

Дорога к Марсу. В поисках воды и жизни

Л.М. ЗЕЛЁНЫЙ,
академик
научный руководитель
Института космических исследований РАН

Прошло уже больше 50 лет с тех пор, как в фильме "Карнавальная ночь" устами Сергея Филиппова был озвучен вопрос, ответ на который пока все еще остается прежним: "Есть ли жизнь на Марсе, нет ли жизни на Марсе – науке не известно. Наука еще пока не в курсе дела". За те полвека, что прошло со времени выхода на экраны этого фильма, мы узнали много нового о таинственной красной планете и процессах, происходящих на ней, но даже сейчас на-



ших знаний недостаточно, для того, чтобы ответить на вопрос о том, есть ли жизнь на Марсе.

Пейзаж Марса не слишком привлекателен; глядя на него, можно подумать: "Чего же там такого интересного? Зачем нам вообще нужно изучать эту мертвую планету-пустыню?!". Однако ответ весьма прозаичен и прост: в пределах Солнечной системы Марс – единственный возможный потенциальный кандидат на роль запасной планеты для человечества.

В середине XX в., в самом начале космической эры, мы еще слишком мало знали о нашей Солнечной системе. Предполагалось, что, например, Венера тоже вполне может быть обитаема. В 1959 г. вышло в свет первое крупное произведение братьев А. и Б. Стругац-

ких "Страна багровых туч", где главные герои пробираются через венерианские джунгли, охотясь на обитающих в них зверей. Однако позже стало известно, что Венера – самый настоящий раскаленный ад с колоссальным давлением, где ни человек, ни привычные

нам формы жизни ни при каких условиях существовать не смогут.

Венера, Земля и Марс находятся в так называемой зоне обитаемости – на такой удаленности от Солнца, где не слишком тепло и не слишком холодно, – то есть где гипотетически

возможно существование жизни в человеческом ее представлении.

На планетах-гигантах солнечного света уже слишком мало; Меркурий же, наоборот, расположен к светилу слишком близко. Таким образом, пригоден для гипотетического заселения в далеком будущем только Марс.

Однако планеты зоны обитаемости, несмотря на формальное сходство, разительно отличаются друг от друга. Марс примерно в два раза меньше Земли. Во время формирования Солнечной системы большое количество вещества, которое могло бы попасть на планету, было захвачено находящимся по соседству Юпитером.

В связи с этим перед первыми марсианскими аппаратами встала одна проблема – ученые рассчитывали, что, как и у Земли, у Марса есть магнитное поле, которое надежно защищает и человека, и чувствительные электронные приборы от разрушительного действия энергичных солнечных заряженных частиц и галактических космических лучей, но магнитного поля у Марса не оказалось.

От его отсутствия пострадала и атмосфера планеты: с помощью данных, полученных с помощью первых марсианских аппаратов, ученые наблюдали механизм взаимодействия марсианской атмосферы с солнечным ветром. Исследования показали, что электромагнитные поля,

переносимые потоками частиц солнечной плазмы, взаимодействуют с атмосферными атомами, "подхватывают" их и просто "обдирают" ее как кожуру с апельсина. Дело в том, что магнитное поле планеты возникает из-за токов в жидком ядре планеты; но из-за недостатка массы Марс слишком быстро остыл и токи в ядре затухли, в результате чего пропало магнитное поле, а вместе с ним начала улетучиваться атмосфера.

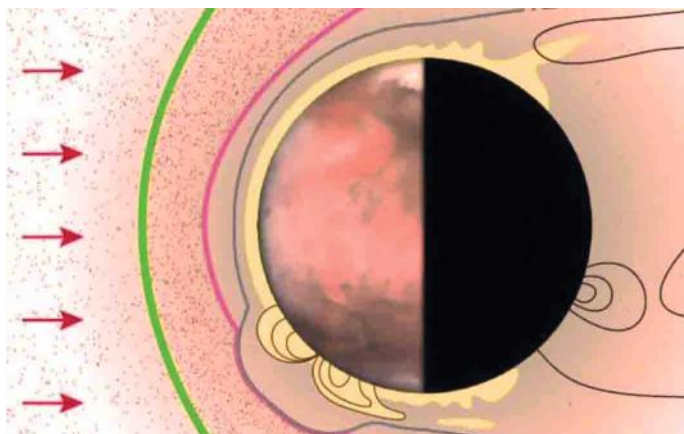
Как стало понятно позже, за счет больших вкраплений железа небольшое, вторичное магнитное поле у Марса все же нашлось в Южном полушарии, но оно не может удерживать атмосферу. В настоящее время давление его более чем в 150 раз меньше давления атмосферы на поверхность Земли.

