейзаж. Время от времени вращение камеры прерывали, и она как бы «всматривалась» в пространство, оказавшееся перед объективом. Если за это время в поле зрения телекамеры что-либо на поверхности Марса быстро бы переместилось, то тут же соответствующий сигнал был бы немедленно послан на Землю.

«Викинг-2» также передал серию фотографий места посадки, на которых изображена равнина, усеянная камнями различной конфигурации и размеров, но более сглаженными по сравнению с камнями в районе посадки «Викинга-1». На цветных снимках изображена красная поверхность планеты и оранжевый участок неба над районом Утопия. Такой оттенок марсианскому небу придают частицы пыли диаметром 0,1 мкм, «плавающие» в атмосфере. На снимках видны также густые облака, окутавшие вершины, похожие на

вулканические, и плотный туман, осевший в горных долинах. Вершины возвышаются над облаками по крайней мере на 5 км – подобного на Земле нет.

На первый же день пребывания «Викинга-1» была передана первая метеосводка: вечером слабый восточный ветер, после полуночи сменившийся на юго-западный, максимальная его скорость 6,7 м/с, давление 7,7 мбар, ранним утром температура $-85,5^{\circ}\text{C}$, днем -30°C . Возможно, что во второй половине дня температура повышается еще больше, но измерения в это время суток не проводились.

С помощью орбитальных отсеков станций «Викинг» получены фотографии поверхности Марса, на которых отчетливо видно, как из некоторых кратеров и расщелин поднимаются облака тумана. Они исчезали через 50 мин после восхода Солнца, но спустя еще 30 мин на снимках вновь регистрировались белые пятна тумана. Это были первые визуальные доказательства существования на Марсе больших количеств воды. Некоторые ученые высказывают предположение, что воды на Марсе даже больше, чем на Земле.

Однако до сих пор остается неясным, каким образом вода может существовать на Марсе в жидком виде, поскольку на этой планете очень низкие температуры, а атмосферное давление составляет всего 5 – 7 мбар. При таком давлении вода должна закипать и переходить в пар уже при 0°C или меньше, причем не исключено, что парообразование происходит из твердого состояния, минуя жидкость. Но и то короткое время, когда вода может еще находиться в жидком состоянии, достаточно для инициирования вегетации. Не исключается возможность того, что марсианские микроорганизмы могут утилизировать воду в виде льда или инея.

Для изучения состава грунта механический ковш («заборное устройство») (рис. 13) прорыл небольшую канавку, которая была сфотографирована. Судя по ее фотоснимку, края канавки не обрушились, как будто бы она вырыта во влажном песке. Из этого наблюдения специалисты сделали вывод, что грунт Марса относительно мягок и обладает липкостью. Анализ неорганических элементов в грунте показал, что железо является главной составной частью (около 12 – 15%) красноватой, напоминающей ржавчину поверхности Марса. Видимо, в этом причина того, что мы воспринимаем его на звездном небе как «красную планету». Среди других обнаруженных элементов – кремний (13 – 15%), алюминий (2 – 7%), кальций (3 – 8%), титан (0,5 – 2%), а также в небольших количествах фосфор, рубидий, стронций, цирконий, калий. По своему составу грунт на Марсе, видимо, близок к базальтам.

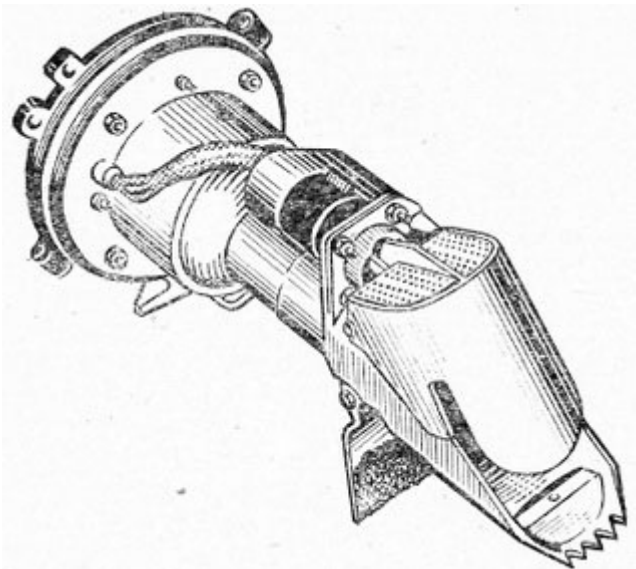


Рис. 13. Заборное устройство («механическая рука») «Викинга»

