

Метан на Марсе — это жизнь?

О.И.Кораблев

Есть ли жизнь на Марсе? Проходят годы, работают поколения ученых, запускаются космические аппараты, а однозначный ответ на этот вопрос так и не получен. Сейчас пять научных спутников работают на орбите вокруг Марса и два ровера трудятся на поверхности. Какие новые факты относительно обитаемости Марса получены за последние годы? Какие строятся планы относительно обнаружения на нем жизни?



Олег Игоревич Кораблев, доктор физико-математических наук, заместитель директора и заведующий отделом физики планет ИКИ РАН. Область научных интересов — физика планет и космические эксперименты. Научный руководитель экспериментов в программах «Mars Express», «Venus Express», «ExoMars» и др.

Исследования Марса

«Природа» не раз обращалась к теме исследований Марса [1, 2]. Основные сведения о красной планете получены по данным космических аппаратов, в основном американских. Ранние запуски были предприятиями высокого риска. Вместе с задачами исследования и техническими проблемами межпланетных перелетов решались задачи отработки ракет-носителей. С 1960 по 1973 г. СССР произвел 18 запусков, нацеленных на Марс. Два посадочных аппарата — «Марс-3» и «Марс-6» — впервые в истории достигли поверхности планеты. В дальнейшем усилия СССР в области исследования планет сосредоточились на Венере, в то время как США удалось реализовать наиболее успешную марсианскую миссию XX в. — программу

«Viking» (1975—1982). В этом проекте была предпринята и первая серьезная попытка поиска жизни, но противоречивые результаты соответствующих экспериментов задержали дальнейшие исследования на долгие 15 лет. За это время были существенно переосмыслены цели и задачи дальнейшего изучения красной планеты. Главным вопросом стал не поиск жизни, а сама возможность ее существования на Марсе. Открытие флювиальных форм рельефа и появление первых палеоклиматических моделей [3] привели к концепции раннего теплого и влажного Марса, разрабатываемой и совершенствуемой и поныне.

После краткого исследования Марса в проекте «Фобос-2» (1988) к 1990-м годам космические сверхдержавы запланировали две масштабные миссии: «Mars Observer» (спутник для всесторонних дистанционных исследований) в США и «Марс-96» (небывалая комбинация тяжелого спутника, марсохода, аэростатных зондов и двух малых станций) в СССР. Обе попытки обернулись неудачей. Наиболее драматична судьба «Марс-96». Планировавшийся на 1992 г. проект с трудом (уже без аэростатов и ровера) удалось довести до запуска только к 1996 г. В сочетании с глубокой структурной перестройкой общества в Советском Союзе катастрофа «Марс-96» надолго затормозила национальные планетные изыскания. Существенная часть научных исследований орбитальной миссии этой программы выжила только благодаря европейскому проекту «Mars Express».

В настоящее время изучение Марса идет широким фронтом (рис.1). После «Марс-96» уже запущены 15 космических аппаратов, девять из них успешны, а семь работают до сих пор. Это спутники «Mars Odyssey», «Mars Express», «Mars Reconnaissance Orbiter» (MRO) и два новых проекта — миссия по наблюдению экзосферы