В отличие от земной атмосферы, состоящей в ос-

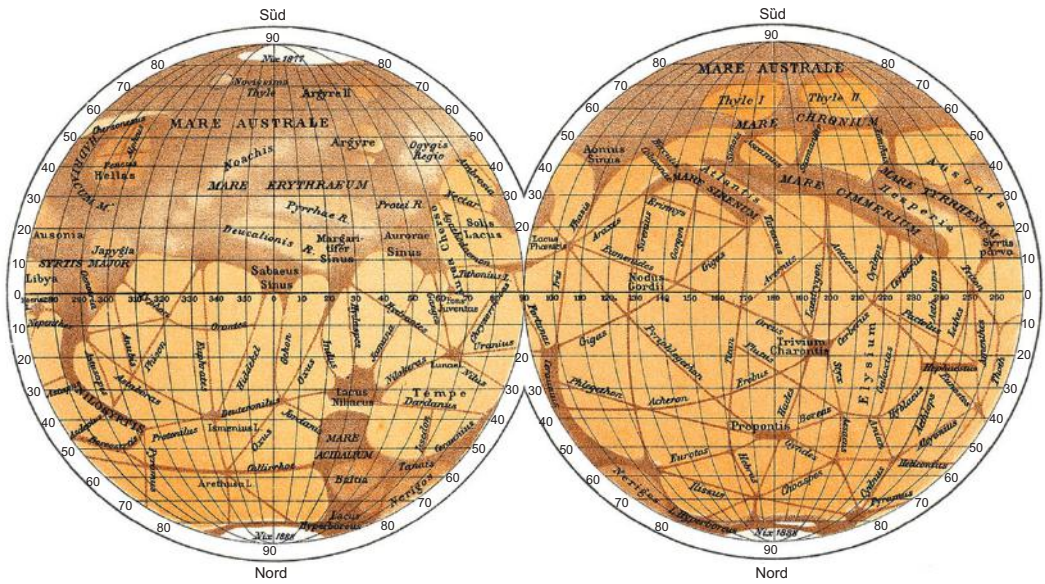
новном из азота, кислорода и углекислого газа, атмосфера на Марсе почти вся состоит из углекислого газа с небольшим количеством примесей водяного пара. Из-за слабой плотности атмосферы парниковый эффект "добавляет" температуре Марса всего лишь около 4 К, в отличие от земных 39 К и венерианских 500 К.

На Марсе имеет место ярко выраженная смена времен года, что во многом обусловлено вытянутой орбитой и ее наклоном, которое составляет примерно 25° (что на 2° больше наклона орбиты Земли). Наиболее сильно температура на поверхности понижается во время марсианской зимы, когда планета находится в афелии – в точке, наиболее удаленной от Солнца.

Лето на Марсе приносит свирепые пылевые бури, возникающие из-за чрез-



"Обдираание" атмосферы Марса солнечным ветром. Рисунок NASA.



Карта Марса Джованни Скиапарелли с нанесенными на нее каналами. 1879 г.

вычайно сильных ветров, они наблюдаются даже с Земли. Эти бури получили название "пылевые дьяволы", их сокрушительная мощь была вполне реалистично изображена в фильме "Марсианин" (2015 г.). Для гипотетических будущих пилотируемых экспедиций на Марс эти бури действительно представляют большую угрозу.

Еще в 1877 г. итальянский астроном Джованни Скиапарелли (1835–1910; Земля и Вселенная, 2010, № 5) при наблюдении Марса в телескоп обнаружил на нем "каналы", которые потом еще долго считались "прорытой" марсианами ирригационной сетью. Недопонимание, судя по всему, было вызвано неточностями

перевода: итальянское слово *canali* переводится не только как "канал" но и как "канавка" или "русло".

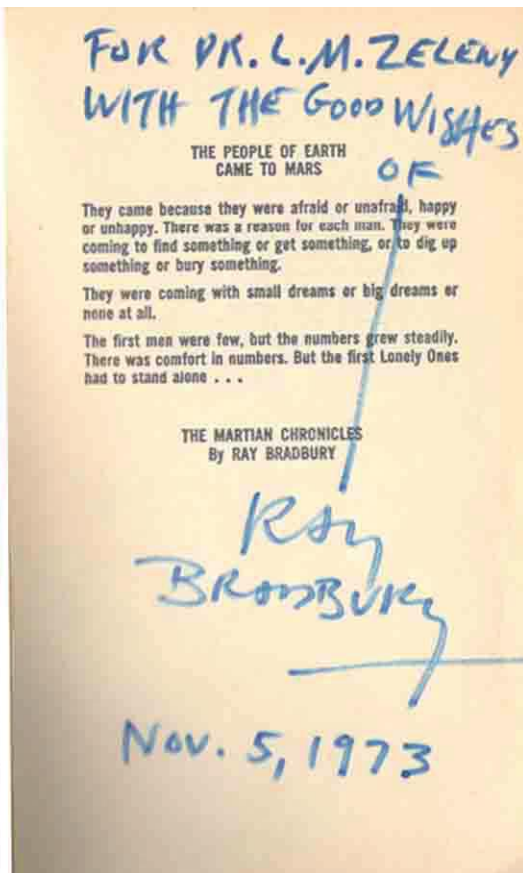
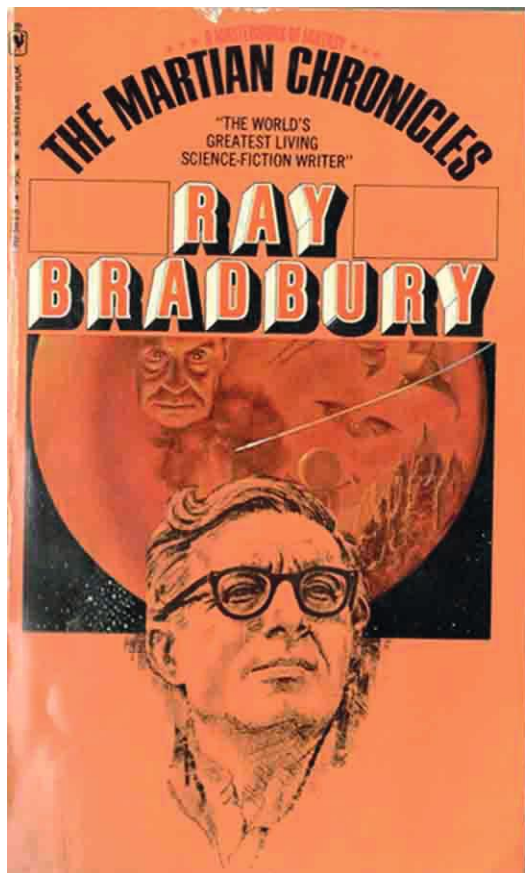
Чуть позже, в конце XIX в., астроном Персиваль Лоуэлл (1855–1916) продолжил развивать идею обитаемости Марса, что во многом подвигло Герберта Уэллса к написанию книги "Война миров", один из последних фильмов по мотивам данной книги вышел на экраны в 2005 г.

