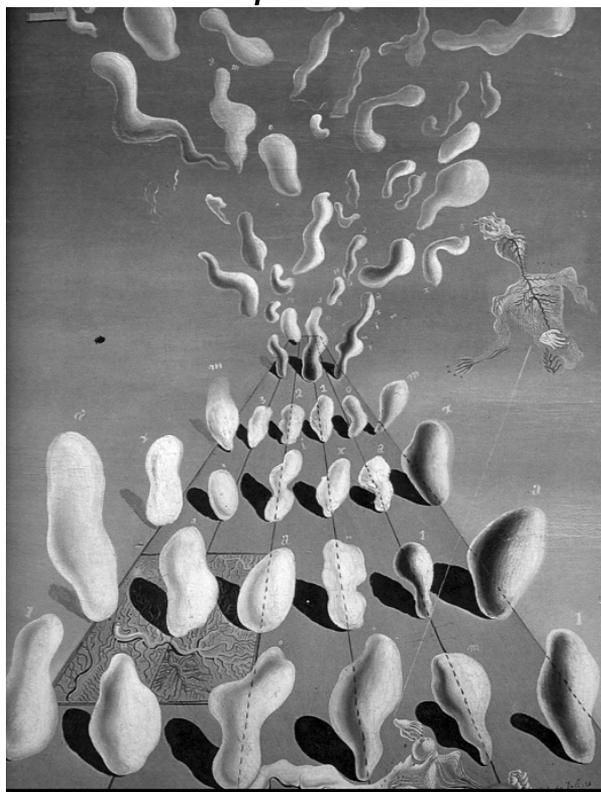


*Александр Грудинкин*

# На Земле мы нашли «марсианских микробов» лишь четверть века назад



*Сальвадор Дали.  
Сюрреалистическая композиция,  
1928 г.*

Всюду жизнь! В недрах Земли сложилась своя уникальная фауна, представленная очень многочисленными и разнообразными колониями микробов. Кажется, нет ни одной расселины, ни одной поры и полости, не населенной этими крохотными организмами. Их семейства процветают в сотнях метров и даже километрах от поверхности нашей планеты. Подобные микроорганизмы могли бы существовать во Вселенной всюду, где только есть вода, в том числе и на ближайшей к нам крупной планете — Марсе. Вполне возможно, что жизнь, зародившись в одном из уголков космоса, оттуда распространилась по Вселенной, в том числе около 4 миллиардов лет назад достигла Земли. Подробнее о проблеме происхождения жизни мы поговорим в Главной теме следующего номера.

Земля живет! Верхние слои ее коры пронизаны жизнью. Мы думаем, что толща земли под нашими ногами числится лишь по ведомству геологии. На самом деле, это еще одна обширная экосистема, обитатели которой невидимы, как пустота.

А ведь вроде бы нет ничего противоестественнее самой возможности жить в подобных условиях: крошечная тьма, невероятное давление, нарастающая жара. И все же здесь, «в топи смрадной»\*, где, как недавно казалось, — «по определению не может быть жизни» — ее больше, чем где-либо еще на нашей планете. Мириады разных микробов, прекрасно приспособленных к этой специфичной среде, населяют отложения на дне океанов, застывшую вулканическую лаву и даже гранит, из которого состоит материковая кора. «В камне сероватом они совсем такие же на взгляд», как в рыхлой почве. Они обитают всюду, где есть вода и где жара еще не стала невыносимой даже для микробов.

Очевидно, ограничивает этот «круг жизни в смерти» температурный барьер. Даже самые жаростойкие микроорганизмы не могут выжить при температуре свыше 113 градусов Цельсия. Эта граница пролегает в 3 — 10 километрах от поверхности Земли (точное ее положение зависит от теплопроводности тех или иных пород, составляющих кору). Ее не смеет пересечь ни один микроб.

Однако насколько же разнообразно это сообщество подземных организмов, насколько же широко оно распространено, настолько же плохо изучено современной наукой! Весь этот огромный мир жизни, получивший название «глубинной биосферы», во многом остается белым пятном. Мы можем по-прежнему мечтать о том, как займемся поиском микробов, по некоторым гипотезам, прячущихся под поверхностью Марса, но мы пока еще мало что делаем для того, чтобы изучить мириады их, обитающих под землей.

\* Здесь и далее цитаты из «Божественной комедии» Данте Алигьери приведены в переводе М. Лозинского.