Рассеялись надежды некоторых энтузиастов внеземной жизни на то, что уже первые снимки, сделанные посадочными отсеками, дадут утвердительный ответ на вопрос: «Есть ли жизнь на Марсе?» Как и ожидало большинство ученых, никаких растений, а тем более животных в поле зрения телекамер не оказалось. Вокруг них простиралась выжженная ультрафиолетовым излучением Солнца ржаво-красная каменистая пустыня, а на горизонте виднелись образования, похожие на плоскогорье.

Но есть ли на Марсе микроорганизмы? Это должны были установить биологические эксперименты, предусмотренные программой. С помощью «Викингов» было намечено проведение следующих трех биологических экспериментов: 1) измерение радиоактивной углекислоты, выделяющейся при потреблении меченого субстрата микроорганизмами (рис. 14); 2) эксперимент по ассимиляции ^{14}CO и $^{14}\text{CO}_2$ (рис. 15); 3) регистрация изменения газового состава при развитии микроорганизмов в инкубационной камере (сосуде для выращивания) (рис. 16). Состав экспериментов был подобран с таким расчетом, чтобы были учтены потребности в питании максимально широкого круга микроорганизмов: ксерофитов(засухоустойчивых) и влаголюбивых организмов, автотрофов (использующих для питания неорганические вещества) и гетеротрофов (потребляющих органические соединения).

Каждый спускаемый отсек был снабжен для взятия проб грунта выдвижной головкой с ковшом – «механической рукой». Головка выдвигается при помощи трубчатой штанги на расстояние от 0,9 до 3 м в пределах азимутального угла 120°. Входное отверстие ковша прикрыто заслонкой, которая препятствует высыпанию взятого грунта. После операции по забору грунта узел ковша поворачивается так, чтобы ковш оказывался против отверстия дозатора, который распределяет пробы по трем камерам биологической лаборатории. На каждую камеру приходится по 1 – 2 см³ грунта.

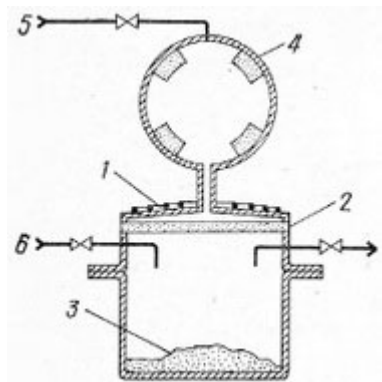


Рис. 14. Схема камеры для регистрации выделяющейся меченой углекислоты: 1 – электронагреватель; 2 – биологический фильтр; 3 – образец грунта; 4 – детектор ¹⁴C, 5 – вход газа; 6 – ввод питательных веществ

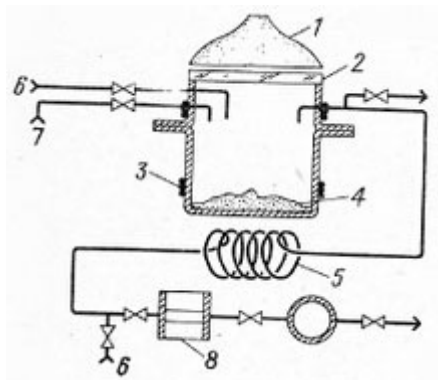


Рис. 15. Схема камеры для эксперимента по пиролитическому разложению: 1 – источник света; 2 – окно; 3 – нагреватель; 4 – образец грунта; 5 – поглощающая трубка и нагреватель; 6 – ввод газа; 7 – ввод меченого углекислого газа, меченого углерода и паров воды; 8 – детектор ¹⁴C