В то же время в науке вполне серьезно возникло такое направление, как астроботаника. Так академик АН КазССР Гавриил Тихов (1875–1960; Земля и Вселенная, 1975, № 6; 2003, № 3) объяснял изменение цвета поверхности Марса густой растительностью, меняющ-

ей свои оптические свойства и способной поглощать солнечную радиацию в зависимости от климатических условий.

Марс был очень популярен и в литературе: многие русские поэты, в том числе Константин Бальмонт, Николай Заболоцкий посвящали свои стихи таинственной планете. Алексей Толстой в книге "Аэлита" (1923) представил свое видение утонченной и хрупкой марсианской цивилизации, а также описал ее "столкновение" с суровой советской действительностью.

В 1950 г. был опубликован научно-фантастический роман "Марсианские хроники" американского писателя Рея Бредбери, не теряющий популярность и по сей день.



Обложка книги Рея Бредбери "Марсианские хроники", подписанная автором. Из личной библиотеки Л.М. Зелёного.

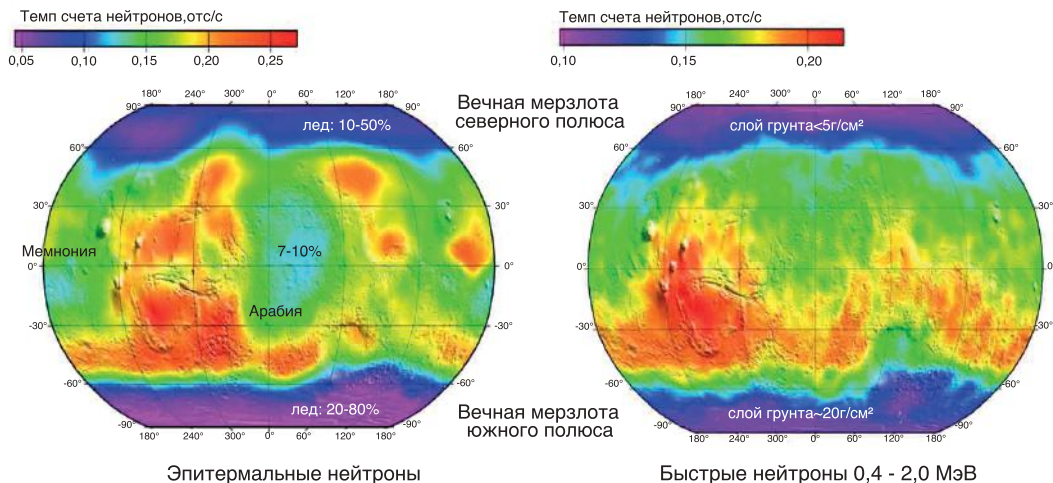
Лозунг "Вперед, на Марс!" провозгласила для себя Группа изучения реактивного движения (ГИРД; Земля и Вселенная, 1981, № 5; 1993, № 5), куда входил и Главный конструктор страны Сергей Павлович Королёв, под чьим руководством уже в 1960-е гг. готовились проекты первых автоматических межпланетных марсианских станций.

Начиная с ноября 1962 г., к Марсу было совершено более 40 запусков автоматичес-

ких межпланетных станций (АМС), примерно половина из них увенчалась успехом. С помощью первых советских марсианских аппаратов успели получить ряд очень интересных результатов, но в 1980-х и 1990-х гг. отечественную марсианскую программу преследовали тяжёлые неудачи: лишь частично удался проект "Фобос" (АМС "Фобос-1" и "Фобос-2" стартовали в июле 1988 г.; Земля и Вселенная, 1989, №№ 5, 6);

так и не достигла Красной планеты межпланетная станция по проекту "Марс-96", потерпев аварию во время запуска 16 ноября 1996 г. (Земля и Вселенная, 1994, № 4; 1996, № 4). Катастрофой закончилась и следующая экспедиция к Фобосу по проекту "Фобос-Грунт" 9 ноября 2011 г. (Земля и Вселенная, 2011, № 4; 2012, № 2, с. 106–107).

Новая волна интереса к Марсу, тем не менее, воз-



Карты полушарий Марса с указанием количества воды в грунте. В 2002 г. данные измерений, полученные с помощью прибора ХЕНД, позволили обнаружить марсианскую "вечную мерзлоту" с высоким содержанием водяного льда. По данным NASA.

никла в 2000-х гг., после обнаружения в подповерхностном слое марсианского грунта запасов водяного льда. Важную роль в этих открытиях "сыграл" разработанный в ИКИ РАН (Отдел ядерной планетологии ИКИ РАН под руководством И.Г. Митрофанова) прибор ХЕНД (High Energy Neutron Detector – детектор высокоэнергичных нейтронов), установленный на американской АМС "Марс Одиссей", запущенной 7 апреля 2001 г. и уже более 16 лет работающей на орбите Марса (Земля и Вселенная, 2001, № 5, с. 20–22; 2015, № 1, с. 39–40).