## Загрязнение проб грунта?

Долгое время в науке было укоренено мнение о том, что жизнь может существовать лишь там, где есть солнечный свет и кислород. С этой точки зрения, сама идея о том, что живые организмы могут поселиться глубоко под землей, казалась абсурдной. Такого мнения придерживались многие ученые вплоть до второй половины XX века. О подземных мирах, полных удивительной жизни, писали разве что фантасты, вроде Жюль Верна, автора «Путешествия к центру Земли».

Однако факты как будто начали опровергать догму. В образцах грунта, извлеченных при бурении глубоких скважин, неизменно находили сообщества микробов. Долгое время специалисты игнорировали эти находки, ведь их «не должно быть по определению». Как правило, биологи, привлеченные для экспертизы, лишь покачивали головой и говорили, что «микробы занесены с поверхности земли».

Так было в 1920 году, когда два исследователя из Чикагского университета, изучая нефтяной осадок, взятый с глубины 600 метров, обнаружили там бактерии. Их выводы подверглись убийственной критике. «Загрязнение проб грунта» — таков был приговор и в этом случае, и во многих других. Так неизменно пресекалась любая попытка исследований на эту тему.

Лишь около четверти века назад старая догма все-таки пала. В 1985 году исследователи из Министерства энергетики США во главе с Фрэнком Уоббером проводили бурение в штате Южная Каролина в поисках подходящего места складирования радиоактивных материалов. Благодаря специальным уплотнениям эти образцы грунта невозможно было загрязнить никакими микробами.

И вот при исследовании проб, взятых с глубины в полкилометра, выяснилось, что они кишат живыми бактериями. Так родилась сенсация. Еще никогда прежде ученые не располагали столь очевидным доказательством существования жизни в нескольких сотнях метров под поверхностью зем-

ли. Наконец научный мир прислушался к новости, донесшейся из недр планеты. Начались поиски поселившихся там бактериальных сообществ.

### **Столотворение в «пыльном подвале Земли»**

Их обнаруживали буквально всюду. Бактерии, вирусы и грибы преспокойно проживали даже на глубине 3,5 километра. Самые крохотные трещины и поры земной коры были заполнены огромным количеством микробов. В одном-единственном грамме грунта или миллилитре грунтовых вод их встречалось до сотни миллионов. Как отмечает американский микробиолог Стивен Д'Хондт на страницах журнала Science, «самая большая загадка глубинной биосферы — это высокая плотность микроорганизмов, ее населяющих».

По оценке Томаса Голда из Корнеллского университета, масса всех подземных форм жизни на нашей планете, пожалуй, превосходит массу всех наземных организмов. Другие исследователи не столь радикальны, но и они считают, что общая масса «глубинной биосферы» составляет до трети наземной биосферы. Если бы этим микробам был дан голос, то бы каждый из нас *«отовсюду слышал громкий стон, но никого окрест не выявлялось»*. Так многочисленна и так неприметна, не узнана до недавних лет эта микрофауна первых подвальных этажей планеты. Специалисты полагают, например, что большая часть прокариотов — одноклеточных организмов, у которых нет ограниченной мембраной ядра, — обитает у нас под ногами.

«Самое удивительное, что мы даже не вправе называть глубинную биосферу каким-то экзотическим биотопом, — отмечает Баркер Йоргенсен, директор Института морской микробиологии из Бремена. — Значительная часть живых организмов, населяющих нашу планету, скрывается под землей». Только за последние годы обнаружено от 10 до 15 тысяч новых видов микробов в этом «пыльном подвале Земли».

Количество и разнообразие подземной жизни далеко затмило все прежние предположения. Неожиданно для себя ученые открыли целый «затерянный мир», который и не предполагали найти на нашей планете.

Это открытие не могло не повлечь за собой ряд вопросов. Как выживают все эти микробы? Откуда они черпают энергию? Откуда они вообще там взялись? И как выдерживают громадную жару, царящую глубоко под землей? Какие ферменты и протеины помогают им это сделать?

Возникают и практические вопросы. Недра нашей планеты превращаются в большую свалку, пропитанную промышленными ядами. Как правило, именно здесь хоронят радиоактивные отходы. Как повлияет подобное соседство на микробов? Что если они станут нашими подземными «мусорщиками»? Будут перерабатывать вредные материалы, превращая их в безобидное сырье? И наоборот: а не могут ли эти «населенники преисподней» повредить контейнеры с ядовитыми или радиоактивными веществами? Насколько надежны подобные могильники? Пока никто из ученых не берется категорично ответить хотя бы на один из данных вопросов.

