

Проект “ЭкзоМарс”

Д.С. РОДИОНОВ,
кандидат физико-математических наук
ведущий ученый проекта по созданию
научной аппаратуры с российской стороны

Л.М. ЗЕЛЁНЫЙ,
академик
научный руководитель проекта с российской стороны

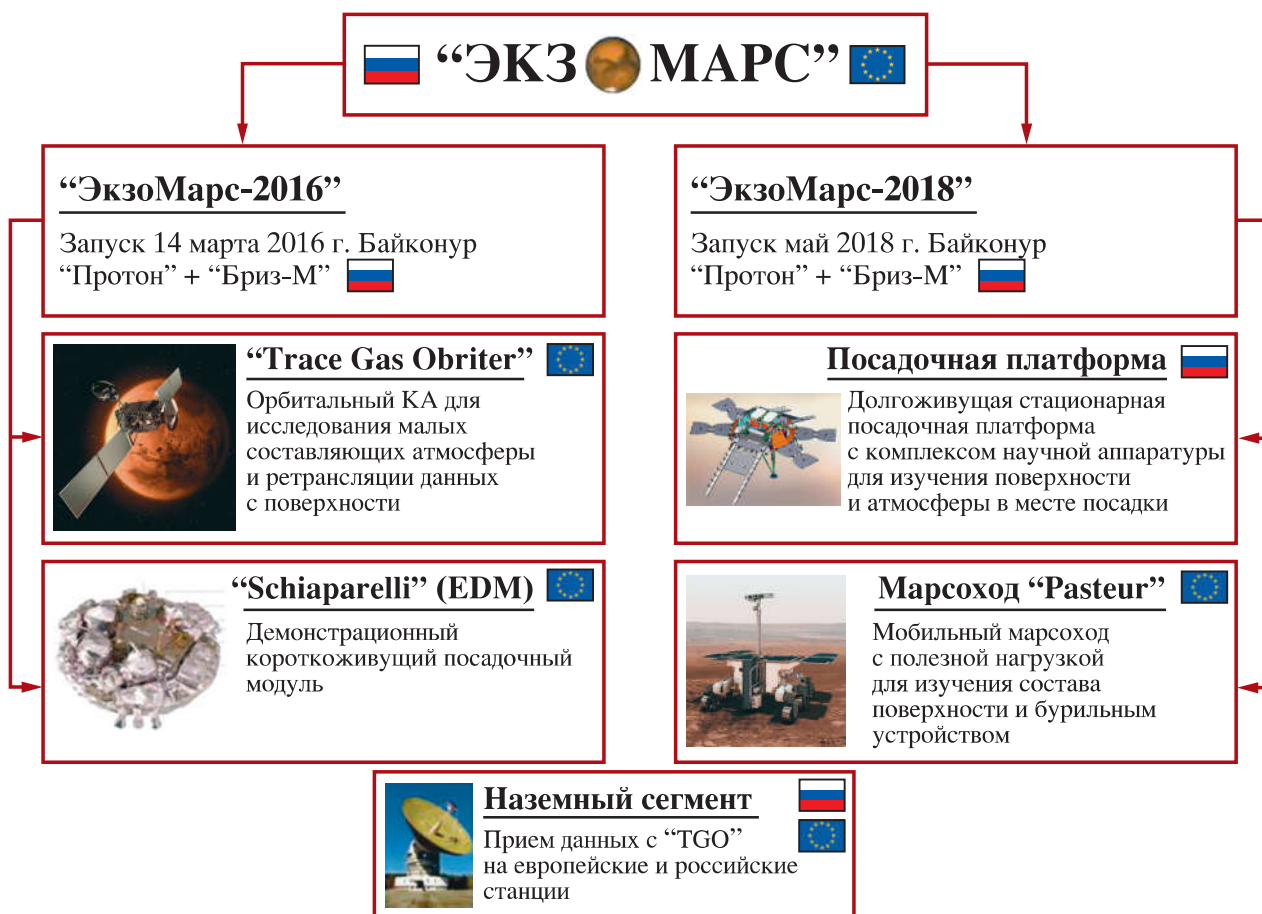
О.И. КОРАБЛЁВ,
доктор физико-математических наук
заместитель научного руководителя
проекта с российской стороны
Институт космических исследований РАН



Проект “ЭкзоМарс” (“ExoMars”) – совместный российско-европейский проект по исследованию Марса. В марте 2016 г. к Марсу запущен орбитальный аппарат для исследова-

ния малых составляющих атмосферы Марса и демонстрационный посадочный модуль с небольшим сроком функционирования. На 2018 г. запланирован запуск десантного мо-

дуля, который доставит на поверхность мобильный марсоход и долгоживущую посадочную платформу с комплексом научных приборов.



ИСТОРИЯ ПРОЕКТА

В рамках проекта “ЭкзоМарс” намечено как выполнение ранее планировавшихся исследований, так и решение принципиально новых научных задач. Главные аспекты проекта: создание совместного с Европейским космическим агентством (ESA) наземного комплекса приема данных и управления межпланетными аппаратами, консолидация опыта Роскосмоса и ESA при разработке технологий для межпланетных программ. “ЭкзоМарс” может рассматриваться как этап подготовки к освоению Марса – разведке райо-

нов для посадки, поиска подповерхностной воды, мониторинга радиационной обстановки. Одна из важных задач проекта – выявление источников метана и других малых составляющих марсианской атмосферы.