Поверхность Марса постоянно бомбардируется частицами солнечного ветра, галактическими космическими лучами. Это частицы

очень больших энергий, проникающие на глубину 1,5–2 м и выбивающие из грунта нейтроны, которые стремятся вырваться наружу. Атомы водорода (сравнимые по массе с такими частицами) задерживают выход нейтронов, поэтому если в подповерхностном слое содержится водород, то прибор фиксирует в этой области падение потока нейтронов. Много богатых водородом областей было обнаружено в полярных районах, но подобные участки были обнаружены и на экваторе, что очень интересно. С помощью прибора ХЕНД была составлена первая, а затем многократно уточнявшаяся карта распределения воды на Марсе.

Следующий этап в изучении Марса был реализо-

ван благодаря европейской миссии "Марс Экспресс", запущенной 2 июня 2003 г., вышедшей на орбиту Марса 25 декабря 2003 г. (Земля и Вселенная, 2004, № 1, с. 35–36; 2004, № 3, с. 21–22; 2012, № 6, с. 27–28). Незадолго до этого потерпел неудачу российский проект "Марс-96". Повторить его полностью страна уже не могла, но остался хороший задел по научным приборам, благодаря которому российские разработчики были приглашены провести свои эксперименты в рамках европейского проекта. На этом аппарате стояло три прибора с российским участием: спектрометры OMEGA, PFS и SPICAM (Земля и Вселенная, 2006, № 2). "Марс Экспресс" с помощью спектрометров PFS

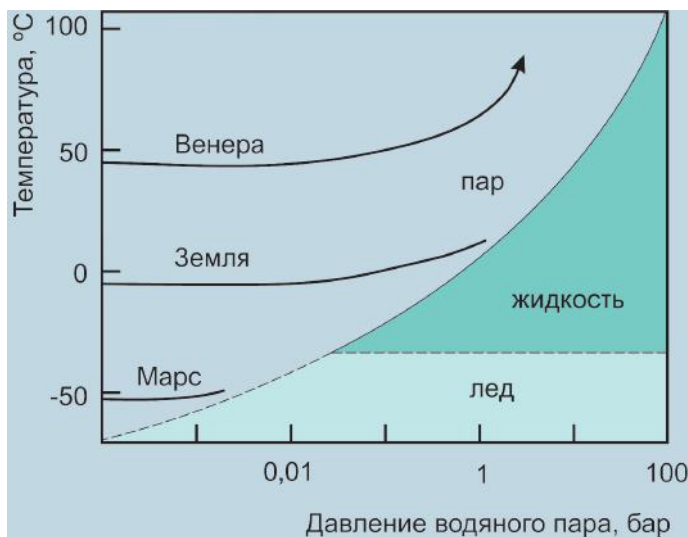


Диаграмма агрегатных состояний воды на Венере, Земле и Марсе. По данным ИКИ РАН.

являться вода в жидком состоянии? – Ответ в том, что, как мы уже говорили, давление на планете очень низкое, ввиду чего вода на Марсе может переходить из твердого состояния сразу в газообразное.

Вся имеющаяся на Марсе вода замерзла – в отличие, например, от воды на Венере – где океаны давно испарились и вся вода находится в атмосфере в виде водяного пара. Венера и Марс "потеряли" почти всю свою воду. Но еще в 1970-х гг. на снимках с космических аппаратов были обнаружены русла высохших рек и озер. Эти находки и первые модели палеоклимата привели к концепции "раннего теплого Марса", часть поверхности которого занимал океан. Исследования подтверждают, что океан воды на Марсе мог достигать глубины 500 м. Даже при условии, что атмосфера Марса улетучилась, вся эта вода не могла исчезнуть, так как большая ее часть должна была проникнуть под поверхность. Некоторые оценки показывают, что, если сейчас растопить все подповерхностные запасы марсианского льда, то планета покроется слоем воды толщиной не менее 30 м.

и SPICAM исследовал марсианские полярные шапки, которые, как оказалось, многослойны: водяной лед, составляющий их основу, покрыт слоем замерзшей двуокиси углерода – вещества, известного нам как "сухой лед" (Земля и Вселенная, 2005, № 1).

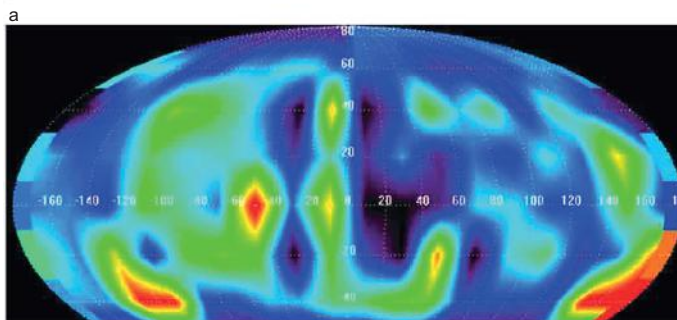
Позднее, благодаря снимкам высокого разрешения, полученным с помощью американской АМС "Марсианский разведывательный орбитер" ("Mars Reconnaissance Orbiter"), запущенной 12 августа 2005 г., на склонах марсианских холмов удалось обнаружить возникающие в летнее время короткоживущие потоки жидкой, возможно, соленой воды – что стало настоящей сенсацией (Земля и Вселенная, 2006, № 4, с. 88; 2010, № 2, с. 29–31; 2015, № 1, с. 45–46).