### **Чем кормятся эти экстремисты?**

Попробуем мысленно проникнуть в эту terra incognita, задержавшись, допустим, в километре ниже земной поверхности. Там невероятно темно и тесно и еще очень жарко. Свет не проникает сюда; здесь нет и кислорода. Органическая пища отсутствует. В принципе, здесь нет самого необходимого, без чего жизнь, — верилось многим, — просто не могла бы существовать. Однако она есть. Эти незримые организмы привычно живут в тех условиях, в которых обычно принято что-либо обеззараживать от колоний микробов. Что для одних смерть, для других — для обитателей глубинной биосферы — поистине «тепличные» условия.

Самые примитивные бактерии и археобактерии оказываются поразительно стойкими. Они выдерживают

температуру несколько выше точки кипения, давление — более 1200 атмосфер и могут находиться без ущерба для себя в концентрированной кислоте или щелочи. Эгих микробов ничем не проймешь. Для них жизнь под километровой толщей скальных пород, «под полушарьем тьмы», — это нечто обыденное, будничное. Их поживой бывает даже то, на что никогда не польстятся их «соплеменники» на «верху» планеты. Кислород же, солнечный свет, умеренные комфортные температуры — все, что, по нашему мнению, благоволит жизни, кажется им абсолютным злом.

Но чем живут эти экстремисты? Чем они кормятся? Даже самые примитивные микроорганизмы нуждаются в некоторых веществах — фундаментальных элементах «химии живого». В углероде, азоте, фосфоре, сере, отдельных металлах.

С нашей точки зрения, самыми счастливыми обитателями подземного мира можно назвать те организмы, которые населяют верхние слои отложений на дне океана. Здесь им еще переппадают органические вещества. В вязком, илистом грунте можно встретить многочисленные останки животных, населявших морские просторы. Разлагая углеродные соединения, содержащиеся в биологических тканях, подземные микробы черпают нужную им энергию. Используют они и другие вещества.

Начиная с 2003 года в рамках проекта «Ocean Drilling Programme» (ODP) — международная программа бурения дна океана — ученые уделяли немало внимания «глубинной биосфере». В частности, в богатых метаном и сульфатом донных отложениях у берегов Перу были обнаружены несколько групп бактерий, которые придерживаются разных стратегий потребления. В их «отверженных селеньях» течет нормальная, по их меркам, жизнь. Одни вырабатывают метан из водорода и углекислого газа; другие разлагают сульфаты; третьи потребляют соединения железа и марганца.

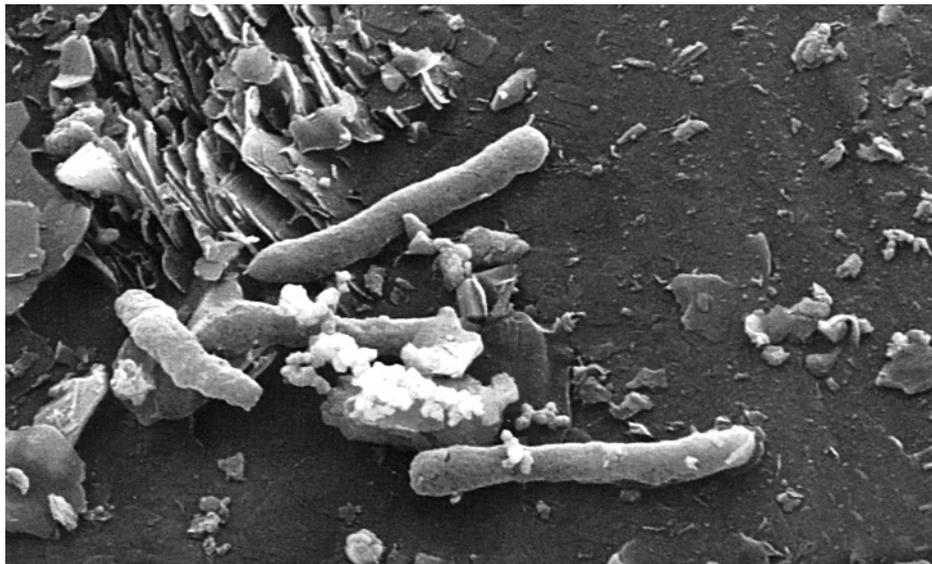
Обитатели лавовых слоев в окрестности подводных вулканов избрали в

чем-то схожую стратегию, помогающую им выжить и найти пропитание. Исследователи из Калифорнийского университета, занимаясь бурением застывших потоков лавы, обнаружили там мельчайшие ходы, в которых сохранились фрагменты ДНК микробов. Очевидно, эти ходы проделали сами микроорганизмы. Пожирая вулканическую породу, они добывали себе энергию. Впрочем, ученые затрудняются пока восстановить последовательность процессов, приводящих к этому.