История проекта “ЭкзоМарс” началась в начале 2000-х гг. ESA разработала проект для марсианской программы “Аврора”, в декабре 2005 г. его утвердили. Первоначальная конфигурация включала большой тяжелый марсоход и стационарную платформу. Запуск планировался в 2011 г. с помощью российской ракеты-носителя “Союз”. Однако в по-

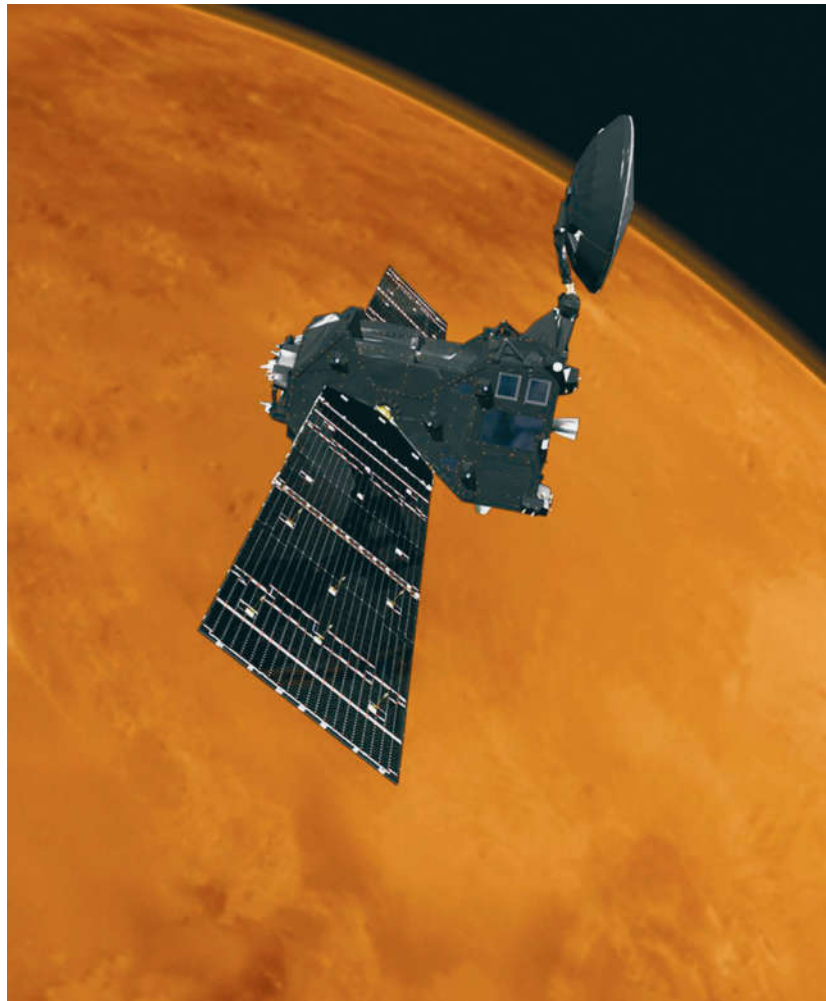
Схема организации совместного российско-европейского проекта “ЭкзоМарс”.

следующие годы проект испытал многочисленные трансформации, которые в значительной мере изменили конфигурацию материальной части и научную составляющую. В 2009 г. ESA и NASA подписали соглашение о совместном исследовании Марса, что полностью изменило проект: теперь планировалось два запуска с помощью американских носителей “Атлас-5” в 2016 г. (по-

АМС "Trace Gas Orbiter"
на орбите Марса. Рисунок
ESA/ATG medialab.

садочная станция и орбитальный аппарат) и в 2018 г. (большой и малый марсоходы). В феврале 2012 г. NASA вынуждено было покинуть проект из-за необходимости снижения бюджетных расходов. Единственным выходом из создавшегося положения – для того, чтобы выполнить задачи проекта – стало сотрудничество ESA с Роскосмосом. 6 апреля 2012 г. Роскосмос и ESA договорились о реализации проекта. В конце декабря 2012 г. Роскосмос заключил контракты с ИКИ РАН на разработку российских научных приборов. В марте 2013 г. было подписано соглашение о российско-европейском сотрудничестве в области исследования Марса и других объектов Солнечной системы, что сделало ESA и Роскосмос равноправными партнерами в проекте "ЭкзоМарс" (Земля и Вселенная, 2013, № 6, с. 108–109).

Необходимо отметить: ни Россия, ни ESA по отдельности не могут похвастаться значительными успехами в исследованиях Марса. Проекты "Марс-96", "Фобос-Грунт" (Россия), "Бигль-2" ("Beagles-2", ESA) потерпели неуда-



чу (Земля и Вселенная, 1996, № 4; 2011, № 4; 2012, № 2, с. 106–107; 2013, № 1, с. 85; 2004, № 1, с. 35–36; 2004, № 3, с. 21–22). Лишь европейский ИСМ "Марс Экспресс" ("Mars Express"), во многом наследующий научный потенциал проекта "Марс-96", до сих пор успешно работает на орбите Марса (Земля и Вселенная, 2001, № 3, с. 110; 2003, № 5, с. 54). Поэтому объединение сил на данном этапе выглядит вполне логичным и дает надежду на успешное осуществление текущих и будущих проектов.

КОНФИГУРАЦИЯ ПРОЕКТА "ЭКЗОМАРС"

В рамках проекта планируются два запуска АМС с помощью российских носителей "Протон-М" с разгонным блоком "Бриз-М" – в 2016 г. и в 2018 г.

Запуск межпланетной станции по проекту "ЭкзоМарс" в 2016 г. включает в себя разрабатываемые ESA орбитальный КА "Trace Gas Orbiter" ("TGO"; орбитальный аппарат поиска следов газа) и демонстрационный десантный модуль "Скиапарелли" ("Schiaparelli"), назван-



Подготовка АМС "Trace Gas Orbiter" к запуску. Космодром Байконур. Январь 2016 г. Фото Роскосмоса.