© Кораблев О.И., 2015

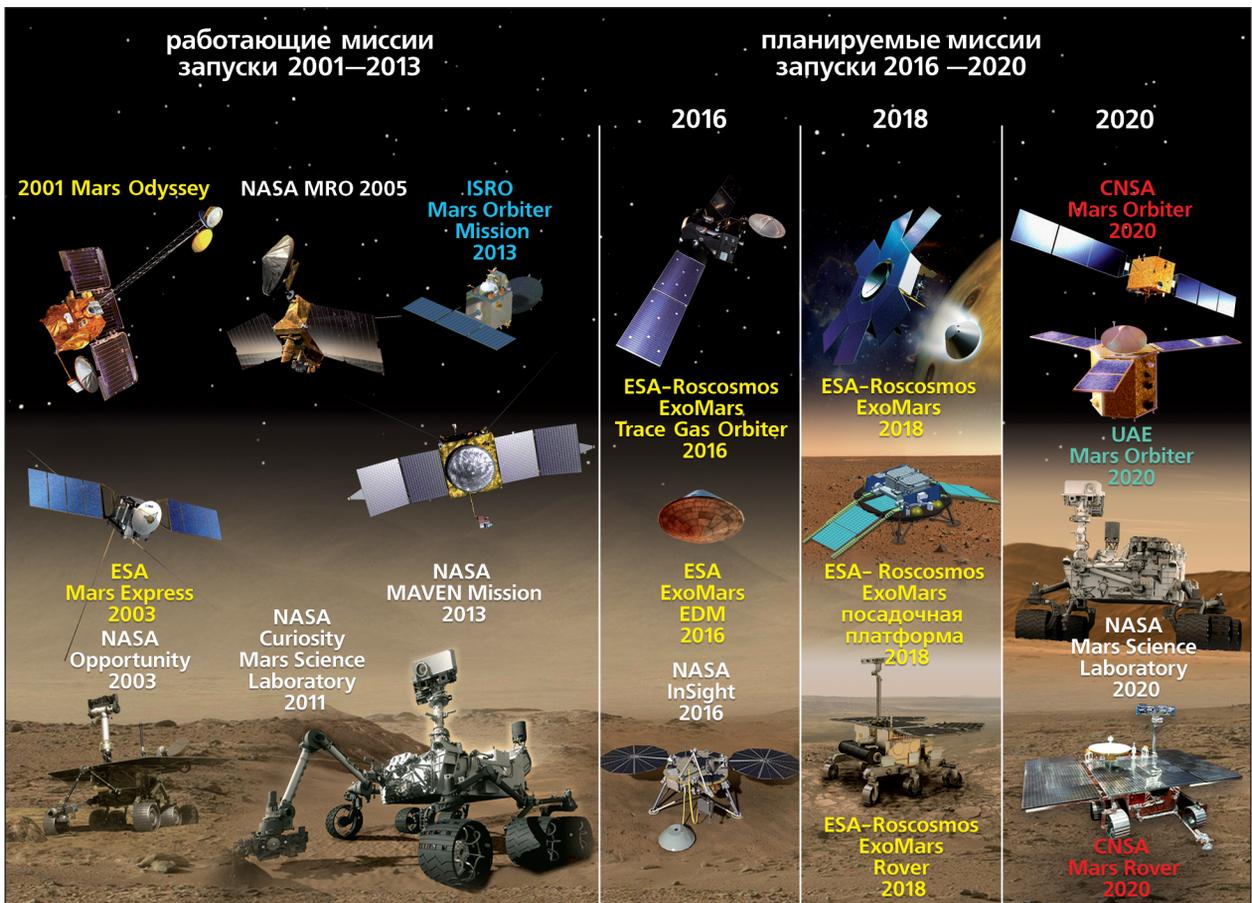


Рис.1. Исследования Марса космическими аппаратами и планируемые миссии (по материалам НАСА, 2014, с дополнениями).

и плазменного окружения «Mars Atmosphere and Volatile Evolution mission» (MAVEN) и индийский спутник «Mars Orbiter Mission» (MOM). На поверхности активны и два американских ровера — «Opportunity» и «Curiosity». Подготовлены и планируются новые миссии. На 2016 г. намечен старт первой части совместного проекта Европейского космического агентства (ЕКА) и Роскосмоса «ExoMars» — спутника TGO («Trace Gas Orbiter») и демонстратора посадки «Entry, Descent and Landing Demonstrator Module» (EDM). В том же году будет запущен посадочный аппарат НАСА «InSight», нацеленный на исследования внутреннего строения планеты. В 2018 г. предполагается запустить вторую часть проекта «ExoMars» — ровер, оснащенный буровым устройством для поиска следов жизни на глубине до 2 м и долгоживущую посадочную платформу для климатического мониторинга и геофизических исследований. В 2020 г. НАСА планирует начать первый этап проекта по доставке грунта — ровер для выбора и складирования образцов. На тот же год заявлены экспедиции к Марсу и новых космических игроков: Китайского космического агентства и Объединенных Арабских Эмиратов. Облик этих миссий пока до конца не ясен.

Современный климат Марса

Накопленный материал о планете очень велик. Получено множество новых данных о ее атмосфере и климате. Степень детальности и точности в описании климатических процессов уже приближается к дистанционным наблюдениям Земли.

Климат Марса определяется его удаленностью от Солнца (в 1.52 раза дальше, чем Земля) и наклоном оси вращения, сходным с наклоном оси Земли. В связи с этим, на Марсе есть ярко выраженный сезонный цикл, осложненный большим эксцентриситетом его орбиты. Расстояние до Солнца изменяется от 1.36 до 1.64 а.е. Зима в северном полушарии совпадает с афелием, что делает ее существенно холоднее, чем в южном. (Для сравнения: во время северной зимы Земля сближается с Солнцем, но смягчающий эффект почти незаметен из-за малого эксцентриситета.) Атмосфера Марса на 95% состоит из CO₂. Кроме того, она содержит 2% Ar и 1.8% N₂ и в малых количествах O₂, CO, водяной пар, NO, H₂, а также H₂O₂, Ne, Kr и Xe.

Средняя температура на Марсе –60°С, а давление 6 мбар (случайно или нет, они близки к тройной точке воды). Летом на солнце поверхность иногда прогревается до 20—25°С. С орбиты заме-