Для более детального анализа влажных районов, изу-

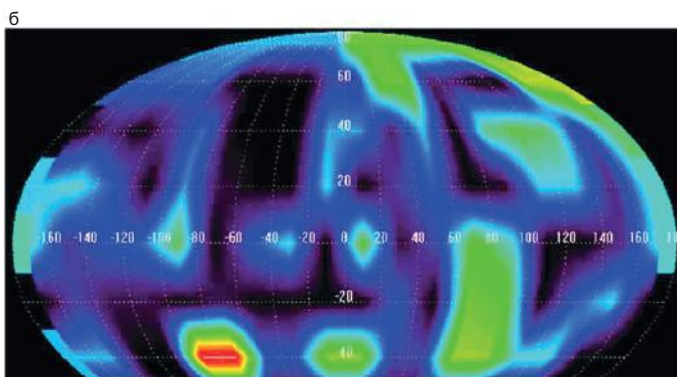
чения геологии и климата на планете 16 августа 2012 г. на Марс был доставлен американский марсоход "Кьюриосити" ("Curiosity"; Земля и Вселенная, 2012, № 3, с. 110–112; 2013, № 1, с. 102–105; 2015, № 81, с. 50–51), на борту которого также установлен разработанный в ИКИ РАН прибор ДАН (Dynamic Albedo of Neutrons – динамическое альbedo нейтронов). В отличие от своего предшественника, ДАН – активный нейтронный прибор, состоящий из двух частей: нейтронного генератора и детектора. Измерения водорода в грунте он проводит по трассе движения марсохода, "обстреливая" поверхность нейтронами самостоятельно.

Однако, возвращаясь к теме существования на Марсе жидкой воды, хочется задать характерный вопрос: если на планете так холодно, то как же там могла по-

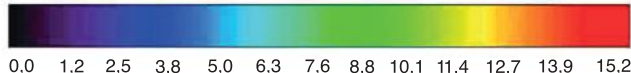
Карта Марса с указанием распределения метана в марсианской атмосфере (PFS-MEX, Geminale et al., 2011): а – зима в Северном полушарии; б – лето в Северном полушарии. По данным ESA.



Шкала концентрации метана в атмосфере



Шкала концентрации метана в атмосфере



На диаграмме видно, как "повезло" Земле: наша планета прошла (пока!) между "сциллой" испарения воды и "харибдой" ее вымораживания, сохранив и громадные океаны, и могучие ледники, и водяной пар в атмосфере. Но отсюда должно быть понятно, как хрупок этот баланс и как опасен самораскачивающийся парниковый эффект, в общем-то, лишивший Землю похожей на нее "планеты-сестры".

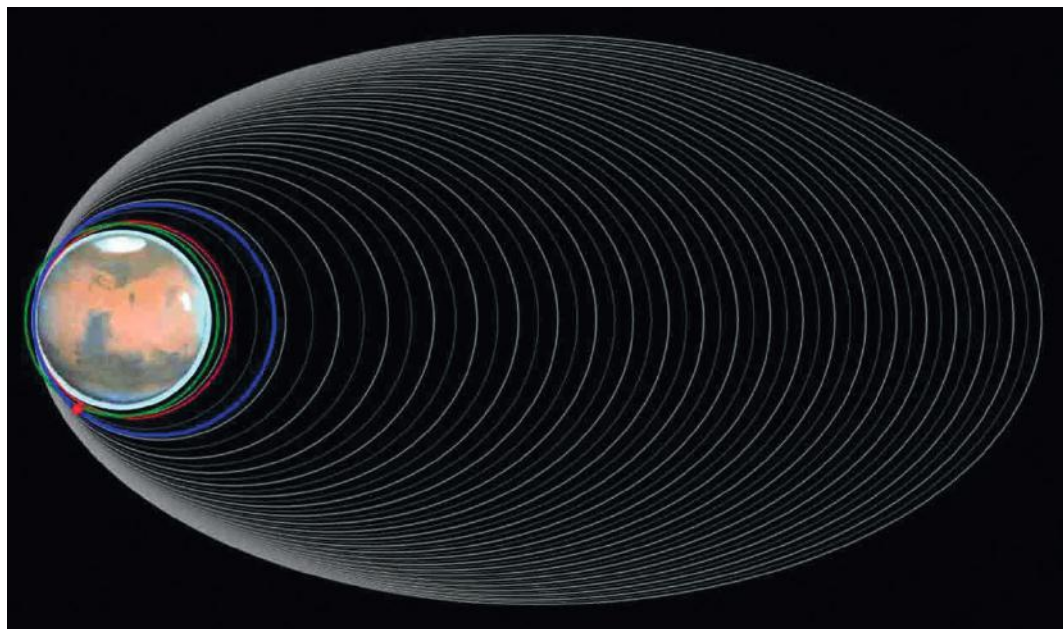
Однако, возвращаясь назад, отметим, что самое интересное открытие было сделано в 2004 г., когда аппарат "Марс Экспресс" обнаружил в атмосфере Марса метан (CH_4) – газ, который принято считать признаком биологической активности, так как он выделяется, например, при процессах брожения, гниения. Открытие было сделано на границе чувствительности прибора Фурье-спектрометра PFS, ввиду чего не было признано достоверно точным (Земля и Вселенная, 2005, № 1).

Первая гипотеза предполагала, что обнаруженный метан – это остатки той возможной биологической активности, которая могла быть на планете в прошлом,

но наблюдения, выполненные с помощью АМС "Марс Экспресс" и с Земли, показали существенные колебания концентрации метана в атмосфере. Более того, метан достаточно быстро разлагается под действием ультрафиолетового излучения Солнца, и те запасы этого газа, которые мы сейчас наблюдаем на Марсе, должны были бы разложиться примерно за 300–500 лет. Однако мы видим, что концентрация газа варьируется

в разных районах, ввиду чего возник вопрос о поиске источников его воспроизводства. Оценки показывают, что в год в атмосферу Марса выбрасывается несколько тысяч тонн метана. Гипотезы, помимо версии о биологической активности, все еще существуют, но все они гораздо менее вероятны.