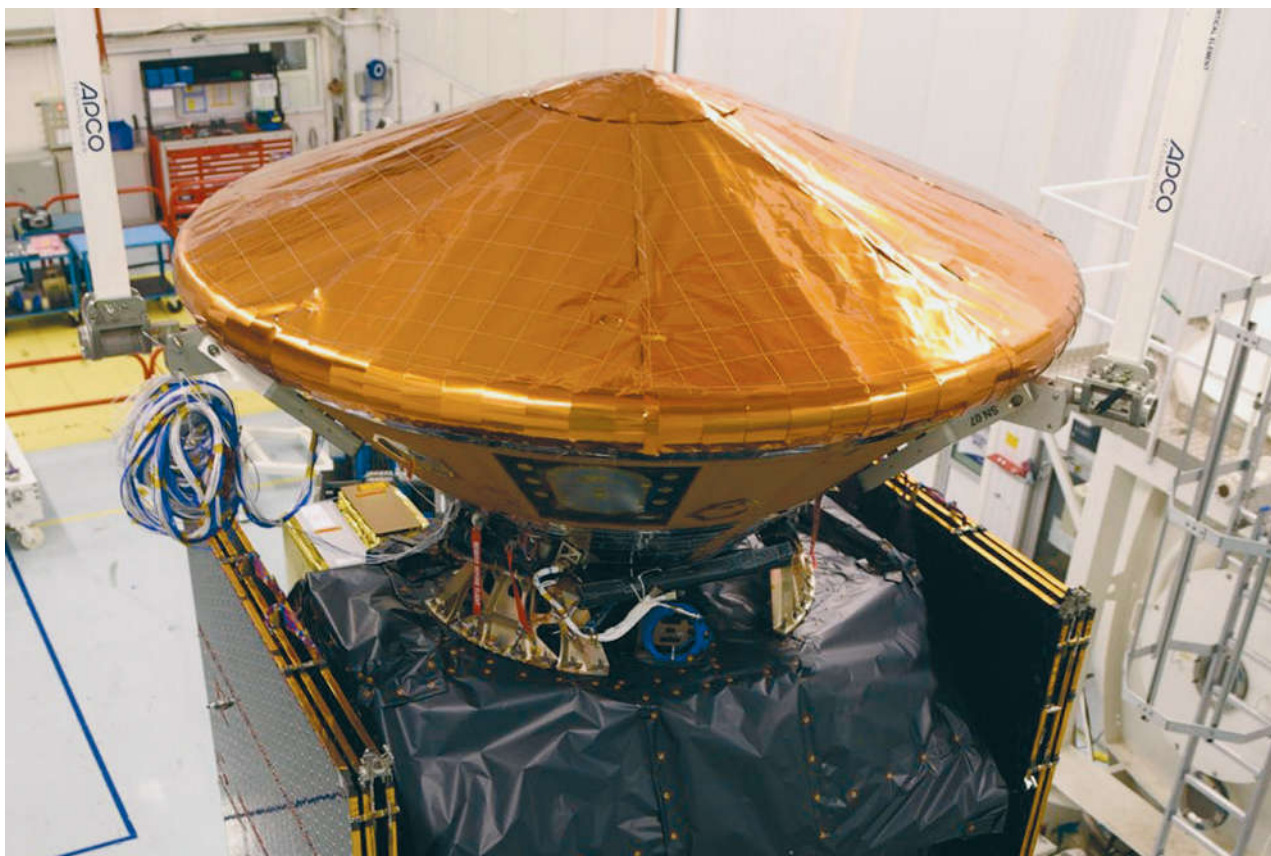
ный так в честь итальянского астронома-исследователя Марса Джованни Скиапарелли (1835–1910; Земля и Вселенная, 2010, № 5). КА "TGO" (масса – около 3700 кг, размеры – 3,5 × 2 × 2 м, без учета солнечных батарей) предназначен для изучения малых газовых примесей атмосферы и распределения водяного льда в грунте Марса. Посадочный модуль "Скиапарелли" (масса модуля – 600 кг, диаметр – 1,65 м, без теплового щита) служит для демонстрации и отработки технологий посадки на поверх-

ность Марса. Главной технологической задачей КА "TGO" является ретрансляция научных и инженерных данных с помощью посадочных аппаратов и марсоходов с поверхности Марса. 22 декабря 2015 г. связка "TGO" – "Schiaparelli" доставлена на космодром Байконур для подготовки к старту. Он произошел 14 марта 2016 г.

Космический аппарат "Trace Gas Orbiter" предполагается вывести на рабочую круговую околополярную орбиту высотой 400 км, наклоном 74° и периодом обращения около 2 ч. За сутки

можно зарегистрировать около 12 ч дневных и ночных надирных спектров, а также 24 затмения – прохода диска Солнца по атмосфере Марса (12 заходов и 12 восходов). Фактически продолжительность измерений будет определяться с учетом распределения объема телеметрической информации между различными экспериментами на КА "Trace Gas Orbiter" и пропускной способностью канала связи.

В рамках второго этапа проекта "ЭкзоМарс" в 2018 г. на поверхность Марса с помощью разрабатываемого в России десантного модуля будет доставлен марсоход ESA массой около 300 кг. Марсоходу необходимо выполнить геологические исследования и попытаться найти следы жизни в подповерхностном слое планеты около места посадки. После схода марсохода с посадочной платформы она продолжит работу с помощью комплекса научных приборов в качестве долгоживущей стационарной платформы. Запуск запланирован на май 2018 г., с резервной датой в августе 2020 г.



Демонстрационный посадочный модуль “Скиапарелли” (“Schiaparelli”), установленный на борту АМС “Trace Gas Orbiter” в чистой комнате в Каннах, Франция. Фото TAS-F.