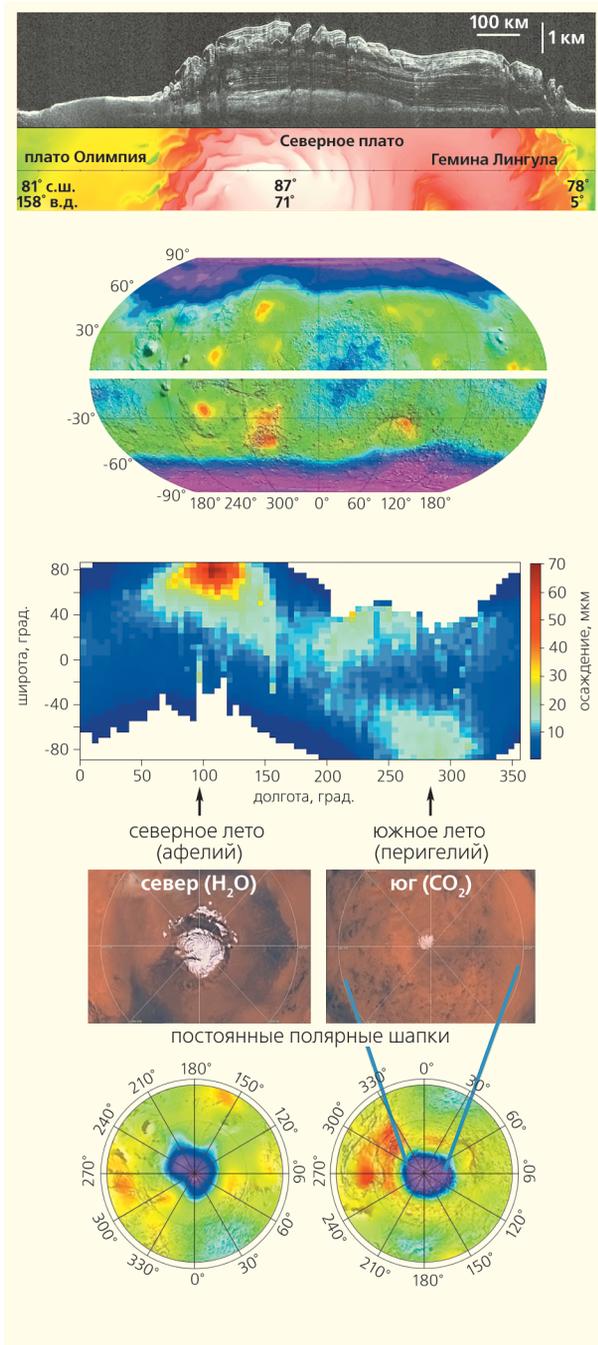


Рис.2. Основные данные о гидросфере Марса. Сверху вниз: разрез северной полярной шапки (данные прибора MARSIS — «Mars Advanced Radar for Subsurface and Ionosphere Sounding» — на аппарате «Mars Express»); сезонный цикл водяного пара в атмосфере (данные прибора SPICAM — «Spectroscopy for Investigation of Characteristics of the Atmosphere of Mars» — на аппарате «Mars Express»); нейтронные данные, соответствующие содержанию водорода в 1—2 м поверхности (данные приборов HEND и GRS на аппарате «Mars Odyssey»). Синий цвет соответствует максимуму содержания водорода. Концентрация водорода в полярных областях значительно выше, чем должна быть в видимых постоянных полярных шапках [6, 7].

чены возникающие время от времени русла ручьев. По-видимому, таяние обнажающейся мерзлоты образует короткие ручьи с сужающимися руслами (как в аридных районах на Земле). Последние данные показывают, что в теплое время суток солевые растворы (в частности, впервые обнаруженные посадочным аппаратом «Phoenix» перхлораты ClO_4) находятся на поверхности в жидкой форме практически в любом сезоне [4].

Минимальные температуры ограничены конденсацией CO_2 . Зимой до 30% атмосферы конденсируется и выпадает в полярных областях, образуя сезонные полярные шапки. Толщина слоя твердой углекислоты достигает 1—2 м. Важную роль в климате Марса играет пыль. Субмикронная фракция присутствует в атмосфере постоянно, поглощая солнечное излучение и влияя на тепловой режим. Весной во время сублимации полярной шапки в атмосферу попадает большое количество пыли, и иногда возникают глобальные пылевые бури, охватывающие всю планету. Через несколько месяцев атмосфера возвращается к нормальному состоянию. Такому явлению нет аналогов на Земле, но именно исследование пылевых бурь на Марсе навело ученых на мысли о «ядерной зиме» [5]. В спокойные периоды основным механизмом подъема пыли в атмосферу служат так называемые пылевые дьяволы, или смерчи.

В состав гидросферы Марса входят кроме водяного льда, образующего постоянные полярные шапки, гидратированные минералы из зоны вечной мерзлоты (распространенной, вероятно, на всех широтах) и небольшое количество водяного пара из атмосферы. Эквивалентная глубина резервуаров (глубина сферического слоя воды на поверхности идеально шарообразной планеты) определяется с разной степенью достоверности. Хорошо известна ключевая роль атмосферы в переносе воды по планете. Атмосферная вода образует облака, отражающие солнечное излучение, и формирует (в течение десятков тысяч лет) водяной лед асимметричных постоянных полярных шапок. Но общее количество атмосферной воды ничтожно — 10—20 мкм эквивалентной глубины в зависимости от сезона.

Нейтронные спектрометры на космическом аппарате «Mars Odyssey», в том числе российский прибор HEND («High Energy Neutron Detector»), показали, что практически чистый лед постоянных шапок доходит до широт 50—60°, в то время как видимая граница северной полярной шапки летом находится на широте выше 80°, а южной — выше 94° (рис.2). Мощность этих льдов измерена длинноволновым радаром MARSIS на аппарате «Mars Express». Соответствующая эквивалентная глубина воды составляет ~20 м. Хуже известно содержание воды в грунте умеренных и экваториальных широт. Нейтронные данные для глубины 1—2 м в среднем соответствуют 14 см воды. Опираясь на эти измерения, радар для глубин до нескольких со-

тен метров дает модельно-зависимую оценку ~11 м. Таким образом, общее содержание воды на современном Марсе определяется в ~30 м эквивалентной глубины. Из-за ограниченности радарного зондирования это значение имеет характер нижнего предела (т.е. ≥ 30 м). По сравнению с океаном Земли (эквивалентная глубина 2.8 км) это, конечно, немного, но достаточно для существования биосферы. И гораздо больше, чем на Венере, где общее содержание воды не превышает нескольких сантиметров.

По гипотезе однородности первичного состава планет ювенильный Марс мог обладать океаном глубиной ~1.5 км. Осталось же ~30 м. Львиная доля воды была потеряна, и, согласно моделям, — в самом начале его истории, в течение нескольких миллионов лет (ничтожный период по сравнению с возрастом планет — 4.65 млрд лет).

Ранний теплый и влажный Марс

Широко известны геологические свидетельства обильной жидкой воды на поверхности Марса. Ископаемые долины, русла рек, целые дренажные системы охватывают обширные области планеты. Различными методами стратиграфии (но в основном методом сравнения скоростей появления метеоритных кратеров на Марсе и на Луне) оценен возраст данных форм рельефа — около 3.5 млрд лет. Это соответствует Гесперийскому периоду, названному по одноименному плато и отмеченному возникновением лавовых равнин и вулканов (например, горы Олимп). Для образования флювиальных форм рельефа (опять же, по геологическим оценкам) необходимо до 500 м эквивалентной глубины глобального океана.