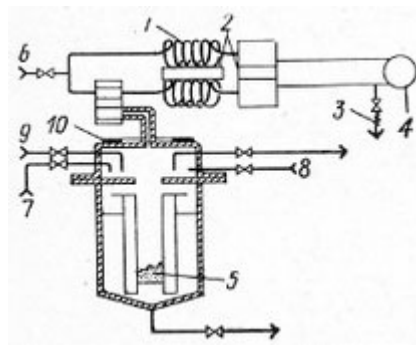


Рис. 16. Схема камеры для проведения эксперимента по газовому обмену: 1 – хроматографическая колонка; 2 – окно; 3 – реостат; 4 – демпфер; 5 – образец грунта; 6 – ввод гелия; 7 – ввод криптона; 8 – ввод питательных веществ; 9 – ввод газа; 10 – нагреватель

29 июля 1976 г. посадочный отсек автоматической станции «Викинг-1» взял первую пробу марсианского грунта, которая была помещена в инкубационную камеру, заполненную образцом марсианской атмосферы. Таким образом, впервые в истории человечества был начат прямой опыт по обнаружению жизни на другой планете.

В первой камере к образцу грунта была добавлена для его увлажнения питательная среда, содержащая меченные по углероду органические соединения: формиат, лактат, глицин, глюкозу и другие органические соединения. Предполагалось, что при росте и размножении микроорганизмов питательные субстраты будут разлагаться с образованием углекислого газа, радиоактивность которого будет определяться с помощью счетчика.

Неожиданное очень интенсивное выделение углекислого газа вызвало бурю восторга среди ученых, осуществляющих эксперимент (рис. 17). Ведь выделение газа – это именно то, что ожидали ученые в том случае, если на Марсе есть жизнь и если марсианские бактерии усваивают земные питательные вещества. Вскоре количество газа стало быстро уменьшаться, а с ним и энтузиазм ученых.

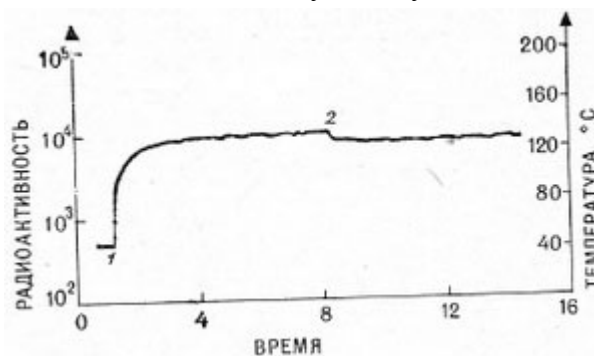


Рис. 17. Выделение радиоактивных газов из пробы грунта после добавления к ней меченого питательного раствора: 1 – ввод питательной жидкости в начале эксперимента, 2 – повторное добавление питательной жидкости

Еще через 3 дня в грунт вновь добавили питательную жидкость, отчего радиоактивность сначала немного возросла, а затем упала приблизительно на 30%. Вскоре она вновь начала немного расти. Доктор Б. Левин, один из членов группы, проводящей биологические исследования, заявил: «Выделение газа длилось дольше, чем обычно при химических реакциях, но меньше, чем при биологической деятельности микроорганизмов. Так что мы находимся где-то посередине».

Эксперимент по ассимиляции ^{14}CO и $^{14}\text{CO}_2$, или, как его называют специалисты, эксперимент по «пиролитическому разложению», состоит в том, что в камеру, содержащую образец марсианского грунта, дополнительно вводят меченые радиоактивные газы и пары воды, предполагая, что если микроорганизмы находятся в образце грунта, они будут ассимилировать меченые газы и включать их в состав органических веществ биомассы. После нескольких дней инкубации под лучами ксеноновой лампы, создающей условия для

фотосинтеза, образец грунта подвергался пиролизу при 600°C. Выделившиеся органические вещества на катализаторе превращались вновь в $^{14}\text{CO}_2$, радиоактивность которого подсчитывалась счетчиком.