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

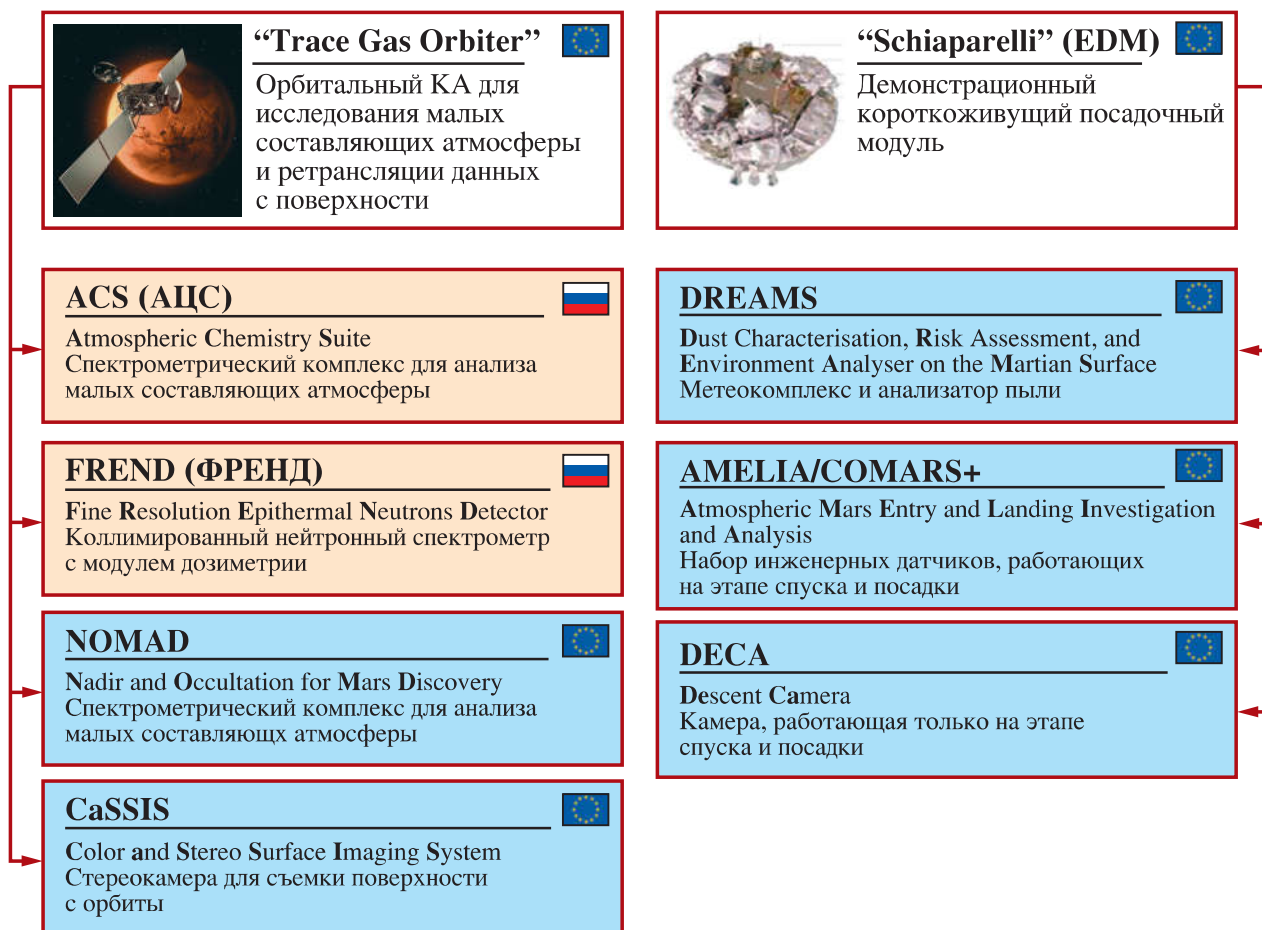
Основные задачи проекта “ЭкзоМарс” – мониторинг климата и радиационной обстановки с орбиты и на поверхности Марса, поиск на планете метана и вулканических газов, измерение состава ее атмосферы с поверхности, исследования распространенности воды на планете в подповерхностном слое вещества с высоким раз-

решением, внутреннего строения поверхности планеты, ее обитаемости, а также разведка районов посадки.

ПРОБЛЕМА МЕТАНА

Многолетний поиск метана (CH_4) на Марсе астрономическими средствами и с помощью АМС дал результаты в 2004 г. (Земля и Вселенная, 2010, № 4, с. 104). Примерно 10 ppb CH_4 было обнаружено в спектрах фурье-спектрометра PFS, установленного на борту АМС “Марс Экспресс”. Параллельно были опубликованы результаты независимых наземных наблюдений, показавшие такое же количество метана. Фото-

химическое время жизни метана – 300–400 лет. С одной стороны, – это достаточно мало; возникает предположение о постоянно действующем источнике газа. С другой стороны, – за это время метан должен равномерно перемешаться в атмосфере, и наличие локализованных источников не может объяснить его переменность. Популярная гипотеза о биологическом происхождении метана: такое небольшое его количество, как 10–30 ppb, может быть легко получено от очень разреженной биоты. Обнаружение метана в атмосфере Марса вызвало лавину публикаций, выдвигалась и опровергалась масса гипотез о



механизмах его возникновения и причинах изменчивости, сам факт детектирования подвергался сомнению. В 2015 г. локальный всплеск содержания метана был зафиксирован марсоходом “Кьюриосити” (“Curiosity”) в кратере Гейла, однако надежные измерения в глобальных и локальных масштабах являются по-прежнему крайне актуальными (Земля и Вселенная, 2015, № 1, с. 50–51). Измерение содержания малых составляющих (прежде всего, метана) в атмосфере Марса, а также его картирование является приоритетной научной задачей проекта “ЭкзоМарс”.

ВУЛКАНИЗМ

Наиболее обильными вулканическими газами на Земле являются водяной пар и CO_2 . Измерения этих относительно обильных составляющих не могут быть индикаторами вулканической активности, – как на Земле, так и на Марсе. Количество метана в качестве вулканического газа на Земле обычно игнорируется на фоне преобладания биогенного метана. Тот же вопрос о происхождении метана (в случае его позитивного детектирования) возникает и на Марсе. Наиболее перспективными индикаторами вулканической

Научная аппаратура проекта “ЭкзоМарс-2016”.