Жидкая вода должна оставить следы и в формирующихся в ее присутствии минералах. Но долгое время на поверхности не удавалось найти следов ни глин, ни известняков. Впервые мине-

ральный состав поверхности в масштабе планеты изучался инфракрасным картирующим спектрометром OMEGA («Observatoire pour la Mineralogie, l'Eau, les Glaces et l'Activité») на аппарате «Mars Express» с разрешением ~300 м. На ограниченных участках, совпадающих с обнажениями древних кратеров, были обнаружены глинистые минералы (филлосиликаты) — продукт выветривания в присутствии воды силикатных пород (рис.3). Вопреки ожиданиям, таких минералов не оказалось там, где оставила следы жидкая вода: на северных равнинах, вблизи древних русел, на предполагаемом дне древнего моря, у кратеров, вскрывающих уровень вечной мерзлоты. Глины сохранились только в самых древних областях. Зато во многих местах были обнаружены гидратированные сульфаты — свидетели вулканической активности.

Сопоставив эти данные с последними хронологическими оценками (по методу подсчета кратеров), можно сделать важные выводы об истории климата Марса (рис.4). Две группы гидратированных минералов (филлосиликаты и сульфаты) образовались в разное время: глины, при формировании которых требуется вода, — в Раннем нойском периоде, а сульфаты, возникающие в кислой и, скорее всего, достаточно сухой среде, — существенно позже — 4–3.5 млрд лет назад [8].

Основной запас атмосферного CO₂ на Земле «складирован» в известняках или карбонатных минералах. Обнаружить их на Марсе позволило лишь высокое (~20 м) разрешение прибора CRISM («Compact Reconnaissance Imaging Spectrometers for Mars») на аппарате MRO. Карбонаты фиксировались в очень ограниченных областях: в обнажениях, на склонах древних долин и метеоритных кратеров [9]. Может ли быть, что ранняя углекислая атмосфера Марса, которая поддерживала парниковый эффект в Нойскую эпоху, «захоронена» в карбонатах, скрытых от наблюдателей позднейшими отложениями? Более вероятным представляется ее

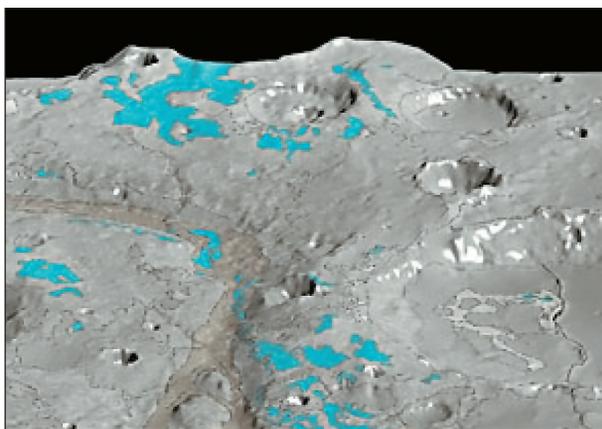


Рис.3 Свидетельства гидратированных пород на поверхности Марса. Глины (слева) были обнаружены с орбиты прибором OMEGA на аппарате «Mars Express». Фотография выходов осадочных пород (справа) сделана ровером «Curiosity».

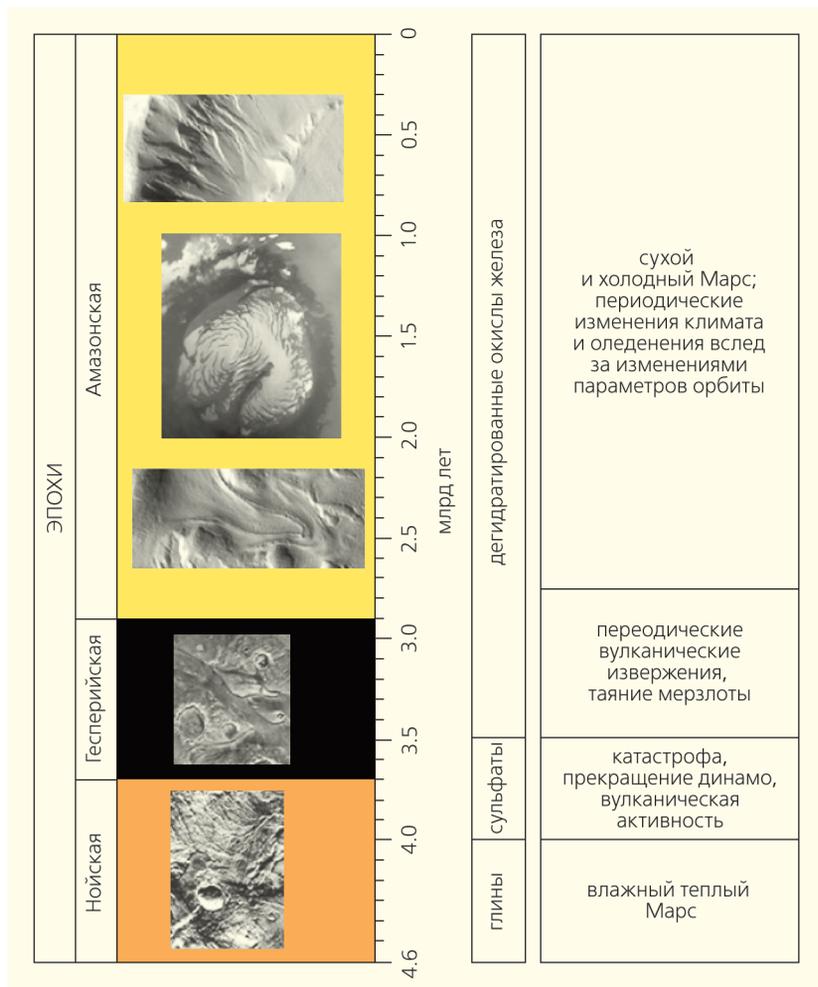


Рис.4. Геологическая история Марса. Слева — классическая модель марсианской хронологии: Нойская эпоха, характеризующаяся высоким уровнем метеоритной бомбардировки, вулканической активности, а также следами активности воды на поверхности; Гесперийская эпоха, во время которой продолжалась вулканическая активность и происходили катастрофические наводнения; и Амазонская, современная эпоха. Справа — модель, основанная на геохимических данных.