На первый взгляд, еще труднее микробам, приютившимся где-то в толще гранита или базальта. Например, колонии бактерий, обнаруженные в окрестности Йоханнесбурга, в базальтовых породах возрастом около 2,7 миллиардов лет, поселились там, где, кажется, не может быть жизни. Однако их сообщество существует уже миллионы лет. Как полагают биологи, по какой-то причине оно оказалось отрезанным от поверхности Земли как минимум 3 и как максимум 25 миллионов лет назад. Позднее микробы проникли в расселины древних пород и стали использовать для жизни энергию, выделяющуюся при реакции водорода с соединениями, содержащими серу. Этот газ возникает в недрах планеты при естественном излучении таких веществ, как уран или торий, поскольку молекулы воды под действием радиации распадаются на водород и кислород (подробнее об этих микробах читайте статью Б. Жукова в «З-С», 3/09).

Карстен Педерсен из Гетеборгского университета, исследуя один из рудников в Швеции, выявил три группы микроорганизмов, которые использовали для выработки энергии водород. В одном случае они синтезируют ацетат, соль уксусной кислоты, из водорода и углекислого газа; другая группа микробов преобразует ацетат в метан и, наконец, третья получает метан непосредственно из водорода и углекислого газа.

Есть и другие стратегии, позволяющие уцелеть в «каменном поясе» Земли. Что еще могут предложить эти



простейшие и хитрейшие организмы, «вечно живые» на протяжении всех геологических эр? Уменье прижиться там, где *«нет надежды на смягченые мук»*.

#### «Жизнь есть сон»

Ошибочно полагать, что глубинная биосфера — это рай для микроорганизмов. Результаты исследований говорят, скорее, об обратном. В местечке Тейлорсвилль, в американском штате Вирджиния, исследователи во главе с Томасом Фелпсом обнаружили колонию микробов на глубине 2,7 километра. Однако дальнейшие наблюдения за ее обитателями предотвратили «головокружение от успехов». Микробы казались мертвеннее камня, среди которого жили. Почти ни один не проявлял активности. Даже процессы роста, кажется, прекратились. Жизнь, приняв нежданное обличье, остановилась — словно достигла *«области, неведале отстоящей от места сна»*.

Изучение «глубинной биосферы» невольно заставляет задуматься о том, что такое жизнь и чем она отличается от «вечной нежизни». «Мы полагали, что все организмы должны расти, чтобы иметь возможность выжить. Это действительно справедливо для любых животных, обитающих на поверх-

ности планеты, но, очевидно, бактерии, оказавшиеся в самых суровых условиях, какие только можно себе представить, придерживаются другой стратегии выживания, — поясняет Фелпс. — Там, внизу, они почти ничего не делают, не проявляют никакой активности — только стараются продержаться».

Жизнь готова выдюжить и в таких условиях, но платит за свою неприхотливость особую цену — «цену смирения». Микробы, найденные на большой глубине, долгое время проводят практически в спячке. Эти мнимо омертвевшие — живые! — клетки даже не размножаются. Недостаток питательных веществ, испытываемый ими, вынуждает их вести самый жесткий режим экономии. Другие микроорганизмы размножались в среднем раз в несколько сотен, а то и тысяч лет. По сравнению с ними микробы, населяющие поверхность планеты и — в том числе — наши собственные тела, живут буквально «со скоростью света», например, бактерии, заполнившие кишечный тракт человека, делятся каждые двадцать минут.

Участники проекта ODP, исследовав различные образцы донных отложений, поднятые с глубины в 500 с лишним метров, обнаружили, что на сотню бактерий приходится, самое

большее, одна, подающая признаки жизни, — иной раз даже одна из ста тысяч. «Большинство микробов, встречающихся в отложениях, обнаруженных на морском дне, были вынуждены либо приспособливаться к паразитично медленно протекающим здесь процессам обмена веществ, — либо умереть», — таков вывод исследователей.