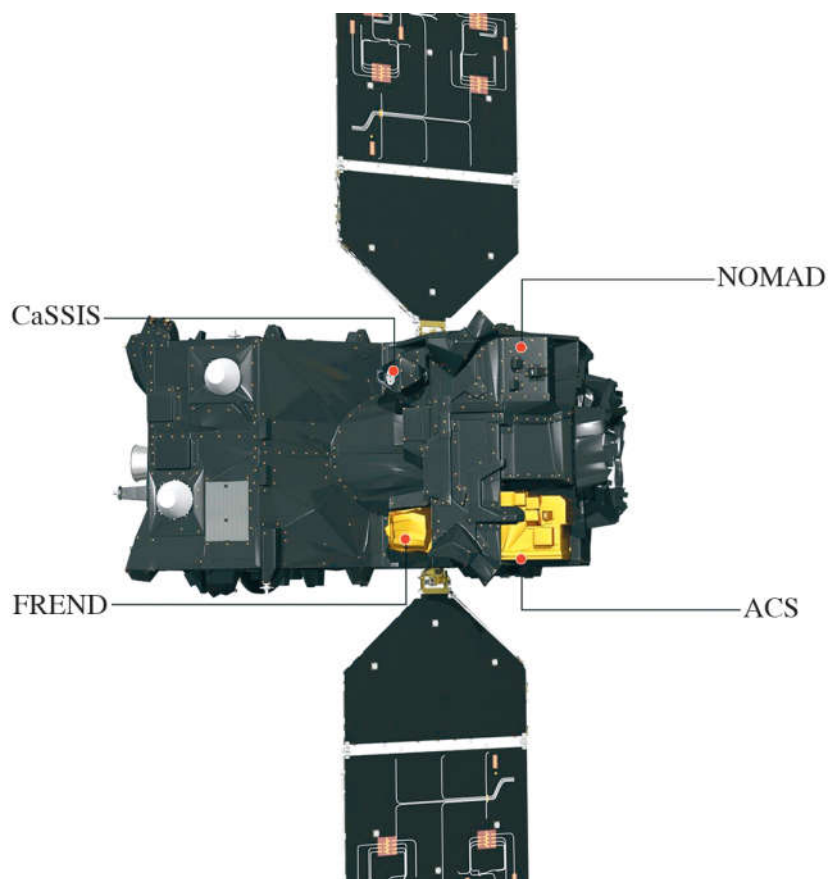
активности на Марсе могли бы стать соединения серы, в частности SO_2 . Средствами наземной астрономии установлен очень низкий предел содержания SO_2 в атмосфере Марса. Регулярные измерения содержания метана с его орбиты с помощью приборов АЦС и NOMAD на борту TGO с высоким спектральным разрешением, позволят уточнить этот предел, обнаружить временные увеличения кон-

Размещение научных приборов на борту АМС "Trace Gas Orbiter". Рисунок ESA/ATG medialab.

центрации этого газа или зарегистрировать иные соединения серы.

МОНИТОРИНГ СОВРЕМЕННОГО КЛИМАТА

Количественное знание термической структуры атмосферы и характеристик аэрозоля необходимо для реалистичного моделирования климата планеты. Атмосферный аэрозоль на Марсе представляет собой важнейший, плохо поддающийся измерениям и изменчивый фактор формирования климата в целом. Пыль в атмосфере Марса приводит к ее разогреву, уменьшая выхолаживание в космос. С другой стороны, кристаллические облака из водяного льда увеличивают альбедо, уменьшая количество поглощаемой солнечной энергии. Помимо мониторинга двух основных компонентов аэрозоля на Марсе – минеральной пыли и конденсационных облаков – большие возможности предоставляет метод наблюдения солнечных затмений, позволяющий измерять экстинкцию (ослабление пучка света за счет поглоще-



ния и рассеяния) атмосферного аэрозоля на лимбе, который был опробован в исследованиях ИСМ "Марс Экспресс" (Земля и Вселенная, 2005, № 1).

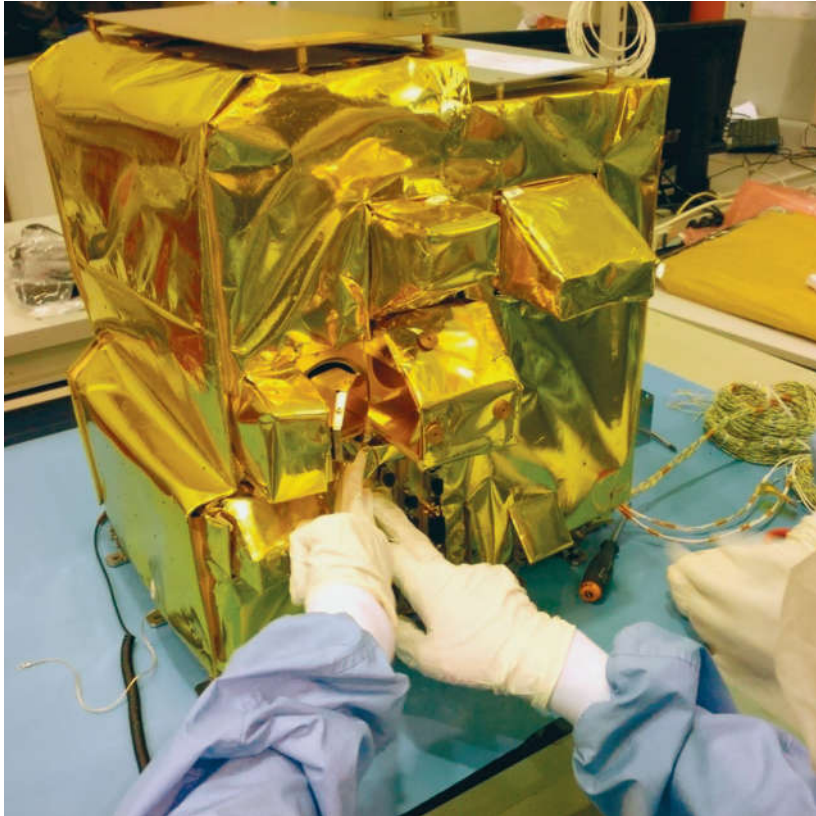
ПРОБЛЕМА ЭВОЛЮЦИИ КЛИМАТА

Среднее значение соотношения дейтерия к водороду (D/H) на Марсе примерно в пять раз превышает земное. Это принято считать свидетельством длительной диссипации воды – по мере эволюции климата на планете, что привело к накоплению более тяжелого изотопа. Для количественных оценок современных процессов диссипации на Марсе,

обмена воды между подповерхностными резервуарами и атмосферой необходимы измерения значения D/H с высокой точностью, а также анализ вертикального профиля этого отношения.