потеря, например, в результате поздней метеоритной бомбардировки (4–3.8 млрд лет назад).

Таким образом, период «раннего теплого Марса» мог закончиться существенно раньше, чем предполагалось ранее, и длиться недолго. В дальнейшем Марс оставался сухим, и активность на его поверхности была сильно ограничена, что позволило медленным процессам окисления и выветривания сформировать современный облик планеты.

Жизнь на Марсе

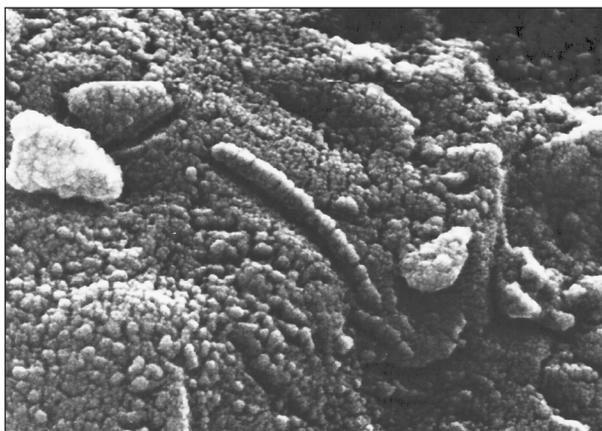
Вопрос об обитаемости любой планеты теснейшим образом связан с ее климатом. Марс вызывает особый интерес, как наиболее близкий к Земле по условиям и как единственный (помимо Луны) перспективный объект колонизации в Солнечной си-

стеме. Для «зарождения» жизни необходимы благоприятные условия. По современным представлениям, для этого требуется постоянный контакт вулканических пород с термальными водами на протяжении от нескольких сотен тысяч до нескольких миллионов лет. Как следует из минералогического картирования (подкрепленного многочисленными данными с поверхности), вероятность выполнения таких требований на теплом, влажном и вулканически активном Марсе в период 4.3–3.7 млрд лет достаточно высока (рис.3). Возраст древнейших на Земле строматолитов также приближается к этому значению. Но даже если условия не совпали по времени и зарождение жизни не произошло, есть вероятность занесения живых спор с Земли вместе с метеоритами. В ранние эпохи обмен веществом во внутренней Солнечной системе шел очень интенсивно, а возможность выживания спор при длительном пребывании в космосе и даже при входе в атмосферу доказана экспериментально. Неясно, правда, как споры могут пережить «запуск» — метеоритный удар, отправляющий частицы одной планеты на другую. Для выживания и даже размножения живых микроорганизмов пригодны многие области современного Марса. С другой стороны, относительная краткость благоприятных условий на раннем Марсе вряд ли совместима с продвинутой эволюцией, многообразием живых форм. Жизнь на Марсе, если она там есть, скорее всего, осталась на уровне микроорганизмов.

Найдены ли многочисленными миссиями, изучающими Марс, достоверные свидетельства биологической активности? Поиск органических веществ был одной из главных задач первых экспедиций на Марс, а прямое обнаружение жизни стало главной целью двух посадочных аппаратов «Viking» (1975–1982). Три вида анализов несколько раз повторялись на различных образцах грунта и с обоих аппаратов. Грунт нагревали, и выделяющиеся газы исследовали с помощью хромато-масс-спектрометра, использовались также питательные среды, помеченные изотопами. Результаты, указывающие на метаболизм, получились только в одном эксперименте. В четырех слу-

чаях для каждого свежего образца наблюдался выход газа, более сильный в начале. В контрольном эксперименте со стерилизацией грунта выход газа был подавлен. Но одновременно хромато-масс-спектрометр позволил установить очень низкий предел на содержание органики, и, понимая, что грунт Марса содержит сильный окислитель (спустя 20 лет выяснилось, что его роль играют перхлораты), большинство исследователей интерпретировало выход газа как следствие неорганических реакций. Это подтверждается и многочисленными лабораторными экспериментами на аналогах марсианских пород. Все же, чувствительность экспериментов «Viking» была невысока. Современная оценка предела обнаружения живых клеток в том эксперименте $<10^7$ кл.·см⁻³ [10]. Напомним, что в микробиологии стерильной считается среда с содержанием клеток ~ 10 кл.·см⁻³.

Отрицательные результаты эксперимента по обнаружению жизни привели к существенному переосмыслению дальнейших исследований Марса. Как уже говорилось, главным вопросом стал не поиск жизни, а сама возможность ее там существования. Если не в современную эпоху, то на ранней стадии развития планеты. На многие годы на первое место вышли геологические исследования. Лишь через десятилетия для поиска живых форм были разработаны новые системы жидкостной экстракции, примененные на американском посадочном аппарате «Phoenix» (2007) и на ровере «Curiosity» (2013). Но на «Phoenix» органику обнаружить не удалось, а на «Curiosity» система не работала. С помощью хромато-масс-спектрометра на «Curiosity» были обнаружены следы разрушенной космическими лучами органики [11]. Однако ее обнаружение в очень древнем образце, возраст которого оценивается в 4.21 млрд лет, не может ничего доказать, так как сложные органические соединения входят в состав метеоритов и даже образуются при метеоритных ударах.