### Взлеянные Сейсмсом

Открытие глубинной биосферы не только любопытно само по себе, но и весьма поучительно для геологов. Оно побуждает их пересмотреть сами основы привычной для них науки. Это царство микробов, расстелившееся у нас под ногами, не смануть за ненадобностью. Оно есть. Нельзя досконально изучить геологические процессы, протекающие в земной коре, не обратив внимания на ее обитателей. Ведь они сплошь и рядом активно участвуют в них. «Микробы очень медлительны, но, если принимать во внимание геологические промежутки времени, они оказывают огромное влияние на круговорот веществ в недрах нашей планеты», — полагает Баркер Йоргенсен.

● Так, мы традиционно говорим об эрозии горных пород, как о физико-химическом процессе, в то время как в действительности имеем дело с биохимическим процессом, который в немалой степени зависит от деятельности мельчайших живых организмов, поселившихся в земной коре.

● Залежи метанового льда — гидрата метана, — выстилающие обширную часть дна Мирового океана, тоже возникли благодаря деятельности подземных бактерий. Метан выделяется в результате переваривания ими органических веществ — остатков отмерших организмов, опустившихся на дно.

● Этот «неисчислимый ряд» микробов может играть важную роль и в образовании месторождений нефти и природного газа.

Особенно хорошо обитатели бактериального подземелья чувствуют себя там, где всего неспокойнее — в сейс-

мически активных зонах. Причина в том, что в очагах землетрясений бурно протекают различные химические процессы, в частности, молекулы воды разлагаются на водород и кислород. Ведь радиоактивный распад элементов, содержащихся в земной коре, — отнюдь не единственный источник получения водорода. Ученые насчитали еще пять геологических процессов, в результате которых выделяется водород. Например, он высвобождается при попадании в морскую воду такой горной породы, как перидотит. Расщепление молекул воды происходит и после того, как в результате землетрясения начнут раскалываться горные породы. Это создает идеальные условия для микроорганизмов, которые питаются водородом.

Как полагают микробиологи, именно в пору бурного протекания сейсмических процессов «глубинная биосфера» буквально расцветает. В это время она получает как никогда много питательных веществ. Многолетняя спячка микробов прекращается. В некоторых случаях не нужно даже специальных приборов, чтобы заметить, как изменилась биохимическая активность земных недр после пробуждения Сейсмсом.

Одно из косвенных доказательств в пользу этой гипотезы было получено осенью 2000 года на саксонском курорте Бад-Брамбах. После серии подземных толчков, наблюдавшихся в окрестности, содержание метана в минеральном источнике внезапно повысилось в восемь раз. По-видимому, пробудилась к жизни колония метанобразующих бактерий, поселившаяся в расселинах гранитной скалы, из которой берет начало этот целебный источник. Гранит содержит и некоторые примеси урана, распад которого способствует выделению водорода. Очевидно, этот газ скапливался в полостях и расселинах скалы, не проникая к колонии микробов. По гипотезе немецкой исследовательницы Карин Бройер, во время землетрясения, когда часть пород раскололась и сдвинулась, этот скопившийся водород наконец достиг микробов, и те ожили.

Для них началось настоящее пиршество. Их активность возросла в несколько раз.

### **«Зарождение бактерий под фоном космической бомбежки»**

«Глубинная биосфера», как установили ученые, существовала еще во времена динозавров. Некоторые колонии микробов населяют свои подземные «оазисы» от 80 до 160 миллионов лет. Порой они буквально замурованы в крохотных расселинах и порах горных пород, все эти миллионы лет не имея надежды выбраться оттуда. Но как они проникли в свои узилища?

Возможно, одни из них населяли когда-то поверхность планеты, но в результате сейсмических катастроф или вулканических извержений были засыпаны землей и приспособились к новым условиям жизни. Другие семейства микроорганизмов были смыты потоками воды и вместе с ними просочились в глубь почвы, где и обосновались отныне. В пользу этих гипотез говорит то, что большинство микробов, обнаруженных под землей, имеет определенное сходство с организмами, населяющими ее поверхность, и, может быть, даже состоит с ними в родстве.