ПОИСК ОРГАНИКИ НА ПОВЕРХНОСТИ МАРСА

Поиск следов существования жизни на поверхности Марса – своего рода визитная карточка проекта "ЭкзоМарс". Вопрос обнаружения органических соединений на поверхности планеты (или в подповерхностном слое) до сих пор остается открытым. С этой целью на марсоходе проекта "ЭкзоМарс-2018" установят буровое устрой-



Спектрометрический комплекс АЦС (ACS) после сборки. Фото ИКИ РАН.

ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТАВА АТМОСФЕРЫ МАРСА С ПОВЕРХНОСТИ

Измерение состава атмосферы на поверхности Марса является существенным преимуществом перед орбитальными и наземными наблюдениями. Поиск и уточнение верхних пределов малых газовых составляющих – возможно, локализованных в нижних слоях атмосферы вследствие дегазации с поверхности надежнее осуществлять *in situ* (от лат. “на месте”) и при достаточном накоплении сигнала. Это же относится к измерениям изотопных отношений. Инертные газы и их изотопы дистанционно не измеряются.

ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ МАРСА

Сейсмические измерения на поверхности Марса призваны внести свой вклад в решение фундаментальных вопросов исследования внутреннего строения планеты – таких, как размер ядра, состав мантии и коры, толщина коры. Эти данные необходимы для решения проблемы происхождения планет, закономерностей их эволюции,

ство, позволяющее исследовать образцы с его поверхности глубиной до двух метров. Так как марсианскую поверхность постоянно “стерилизуют” высокие дозы ионизирующего излучения, то захват грунта с глубины повышает шансы нахождения на планете органических соединений. Ионизирующая радиация проникает и в подповерхностные слои, приводя к деградации органических молекул, но ее воздействие уменьшается с глубиной.

МОНИТОРИНГ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ МАРСА

Изучение климата Марса и других планет земного типа относит-

ся к фундаментальным задачам, имеющим отношение не только к освоению Марса, но и к более глубокому пониманию природы климатических процессов на Земле. Относительно простая климатическая система Марса – удачный пример неблагоприятного исхода для атмосферы Земли. Глубокое понимание современных климатических процессов на Марсе позволяет лучше оценить особенности климата на планете в прошедшие времена, понять причины приведших к катастрофическим его изменениям, определить процессы диссипации атмосферы.

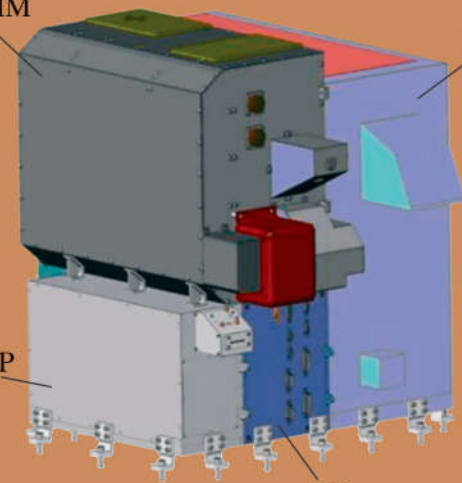


ТИРВИМ

МИР

НИР

БЭ



Составные части спектрометрического комплекса АЦС (ACS). Внутренний вид спектрометров АЦС-НИР, АЦС-МИР, АЦС-ТИРВИМ. Фото ИКИ РАН.

сейсмологии позволяет рассчитывать на то, что и на Марсе сейсмология окажется ведущим методом при изучении недр планеты.

ходимо проводить как в условиях спокойного Солнца, так и на фоне солнечных протонных событий.