Основной аргумент против гипотезы о биологической активности на Марсе – данные прошлых миссий:



*Модуль TGO «тормозится» об разреженную атмосферу Марса (показаны витки АМС).
Рисунок ESA.*

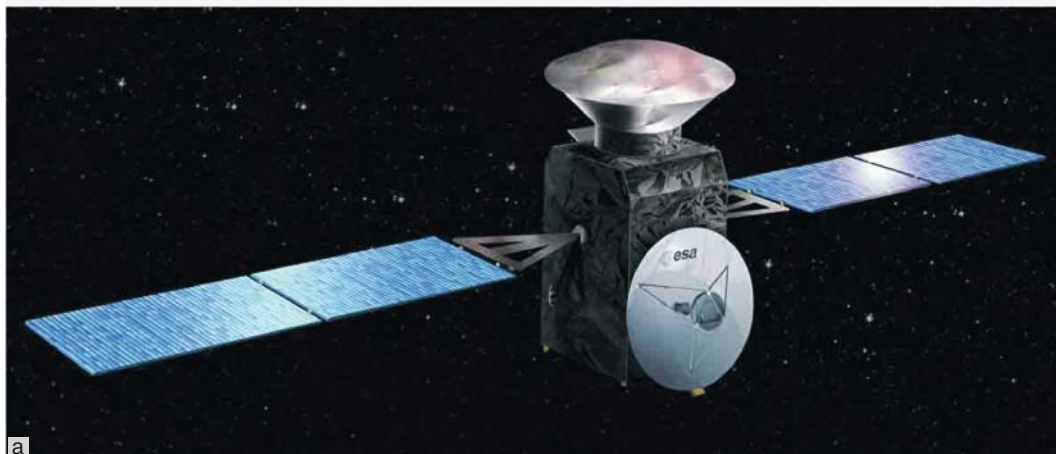
в частности, результаты экспериментов посадочных аппаратов NASA "Викинг-1" и "Викинг-2" (1975–1982 гг.), с помощью которых так и не удалось обнаружить на Марсе какую-нибудь органику. Но тут следует отметить, что измерения приборов "Викингов" были первой попыткой поиска следов жизни на другой планете... Приборы тогда были несовершенны, и ученые до сих пор спорят, как интерпретировать многие результаты этой "пионерской" экспедиции на Марс (Земля и Вселенная, 1976, № 3; 1977, № 3).

Лишь в 2015 г. с помощью приборов марсохода "Кьюриосити" были обнаружены

разрушенные следы органических соединений, доказывающие, что, помимо самого метана, косвенные свидетельства возможной жизни на Марсе все же есть. Учитывая тот факт, что космические лучи, радиация и другие факторы жестко "стерилизуют" поверхность планеты, то любую гипотетическую биологическую активность следует искать под слоем грунта.

Решение этого вопроса – одна из основных задач совместного проекта госкорпорации "Роскосмос" и Европейского космического агентства "ЭкзоМарс", ставшего следующим шагом в этом направлении. Хочется вспомнить добрым

словом руководителей Российского и Европейского космических агентств Владимира Александровича Поповкина (1957–2014) и Жана-Жака Дардена: быстро, без обычной в таких случаях политической и бюрократической волокиты решивших вопрос об участии России в этой интереснейшей программе. Это позволило российским специалистам, опираясь на обширный опыт использования отечественных приборов в европейских и американских миссиях, всего за несколько лет подготовить сложные современные приборы для исследования атмосферы и поверхности Марса.



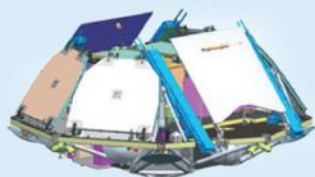
Проект "ЭкзоМарс-2016": а – орбитальный модуль TGO, б – прибор FREND, в – прибор ACS. Рисунки ESA.

Проект состоит из двух этапов. 14 марта 2016 г. с космодрома Байконур произведен успешный запуск с помощью РН "Протон-М" с разгонным блоком "Бриз-М" АМС "ЭкзоМарс" – первой части миссии (Земля и Вселенная, 2016, № 3). После четырех включений двигателей четвертой ступени прои-

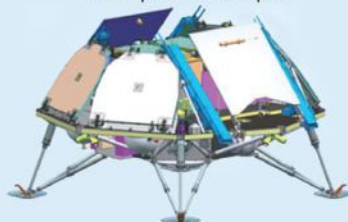
зошло успешное отделение космического аппарата, траектория которого даже не потребовала корректировки благодаря безукоризненной работе разгонного блока. В октябре 2016 г. станция успешно достигла Марса. К сожалению, при посадке разбился демонстрационный десантный

модуль "Скиапарелли", но орбитальный аппарат TGO (Trace Gas Orbiter) успешно вышел на высокоэллиптическую марсианскую орбиту. Вплоть до апреля 2018 г. методом аэробрейкинга, то есть "чирканьем" аппарата о край атмосферы, проводилась коррекция его орбиты до круговой, а в конце