Другая линия поиска внеземной жизни — исследование марсианских метеоритов. Марсианское происхождение некоторых метеоритов подтверждается многими фактами, например, недавними измерениями изотопов аргона на ровере «Curiosity». С конца 1990-х годов группа Д.Мак-Кея опубликовала ряд работ о находке в марсианском метеорите Алан Хиллз ALH84001 образований предположительно биологического происхождения [12]. Обнаруженные в этом метеорите структуры на Земле создаются бактериями, формирующими карбонатные отложения. Есть вероятность биологического происхождения похожих образований и в другом марсианском метеорите [13]. Однако в связи с глубокой и многократной переработкой метеоритного вещества и тем, что наблюдаемые структуры могли образоваться при геохимических процессах, принято считать эти работы гипотетическими.

Наконец, еще одна гипотеза о существовании ископаемой жизни на Марсе основана на снимках, сделанных «Curiosity». Были сфотографированы осадочные породы предположительно биологического происхождения, напоминающие строматолиты на Земле [14]. Возраст этих образований (со дна древнего озера) составляет около 3.7 млрд лет (рис.5).

Отметим, что после программы «Viking» прямой поиск жизни на Марсе не проводился и в будущих проектах пока не планируется. Примером современной программы, направленной на экзобиологию, может служить ровер миссии «ExoMars», запланированной на 2018 г. Он будет укомплектован буровым устройством, позволяющим достичь глубины 2 м и извлечь для анализа грунт, не переработанный космическими лучами. Но аналитическая лаборатория этого ровера оснащена достаточно консервативно. Она будет включать ИК-спектрометр-микроскоп, рентгеновский дифрактометр, рамановский спектро-



Рис.5 Возможные свидетельства ископаемой жизни на Марсе. Слева — структуры предположительно биологического происхождения, обнаруженные в метеорите ALH84001. Справа — гипотетическое отождествление микробных матов на поверхности Марса (по фотографии ровера «Curiosity»).

метр и хромато-масс-спектрометр пиролитических газов. В следующем марсианском проекте НАСА «Rover-2020» также не запланированы специализированные эксперименты для обнаружения жизни.

Очевидный приоритет следующего десятилетия — намеченная на 2025 г. многоэтапная миссия по доставке марсианского грунта для его детального анализа в лабораторных условиях Земли. Соберет и подготовит образцы для этой миссии «Rover-2020». К сожалению, несмотря на все совершенство лабораторных методов анализа, при доставке образцов на нашу планету всегда будет стоять вопрос об их загрязнении.

Метан на Марсе

На данный момент наиболее прямое свидетельство жизни на Марсе (причем не ископаемой, а современной) — открытие метана в его атмосфере.

В сильно окисленной атмосфере Марса трудно ожидать присутствия восстановленных соединений, таких как метан. Тем не менее он — наиболее распространенный в Солнечной системе углеводород, а в случае Марса — простейшее органическое соединение, ассоциирующееся с биологической активностью. Поиск органики на поверхности и в атмосфере Марса давно привлекал внимание ученых. В середине XX в. Г.А.Тихов опубликовал результаты серьезных исследований [15], а под Алма-Атой была создана специальная обсерватория. Начиная с 50-х годов прошлого столетия в спектре несколько раз ошибочно обнаруживалась полоса C—H (~3.3 мкм), спектрометры для детектирования этой полосы входили в состав всех ранних космических аппаратов, направлявшихся к Марсу. Первый реалистичный верхний предел содержания метана в атмосфере Красной планеты (<20 ppb*) был установлен инфракрасным спектрометром на космическом аппарате «Maginer 9».

Спектрометрические исследования и по сей день предоставляют единственную возможность дистанционного измерения метана, которое связано со значительными объективными трудностями. Астрономические наблюдения осложнены метаном, содержащимся в атмосфере Земли. Он маскирует полосы поглощения в излучении планет. Земной метан равномерно перемешан в атмосфере, и использование инструментов на большой высоте не дает заметного эффекта. Наблюдения необходимо проводить до и после противостояния, когда разность скоростей Земли и Марса наибольшая и доплеровский сдвиг позволяет детектировать линии в атмосфере другой планеты. Чувствительность внеатмосферных определений пока сильно ограничена разрешающей способно-

стью спектрометров, установленных на космических аппаратах.

Основное изучение метана проводилось с наземных телескопов, но, несомненно, появление на околомарсианской орбите «конкурента» в лице космического аппарата «Mars Express» со спектрометром PFS («Planetary Fourier Spectrometer») ускорило анализ астрономических наблюдений. В 2004 г. сразу три независимые группы заявили об обнаружении метана. Первая статья была опубликована В.А.Краснопольским с коллегами [16]. Количество газа в атмосфере составило около 10 ppb (10^{-5} объемных частей). Такое же содержание метана вначале определил и спектрометр PFS [17]. Еще одна астрономическая группа по данным 2003 г. зафиксировала выброс до 50 ppb метана [18].

Через два года астрономические наблюдения приблизились к предельному уровню обнаружения метана, а в 2010 г. были установлены только верхние пределы. В то же время PFS продолжал измерять газ, но для детектирования требуется усреднять десятки тысяч анализов. Наконец, в 2013 г. контактные измерения на ровере «Curiosity» также показали лишь верхний предел. Факт существования метана был поставлен под сомнение. Но уже в конце 2014 г. было объявлено об уверенном обнаружении газа на поверхности планеты [19]. Два измерения на «Curiosity» с двадцатикратным обогащением (из пробы был удален углекислый газ) позволили надежно определить фоновый метан в количестве около 0.7 ppb. Наряду с этим вновь были зарегистрированы выбросы газа с содержанием 8—10 ppb (рис.6). Несмотря на продолжающуюся полемику, сейчас присутствие метана в атмосфере Марса можно считать достоверно установленным.