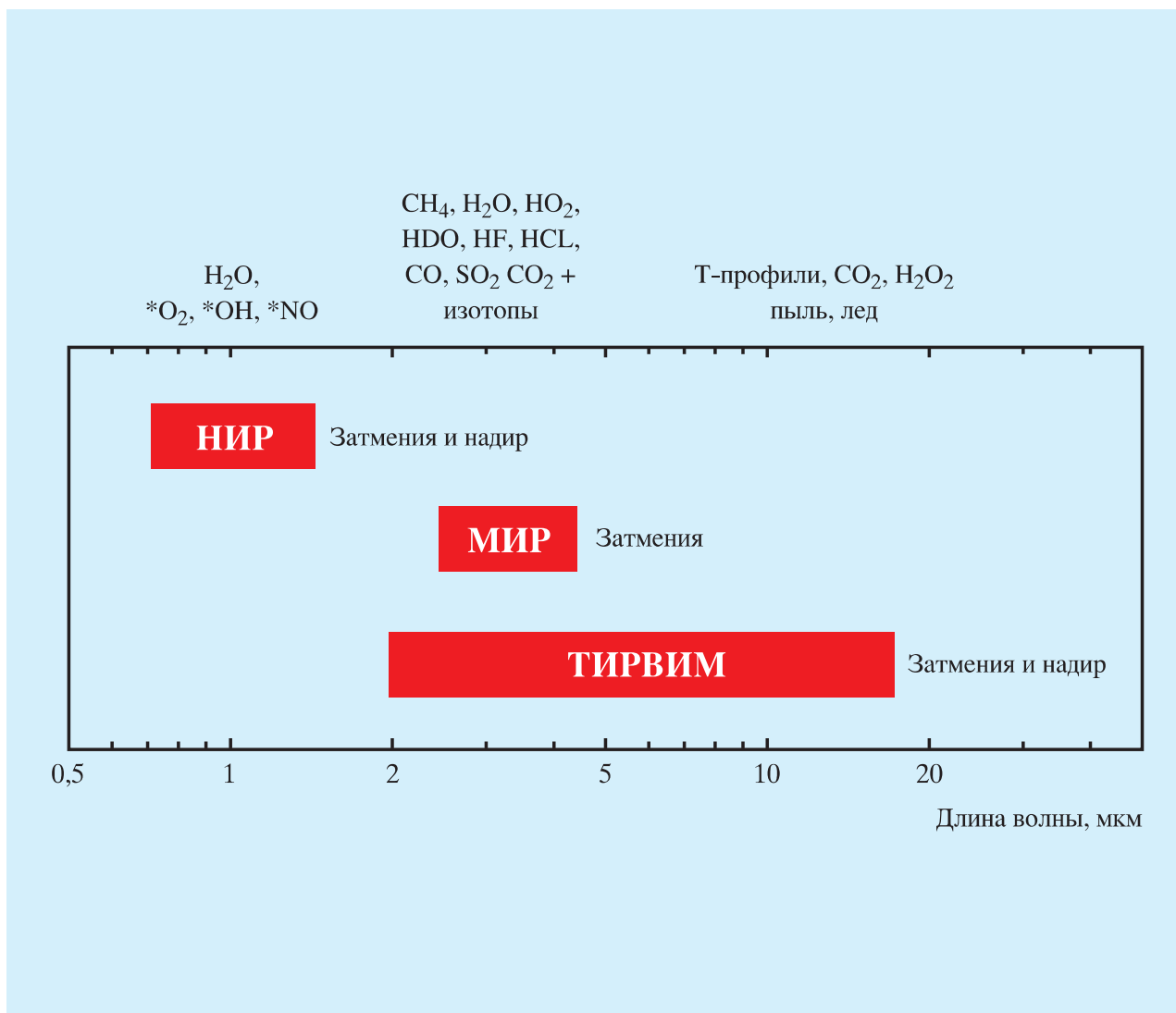
а также для получения ответов на вопросы о тектонической активности Марса, о природе его магнетизма, для решения проблемы водных запасов на планете. Хотя до сих пор марсотрясения не зафиксировано, но опыт земной и лунной

МОНИТОРИНГ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ И ДРУГИХ ФАКТОРОВ

Длительный мониторинг радиационной обстановки на поверхности Марса важен, прежде всего, для построения будущих планов по освоению планеты, в том числе пилотируемых полетов. Измерения необ-

МИССИЯ “ЭКЗОМАРС-2016”

В состав научной аппаратуры орбитального КА “Trace Gas Orbiter” проекта “ЭкзоМарс-2016” входят четыре прибора общей массой 112 кг. Это два российских прибора – спектрометрический комплекс АЦС (ACS) и нейтронный спектрометр ФРЕНД (FREND), а также европейские приборы –



спектрометрический комплекс для исследования состава атмосферы NOMAD (Бельгия) и стереокамера для съемки поверхности CaSSIS (Швейцария). На демонстрационном десантном модуле “Скиапарелли” установлены инженерные датчики для мониторинга процесса посадки, а также комплекс для проведения метеорологических измерений. Время жизни модуля – нескольких дней. Российскими учеными были разработаны пред-

ложения по увеличению срока жизни посадочного модуля “Скиапарелли” и установки на нем дополнительной научной аппаратуры (в том числе и российской), однако крайне сжатые сроки реализации проекта не позволили этим планам осуществиться.

СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС АЦС

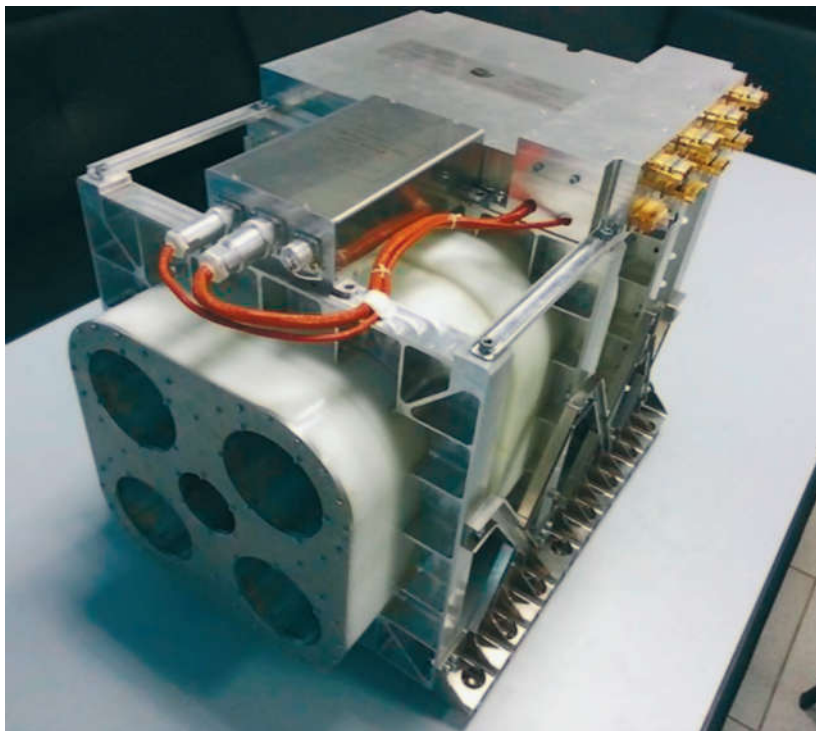
Спектрометрический комплекс АЦС (Atmospheric Chemistry Suite), имеющий задачу изучить химию ат-

Спектральное покрытие трех каналов прибора АЦС (ACS). Указаны режимы работы и измеряемые атмосферные составляющие.