«Викинг-1» передал сигнал о выделении газа, радиоактивность которого составляла 96 имп/мин. Аналогичный опыт со «стерильной» почвой или почвой, взятой в Антарктиде, дает сигнал 11 – 40 имп/мин. Таким образом, казалось бы, что у ученых были все основания сделать вывод, что жизнь на Марсе существует. Однако на этот раз они уже были более осторожны в своих выводах. Все ждали результаты третьего эксперимента – по определению газообмена.

В ходе этого эксперимента образец грунта смачивался сложного состава питательной средой, разложение компонент которой приводит в условиях земных опытов к выделению разнообразных газов. Ожидалось, в частности, выделение из марсианского грунта углекислого газа, метана, сероводорода, водорода, аммиака, окислов азота. Но и здесь ученых ждали неожиданности.

Вскоре после добавления к грунту питательной среды началось бурное выделение кислорода, превышающее ожидаемое в 15 – 20 раз! Как и в первом эксперименте, интенсивность выделения вскоре снизилась.

Изменений в следующие 7 дней в составе атмосферы камеры не происходило. Было проведено повторное увлажнение грунта питательной средой. При этом выделение кислорода вовсе не обнаружилось, а углекислого газа выделилось значительно меньше, чем в первый раз. На этот раз, комментируя результаты экспериментов, ученые лишь отметили, что им неизвестны какие-либо небиологические соединения на Земле, которые бы вели себя подобным образом. Другие же ученые предположили, что наблюдаемые явления скорее всего вызываются неорганическими веществами, содержащимися в грунте Марса. Причиной выделения большого количества газов могут быть химические реакции, подобные той, которая происходит, если в стакан воды опустить таблетку соды, – она забурлит от пузырьков газа. Не исключается также, что в марсианском грунте есть кристаллы перекиси водорода, которые при соприкосновении с питательной средой будут интенсивно выделять кислород.

Сложность интерпретации всех этих полученных данных требовала проведения надежного контрольного эксперимента. В связи с этим предусматривалось нагревание образца грунта при +160°C в течение 3 ч с последующим добавлением к этому образцу питательных веществ. Поскольку микробы при нагревании погибают, то никаких изменений в составе атмосферы опытных камер происходить не должно. Что же показали контрольные эксперименты? После добавления к прокаленному образцу грунта питательных веществ наблюдалось выделение углекислого газа, которое резко прекратилось через некоторое время. Если бы это происходило с образцом земной почвы, то ученые могли бы категорически заявить о присутствии живых организмов. Однако, все предыдущие данные были настолько противоречивы, что и здесь ни один из специалистов не решился сделать вывод о присутствии микроорганизмов в образце грунта Марса.

Прояснить ситуацию мог эксперимент по анализу органического вещества грунта, но никаких органических веществ в составе марсианского грунта не было обнаружено.

Почему же в пробе грунта Марса не были обнаружены органические вещества? Во-первых, потому, что их там действительно может и не быть. Во-вторых, потому, что если они и есть, то их настолько мало, что прибор, примененный для этой цели, – масс-спектрометр, обладая низкой чувствительностью, мог бы и не уловить их следы. Высказывается также мнение, что работе прибора могло помешать неожиданно высокое количество воды, находившееся в грунте Марса, которое «маскирует» присутствие органических молекул.

25 ноября 1976 г. связь Земли с «Викингами» была временно прервана из-за прохождения Марса в тени Солнца. После выхода планеты из тени и восстановления связи станции возобновили (в январе 1977 г.) в полном объеме проведение научных экспериментов. В течение всего перерыва в работе (практически три месяца) взятые пробы грунта выдерживались в испытательных камерах. Было принято решение выдерживать на спускаемом отсеке «Викинга-2» одну из проб в течение семи месяцев. Однако результаты, переданные «Викингом-2», оказались практически идентичными данным «Викинга-1».