Обнаружение метана инициировало огромное количество гипотез о его происхождении, источниках и стоках. Метан в атмосфере Марса медленно, в течение сотен лет, распадается под действием солнечного УФ-излучения. Для его поддержания в атмосфере необходим постоянно действующий источник. По оценкам, гипотетический вулканизм способен компенсировать не более нескольких процентов фотохимических потерь. В принципе метан может образоваться в результате неорганических реакций, но не ясно, есть ли для них необходимые условия. Рассматривалась возможность выхода в атмосферу ископаемого метана из залежей газогидратов, образовавшихся в результате магматических или биологических процессов на раннем этапе развития планеты. Эта гипотеза хорошо объясняет выбросы метана, но газогидраты на Марсе (за исключением полярных областей), скорее всего, нестабильны. Метеориты и кометы приносят на Марс органическое вещество. Его разложение под действием солнечного УФ-излучения может служить источником пополнения метана [20]. Однако этот механизм не объясняет выбросов газа.

* Одна часть на миллиард.

Впрочем, быстрое исчезновение метана — проблема всех предложенных гипотез. Его фотохимическое время жизни (~300 лет), хотя и невелико в геологическом масштабе, более чем достаточно для перемешивания газа глобальной атмосферной циркуляцией. Результаты астрономических наблюдений, измерений спектрометром PFS, а также данные атмосферных проб с поверхности Марса постоянно меняются. Пока эта изменчивость не нашла разумного объяснения в рамках известных процессов атмосферной физики и химии [21].

Наиболее вероятным механизмом «производства» метана можно признать биогенный процесс, т.е. наличие на поверхности Марса разреженных колоний микроорганизмов-метаногенов. Общее количество биомассы на планете, необходимое для поддержания фонового метана, очень мало. Оно не превышает 20 т, что при распределении в 100-метровом слое поверхности близко по земным меркам к критерию стерильности. Выбросы же газа могут происходить, если в какой-либо области создаются благоприятные условия для репликации клеток.

Значение открытия метана было так велико, что к 2010 г. со всей серьезностью встал вопрос о специальной орбитальной миссии, посвященной малым атмосферным составляющим. Таким проектом стал спутник TGO — первая часть миссии «ExoMars», реализуемой совместно Роскосмосом и ЕКА. Российский прибор ACS («Atmospheric Chemistry Suite») на борту «ExoMars» предназначен для измерения метана и других малых составляющих при наблюдении затмений Солнца атмосферой Марса и для анализа спектра поглощения (рис.7). Яркость источника позволит добиться очень высокого спектрального разрешения, т.е. высокой избирательности, а также снизить шум. Мы рассчитываем, что наш эксперимент не только пролетит свет на загадку метана, но и продолжит мониторинг климата Марса, непрерывно ведущийся с 1997 г.

Вместо заключения

Поверхность Марса исключительно враждебна к существованию жизни: экстремальные температуры, ультрафиолетовое излучение, наличие активных окислителей. Но, как подтверждают исследования космических аппаратов последнего поколения, период раннего теплого Марса, который предположительно начался после прекращения катастрофической бом-

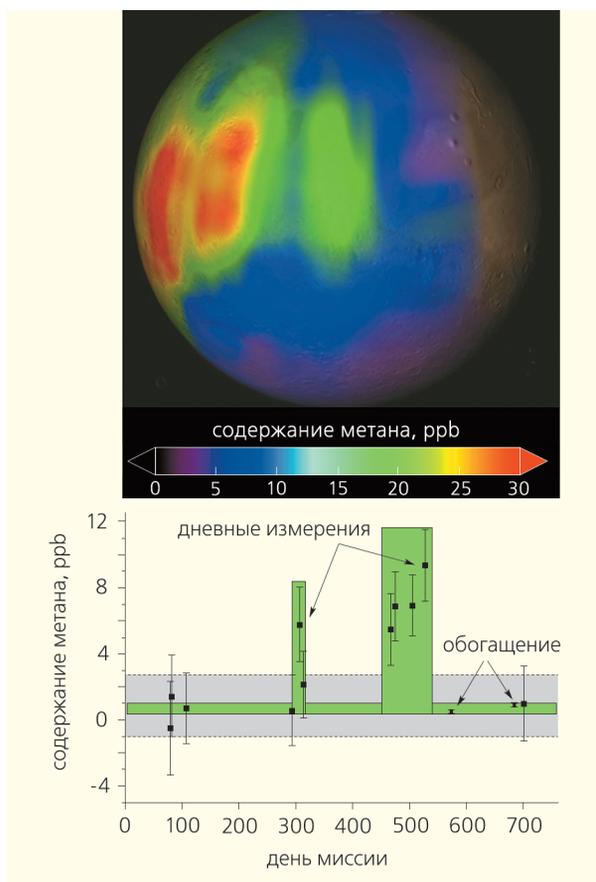


Рис.6 Детектирование метана на Марсе. Вверху — выброс 2003 г., по астрономическим данным [18]. Внизу — измерения с аппарата «Curiosity» [19].