Транспортная конфигурация
космического аппарата при
полете к Марсу



Конфигурация космического
аппарата после посадки на
поверхность Марса



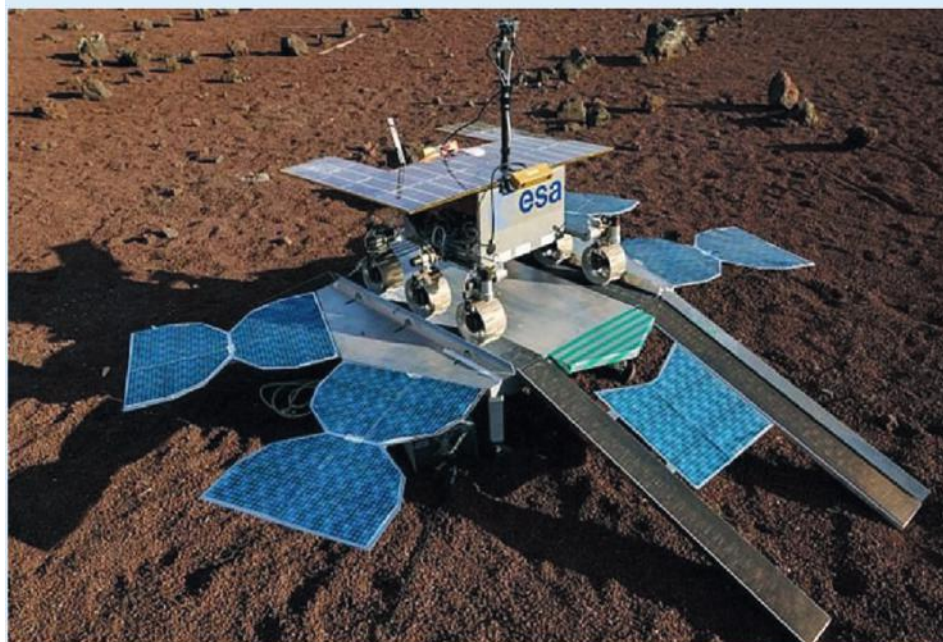
Марсоход



Развертывание панелей
солнечных батарей и трапа
для схода марсохода



Посадочная платформа



АМС "ЭкзоМарс-2020": схема последовательных операций по развертыванию посадочной платформы с марсоходом на борту на поверхности Марса. Внизу – марсоход на посадочной платформе. Рисунки ESA.

апреля 2018 г. TGO приступил к выполнению научной программы.

Европейский орбитальный модуль TGO предназначен для регистрации малых составляющих марсианской атмосферы (в том числе метана), картирования распределения воды в верхнем слое грунта с высоким пространственным разрешением, а также для стереосъемки и подготовки к посадке марсохода во второй части миссии.

Изучать Марс на его борту отправили два российских прибора: FRENД (Fine Resolution Epithermal Neutron Detector – детектор эпитепловых нейтронов высокого разрешения) с болгарским дозиметрическим модулем "Люлин-МО" и комплекс спектрометров ACS (Atmospheric Chemistry Suite – комплекс для изучения химии атмосферы). FRENД также работает по принципу своих предшественников, однако большая точность достигается за счет того, что нейтронные измерения проводятся в узком поле зрения, около 10°, что позволяет измерить распределение воды под поверхностью Марса с разрешением около 40 км, что примерно в 10 раз точнее измерений, проводимых с помощью прибора ХЕНД на АМС "Марс Одиссей". Комплекс ACS разработан для решения главной научной задачи миссии – исследования состава марсианской атмосферы с орбиты

искусственного спутника. Комплекс спектрометров, работающих в разных отрезках ИК-спектра, позволит обнаружить малые составляющие марсианской атмосферы, аэрозоли; наблюдать свечения; проводить мониторинг трехмерных полей температуры и давления.

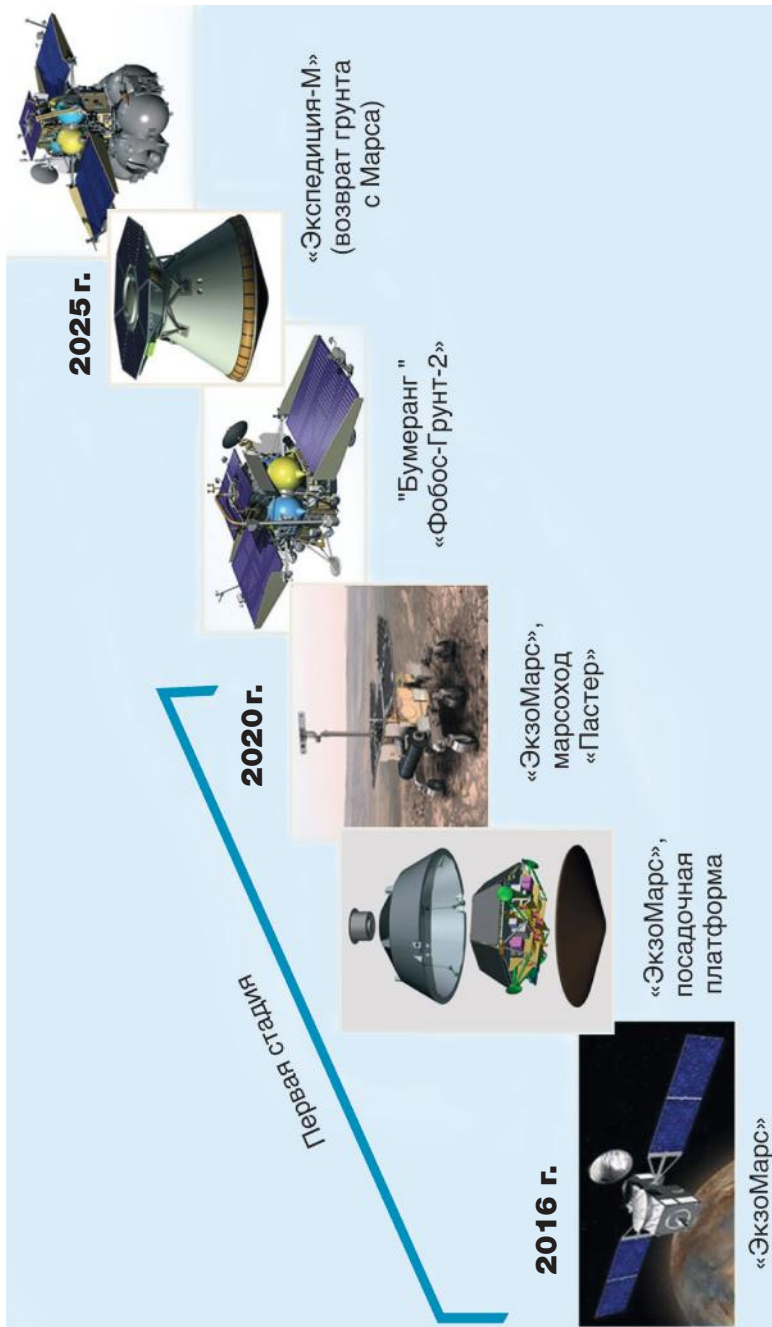
Запуск второй части программы "ЭкзоМарс" намечен на 2020 г. Миссия будет включать в себя российскую посадочную платформу с научным комплексом на борту и европейский марсоход "Пастер", на котором также будут установлены научные приборы, многие из которых разработаны в ИКИ РАН. Для этой части проекта важно учитывать тот нюанс, что для посадки аппарата в разреженной атмосфере Марса парашют для торможения должен быть гораздо больше, а место посадки – как можно ниже, чтобы "по полной" использовать атмосферное торможение. Посадочные места также выбираются не случайно – ученые стараются найти районы, которые удовлетворяли бы обоим признакам гипотетической биологической активности: то есть одновременно сочетали бы наличие и подповерхностной воды, и метана.