Программа «Викинг», как выяснилось, не смогла дать определенный ответ о наличии жизни на планете. Руководители программы сейчас приняли решение отключить бортовые системы станций, поскольку продолжение биологических исследований в настоящее время невозможно из-за резкого изменения климатических условий на поверхности Марса – наступила пора суровой зимы. Был сделан вывод о том, что в результате программы «Викинг» обнаружить жизнь на Марсе не удалось.

В будущем в США предполагается запуск на Марс новых автоматических станций, цель которых – продолжение поиска жизни на этой планете. НАСА разрабатывает унифицированный комплекс для биологических исследований Марса.

Если попытаться кратко охарактеризовать предварительную информацию, полученную со станций «Викинг», то следует использовать выражение, предложенное самими руководителями полета: «Результаты, дразнящие противоречивыми данными». Научную информацию можно толковать двояко: и как свидетельство жизнедеятельности микроскопических организмов, и как результат неизвестных ученым химических реакций. Большинство ученых склоняются ко второму объяснению, хотя и для его подтверждения нет достаточно аргументированных данных.

Таким образом, подтвердились предположения о том, что после окончания экспериментов по программе «Викинг» мы будем иметь набор очень волнующих и вызывающих споры данных, но не сможем сделать из них категорических выводов.

Почему же не были получены определенные данные о жизни на Марсе? Причин, по-видимому, несколько. Во-первых, как отмечают сами исследователи, характеристики аппаратуры и выбранных методов недостаточно совершенны. Во-вторых, не исключена возможность, что жизнь на Марсе сосредоточена в определенных местах, своего рода «оазисах», а не повсюду на планете. В-третьих, спасаясь от ультрафиолетовых лучей, микроорганизмы могут находиться в различных укрытиях. В связи с этим был запланирован такой способ управления заборным устройством «Викингов», который позволял перевернуть камень, лежащий неподалеку от спускаемого отсека, а из-под него затем взять пробу грунта. Дело в том, что место под камнем в течение многих миллионов лет было защищено от воздействия солнечного ультрафиолетового излучения.

Однако и этот эксперимент закончился безрезультатно; американские специалисты так и не смогли ответить на главный вопрос – найдены ли признаки жизни на «красной планете».

Многие ученые полагают, что причина неудачи в попытках обнаружить марсианскую жизнь кроется в геоцентризме заложенных в «Викингах» экспериментов. Марсианские микробы могут реагировать на предложенные им условия совершенно иначе, чем предполагали американские ученые. Это касается, например, температуры инкубирования. Возможно, что в испытательных камерах слишком тепло (здесь температура никогда не понижалась менее чем до +5°C) по сравнению с температурой, господствующей на планете (до –90°C). Ведь не исключено, что марсианские микроорганизмы не могут, в отличие от земных, использовать жидкую воду. Однако более правдоподобной причиной неудачи «Викингов» в их попытках обнаружить жизнь на Марсе может быть существование в его грунте таких химических соединений (перекисей, «суперперекисей», озонидов), которые разрушаются при контакте с водой, выделяя кислород. Последний «сжигает» (окисляет) органические вещества с образованием углекислого газа. Такие условия предотвращают возможность обнаружения жизни теми методами, которые были взяты на вооружение американскими учеными.

Но означает ли это, что сильные неорганические окислители исключают возможность существования живых организмов? Большинство ученых отвечает на этот вопрос отрицательно. На Марсе могут быть микроорганизмы, которые «научились» потреблять нестойкие соединения, чтобы использовать кислород в качестве источника энергии. К сожалению, это лишь гипотезы.

Но и исходя из того, что ученые узнали о Марсе во время полета «Викингов», можно сделать ряд новых выводов о возможности жизни на этой планете. Выяснилось, например, что на Марсе имеется все, что нужно для жизни: энергия в виде солнечного света, вода, азот, углерод, фосфор и ряд других данных. Есть все, но пока нет главного – уверенности в существовании жизни...