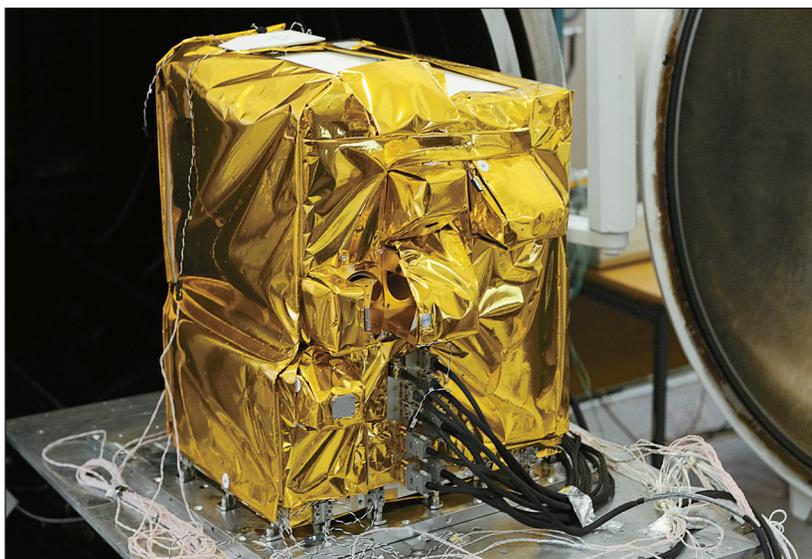


Рис.7. Российский прибор ACS («Atmospheric Chemistry Suite»), предназначенный для установки на спутник TGO совместного проекта ЕКА и Роскосмоса — «ExoMars» перед термовакуумными испытаниями в ИКИ РАН. Прибор состоит из трех спектрометров инфракрасного диапазона и служит для поиска малых атмосферных составляющих и мониторинга климата Марса.

бардировки и закончился другой, неизвестной катастрофой, инициировавшей угасание магнитного поля, потерю атмосферы и похолодание, мог продолжаться до 700–800 млн лет. За это время на планете могли возникнуть (или на нее могли занестись) живые организмы. Сохранилась ли жизнь до нашего времени в редких оазисах на поверхности или глубоко под ней? Обнаружить ее следы трудно, а доказать существование — еще труднее. Тем не менее дальнейшие исследования метана, его надежное обнаружение, развитие

гипотез его происхождения, измерение отношений изотопов углерода в нем, могут дать ключевые ответы.

С другой стороны, прекрасно сохранившаяся древняя кора Марса предлагает «заглянуть» в эпохи, следы которых давно стерлись на Земле. Данная параллель (наряду с экзобиологией) может стать генеральной проблемой дальнейших, более детальных исследований. В связи с этим очень важна успешная доставка марсианского грунта для лабораторных анализов на Земле. ■

Литература

1. Жарков В.Н., Мороз В.И. Почему Марс? // Природа. 2000. №6. С.58–67.
2. Мороз В.И., Кораблев О.И., Родин А.В. Новые исследования Марса и сравнительная планетология // Природа. 2005. №9. С.25–33.
3. Мороз В.И., Мухин Л.М. О ранних этапах эволюции атмосферы и климата планет земной группы // Космические исследования. 1978. Т.15. С.901.
4. Martin-Torres F.J., Zorzano M.-P., Valentin-Serrano P. et al. Transient liquid water and water activity at Gale crater on Mars // Nature Geoscience. 2015. V.8. P.357–361.
5. Golitsyn G.S., Ginsburg A.S. Comparative estimates of climatic consequences of Martian dust storms and of possible nuclear war // Tellus B. 1985. V.37. P.173–181.
6. Feldman W.C., Boynton W.V., Tokar R.L. et al. Global distribution of neutrons from Mars: Results from Mars Odyssey // Science. 2002. V.297. P.75–78.
7. Mitrofanov I., Anfimov D., Kozyrev A. et al. Maps of subsurface hydrogen from the High Energy Neutron Detector, Mars Odyssey // Science 2002. V.297. P.78–81.
8. Bibring J.-P., Langevin Y., Mustard J.F. et al. Global mineralogical and aqueous Mars history derived from OMEGA/Mars Express data // Science. 2006. V.312. P.400–404.
9. Ehlmann B.L., Mustard J.F., Murchie S.L. et al. Orbital identification of carbonate-bearing rocks on Mars // Science. 2008. V.322. P.1828.
10. Glavin D.P., Schubert M., Botta O. et al. Detecting pyrolysis products from bacteria on Mars // Earth and Planetary Science Letters. 2001. V.185. P.1–5.
11. Ming D.W., Archer P.D., Glavin D.P. et al. Volatile and organic compositions of sedimentary rocks in Yellowknife Bay, Gale Crater, Mars // Science. 2014. V.343. P.386.
12. McKay D.S., Gibson E.K., Thomas-Keptra K.L. et al. Search for past life on Mars: Possible relic biogenic activity in Martian meteorite ALH84001 // Science. 1996. V.273. P.924–930.
13. White L.M., Gibson E.K., Thomas-Keptra K.L. et al. Putative indigenous carbon-bearing alteration features in Martian meteorite Yamato 000593 // Astrobiology. 2014. V.14. P.170–181.
14. Noffke N. Ancient sedimentary structures in the < 3.7 Ga Gillespie Lake member, Mars, that compare in macroscopic morphology, spatial associations, and temporal succession with terrestrial microbialites // Astrobiology. 2015. V.15. P.169–192.
15. Тухов Г.А. Астробиология. М., 1953.
16. Krasnopolsky V.A., Maillard J.P., Owen T.C. Detection of methane in the Martian atmosphere: Evidence for life? // Icarus. 2004. V.172. P.537–547.
17. Formisano V., Atreya S., Encrenaz T. et al. Detection of methane in the atmosphere of Mars // Science. 2004. V.306. P.1758–1761.
18. Mumma M.J., Villanueva G.L., Novak R.E. et al. Strong release of methane on Mars in Northern Summer 2003 // Science. 2009. V.323. P.1041–1045.
19. Webster C.R., Mabaffy P.R., Atreya S.K. et al. Mars methane detection and variability at Gale crater // Science. 2015. V.347. P.415–417.
20. Keppler F., Vigano I., McLeod A. et al. Ultraviolet-radiation-induced methane emissions from meteorites and the Martian atmosphere // Nature. 2012. V.486. P.93–96.
21. Lefèvre F., Forget F. Observed variations of methane on Mars unexplained by known atmospheric chemistry and physics // Nature. 2009. V.460. P.720–723.