Одним из таких мест является плато Оксия, которое выбрано для посадки миссии "ЭкзоМарс-2020". После того, как марсоход съедет на поверхность пла-

неты, посадочный модуль начнет свою собственную научную программу по исследованию окружающей среды как долгоживущая автономная станция, основой которой является российский научный комплекс. Среди ее задач – долговременный мониторинг климата, состава атмосферы и ионизирующего излучения; сейсмические эксперименты; изучение сезонных изменений подповерхностной воды, а также изучение взаимодействия атмосферы и поверхности.

Марсоход будет способен преодолевать дистанции в несколько километров в поисках "следов" прошлой или настоящей биологической активности. Отличительная его особенность – бурильная установка, позволяющая брать пробы грунта с глубины до 2 м – оттуда, куда не проникает ионизирующее излучение. Пробы на месте будут исследоваться с помощью аналитической лаборатории марсохода. Аппарат TGO миссии 2016 г. в это время будет использоваться в качестве ретранслятора.

Дальнейшие шаги в этом направлении предполагают запуск аппаратов, которые обеспечат доставку грунта с Фобоса – спутника Марса. Название "Бумеранг" проекту дано неспроста: миссия – "реинкарнация" неудавшегося в 2011 г. проекта "Фобос-Грунт". Его задачи: перелет к Марсу, посадка на Фобос, забор грунта



Этапы проведения российской марсианской программы в период с 2016 по 2025 гг. Рисунок ИКИ РАН.

с Фобоса и возврат его на Землю. Проект находится в стадии разработки, его запуск планируется на 2026 г.

Следующий этап – возврат грунта уже непосредственно с Марса. Такая операция будет производиться в два этапа: посадочный

модуль спустится на поверхность планеты, а затем с грунтом возвратится на орбиту и "перегрузит" его на возвратный аппарат, который отправится к Земле.

Мы очень рассчитываем на успех этих автоматических миссий. С пилотируемыми

полетами все гораздо сложнее: роботы с каждым годом становятся все более развитыми и интеллектуальными, а вот человеку на Марсе пока делать нечего. "Теплое место" для нашего визита на Марс аппараты вполне могут "подготовить" сами.

Информация

"Хаябуса-2" сфотографировала астероид Рюгу

С помощью японской АМС "Хаябуса-2" 26 февраля 2018 г. с использованием навигационной камеры ONC-T (Optical Navigation Camera) с расстояния 1,3 млн км сделан первый снимок цели ее путешествия – астероида Рюгу

(162173)1999 JU3. Запущенная в 2014 г., станция предназначена для доставки образцов грунта с этого астероида класса С, имеющего вытянутую орбиту и пересекающего не только орбиту Земли, но и Марса (Земля и Вселенная, 2015, № 2, с. 15). Считается, что астероиды класса С наиболее распространены в Солнечной системе и поэтому они представляют интерес для исследователей.

Сближение АМС "Хаябуса-2" с Рюгу намечено на июль 2018 г. С этого момента начнется активная фаза исследований, которая продлится полтора года. В течение этого време-

ни будет спущен на астероид модуль MASCOT, на котором установлены спектрометр, магнитометр, радиометр и камера, а также заряд SCI (Small Carry-on Impactor), состоящий из медного снаряда и заряда взрывчатки для формирования ударного ядра. Предполагается, что при подлете к Рюгу аппарат "выстрелит" этим зарядом по поверхности астероида. На дне образовавшегося кратера ученые планируют обнаружить другие образцы породы.

*Пресс-релиз JAXA,
1 марта 2018 г.*