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приступая к проведению экспериментов по поиску жизни на Марсе, ученые рассчитывали получить однозначные ответы – да или нет – на вопрос о существовании на этой планете жизни. В соответствии с этими ответами приблизительно поровну распределялось число сторонников и противников проведения космических биологических исследований. В настоящее время положение в исследованиях по проблеме космической жизни принципиально не изменилось – как ранее, так и теперь отсутствуют экспериментальные данные, доказывающие факт существования инопланетных организмов. Так кто же сейчас торжествует: оптимисты или скептики?

Допустим, что жизнь на Марсе достоверно обнаружена. С точки зрения науки открытие инопланетной жизни значительно укрепило бы позиции экзобиологии среди других научных дисциплин, вызвало бы усиление ее популярности. Несомненно, что в таком случае интерес к Марсу проявился бы в еще большей степени и возникло бы неодолимое желание продолжать исследования.

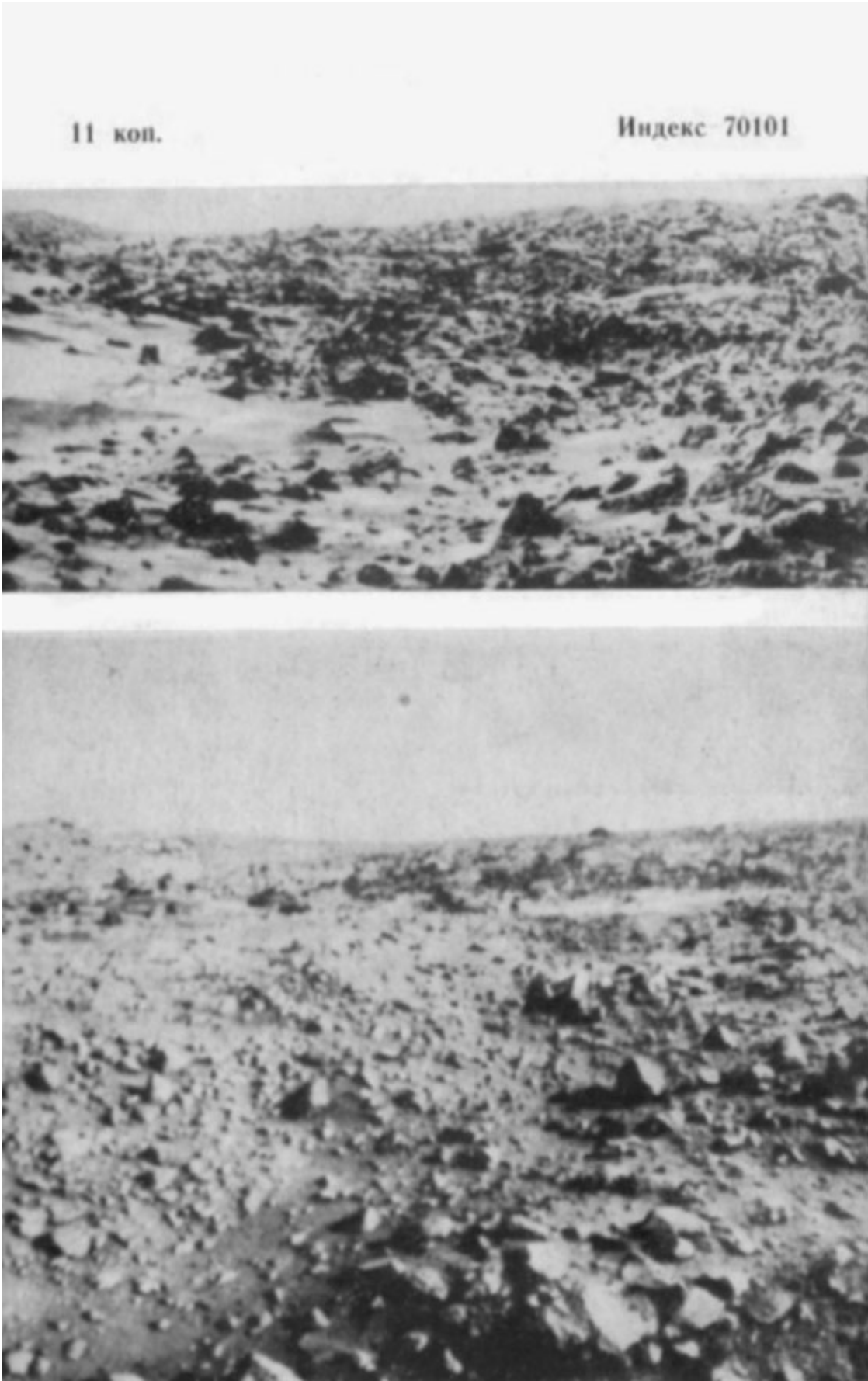
Наоборот, если бы аппаратура «Викингов» сообщила бы вполне определенно, что Марс – планета «безжизненная», то это вызвало бы известную долю разочарования и падения интереса к Марсу. Прочные позиции получили бы скептики, утверждающие, что длительное воздействие неблагоприятных факторов предотвращает появление на планете живых организмов.