Но некоторые биологи отстаивают другую — радикальную — гипотезу: жизнь могла зародиться... под землей. Еще несколько десятилетий назад, когда были открыты горячие глубоководные источники, так называемые «черные курильщики» — уникальный биотоп, расположенный на дне океана, привычная гипотеза возникновения жизни на нашей планете — идея «первородного бульона» — была поколеблена. Согласно ей, жизнь появилась на свету. Однако «черные курильщики», изобилующие питательными веществами, с полным на то основанием тоже могут считаться «колыбелью жизни». Тем более, пару миллиардов лет назад наша планета была для жизни «мало оборудована». В отсутствие плотной азотно-кислородной атмосферы смертоносное ультрафиолетовое излучение проникало

почти к поверхности Земли — как теперь на Марсе, — выжигая все живое. Мощные извержения вулканов поливали все вокруг огнем и посыпали пеплом. Метеориты, падавшие бомбами на планету, оставляли громадные кратеры.

«Зарождение жизни на фоне космической бомбежки» было далеко не гладким. «Жизнь на поверхности планеты часто оказывалась под угрозой уничтожения, но на полукилометровой глубине условия были, пожалуй, что комфортными», — подчеркивает Карстен Педерсен. Вполне вероятно, что колонии микробов, поселившиеся в «подвале планеты», вовсе не были случайно засыпаны лавой и вулканическим пеплом. Жизнь могла зародиться там, в земных недрах, и лишь впоследствии микроорганизмы выбрались на поверхность, как еще позднее обитатели морей начали завоевывать сушу.

Вряд ли случайно в пробах грунта, взятых на большой глубине, неизменно обнаруживаются архебактерии. Они считаются исконными обитателями нашей планеты. С тех пор Земля удивительно изменилась, стала во многом такой же непригодной для жизни архебактерий, как воздух и суша — для рыб. Зато их можно обнаружить в таких «оазисах первородной жизни», как «черные курильщики», или в очень соленых водоемах.

Впрочем, пока мы слишком мало знаем о подземных микробах, чтобы с уверенностью судить о том, не их ли далекие предки положили начало жизни на Земле. Будущие исследования наверняка внесут ясность и в ответ на этот вопрос. Если идея зарождения жизни в недрах планеты подтвердится, то почему бы микробы не могли появиться и в марсианском грунте? Может быть, их колонии и теперь процветают там — «глубинная биосфера Марса»?

**Есть жизнь на Марсе.  
Ее не может не быть!**

В самом деле, открытие «глубинной биосферы» не только может оп-



Хуан Миро.  
«Карнавал»

ровергнуть привычные представления о происхождении жизни на Земле, но и окрыляет ученых, мечтающих отыскать ее на других космических телах. Если жизнь зародилась в недрах одной планеты, то почему бы ей не возникнуть в сотнях метров от поверхности другой? В сотнях метров, а не в нескольких десятках сантиметров, где ее пытался искать «Феникс» минувшим летом (см. «З-С», 12/08)! Так что каждая новая неудача космических аппаратов, занятых поисками жизни на Марсе, отнюдь не умаляет шансы найти ее. Мы просто не там ее ищем!

Среди планет Солнечной системы именно Марс остается самым вероятным кандидатом на звание «живой планеты». Разве что сто лет назад астрономы верили в «крохотных зеленых человечков», строящих каналы на этой «планете бурь». Теперь фаворитами Марса становятся микробы, населившие все расселины и каналцы марсианского грунта. Разве вера в них так уж фантастична? Почему бы им не выжить на Марсе, раз у нас на Земле

им не страшны никакие яды? Эти обитатели заброшенных рудников и безжизненных скал знают, как уцелеть даже тогда, когда поверхность твоей планеты давно мертва.

Чем больше ученые узнают о «глубинной биосфере», тем сильнее убеждаются в том, что жизнь во Вселенной в самых примитивных формах может существовать всюду, где только есть вода. Поэтому марсианский грунт с его огромными запасами водяного льда кажется чуть ли не идеальной областью обитания микроорганизмов, наподобие тех, что приютились в «пыльном подвале Земли». Там, в 3 — 4 километрах от поверхности, тоже царят громадные давления, тоже есть вода в жидкой форме, есть такие металлы, как торий и уран, — возможные источники пищи. Когда-нибудь космические аппараты одного из следующих поколений проникнут далеко в глубь марсианского грунта и все-таки докажут, что жизнь на этой планете есть. Ее не может не быть!