Данные же, переданные «Викингами», оказались настолько ошеломляюще противоречивыми, что безусловно в стратегию поиска жизни на Марсе в дальнейшем будут внесены существенные изменения, продиктованные результатами программы «Викингов». И все-таки более предпочтительны позиции оптимистов. Во-первых, потому, что возникшая ситуация прямо указывает на необходимость дальнейших биологических исследований Марса, поскольку лишь серия последующих полетов на планету космических аппаратов позволит внести ясность в данную проблему. Во-вторых, возможно, что мы имеем дело с иной организацией жизни на этой планете. Тогда несомненно, что ее изучение позволит совершить настоящую революцию в биологии и науке вообще.

Интересно, что, даже если будут получены твердые доказательства отсутствия жизни на Марсе, это представит определенный интерес для фундаментальной биологии, так как позволит ученым понять, какие условия необходимы для химической и биологической эволюции. Ученым, в частности, легче будет познать

прошедшую геологическую историю Земли и подойти, тем самым, к решению многих еще не ясных вопросов происхождения жизни на Земле.

Проблема поиска жизни на Марсе, как и на других космических телах Вселенной, пока остается открытой. Важность этой проблемы отметил в свое время академик А. И. Опарин: «Исследование планет, и, в частности, Марса – во имя Земли – вот главный смысл работы советских и американских аппаратов в космосе». Нет сомнения, что полет станций «Викинг» на Марс лишь усилит темпы проведения теоретических и экспериментальных исследований по данной проблеме, и совсем в недалеком будущем мы, вероятно, будем твердо знать, существует или нет жизнь на Марсе и других планетах Солнечной системы.



Борис Герасимович Мурзаков

ПРОБЛЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ЖИЗНИ НА ПЛАНЕТАХ

Главный отраслевой редактор И. Г. Вирко Редактор Е. Ю. Ермаков Младший редактор Т. И. Полякова

Обложка В. А. Фатехова Худож. редактор М. А. Гусева Техн. редактор Т. Ф. Айдарханова Корректор С. П. Ткаченко

Т-13704. Индекс заказа 74208. Сдано в набор 19.V 1977 г. Подписано к печати 8.VII 1977 г. Формат бумаги 84 х 108 1/32. Бумага типографская № 3. Бум. л. 1,0. Печ. л. 2,0. Усл. печ. л. 3,36. Уч.-изд. л. 3,42. Тираж 30 240 экз. Издательство «Знание». 101835. Москва, Центр, проезд Серова, д. 4. Заказ 963. Типография Всесоюзного общества «Знание». Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4. Цена 11 коп.