мосферы, состоит из трех независимых спектрометров различных ИК-диапазонов (каналы НИР, МИР и ТИРВИМ) и общего блока электроники, объединенных общими механическим, тепловым и электрическим интерфейсами.

В спектральном диапазоне АЦС (0,7–16 мкм), перекрываемом различными каналами прибора (НИР – 0,7–1,2 мкм, МИР – 2,2–4,4 мкм, ТИРВИМ – 2–16 мкм), возможно измерять малые составляющие атмосферы (такие как метан, водяной пар, вулканические газы). Используются два основных метода исследования: ИК-зондирование в надир (то есть наблюдения в направлении поверхности планеты) и солнечные затмения. В ближнем ИК-диапазоне также планируется наблюдать дневные и ночные свечения атмосферы Марса (в надир и на лимбе планеты).

По результатам работы спектрометрического комплекса в режиме наблюдения планеты (режим в надир) будут получены данные по следующим вертикальным профилям: температуре высотой до около 60 км (ТИРВИМ), по содержанию водяного пара и другим малым составляющим (ТИРВИМ, НИР); по аэрозолям с разделением на пылевые и конденсационные облака (ТИРВИМ), по свечениям атмосферы (НИР). Отдельную задачу представ-

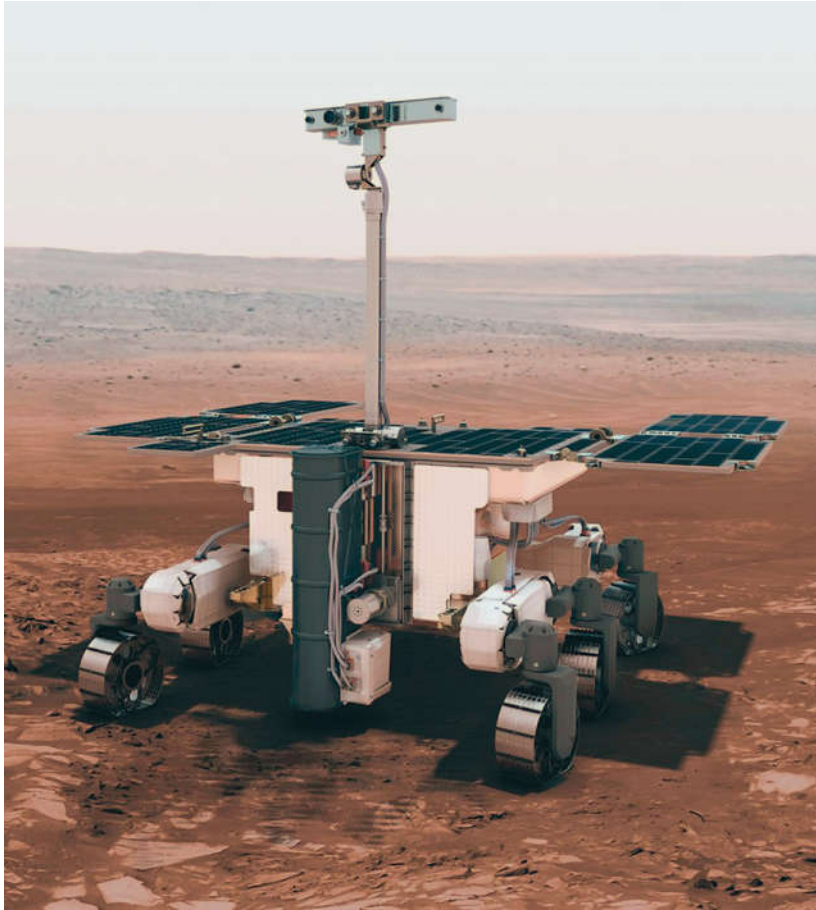


ляет картирование метана прибором ТИРВИМ при спектральном разрешении $0,2 \text{ см}^{-1}$ и времени экспозиции около 10 с: если содержание метана в атмосфере превысит уровень 3–5 ppb, то картирование позволит установить возможные источники газа на поверхности. Эти измерения обеспечивают дублирование прибора NOMAD, повышая вероятность выполнения одной из основных научных задач.

Исследование планет методом солнечных затмений (солнечное просвечивание) – результативное средство получения информации о составе и вертикальной структуре атмосфер, неоднократно применявшееся в космических исследованиях. преимуще-

ства метода состоят в высокой яркости источника, а также в возможности калибровки прибора при каждом измерении и получении вертикальных профилей. В режиме солнечного затмения каналами прибора АЦС исследуется влияние излучения Солнца, просвечивающего атмосферу планеты. В канале ТИРВИМ наблюдается весь диск, в каналах МИР и НИР – узким полем зрения вырезается лишь часть диска, что обеспечивает лучшее пространственное разрешение.

Ответ на одну из основных научных задач в ходе эксперимента, проводимого в этом режиме, состоит в детектировании и измерении содержания метана в атмосфере Марса (ожидаемый предел его обнару-



Марсоход проекта "Экзо-Марс-2018" на поверхности Марса. Рисунок ESA.

жения – около 1 ppb), а также в измерении вертикального распределения плотности других компонентов атмосферы по спектрам их поглощения.

Другой важной задачей, которую "помогут решить" солнечные затмения, станет измерение содержания дейтерированной воды и определение отношения D/H в водяном паре. Это позволит улучшить понимание процессов диссипации воды с Марса. Несмотря на ряд проведенных астрономических наблюдений, погрешность измерения D/H остается значительной: до сих пор линии обычной и

дейтерированной воды не удавалось измерить одновременно и с необходимой точностью.

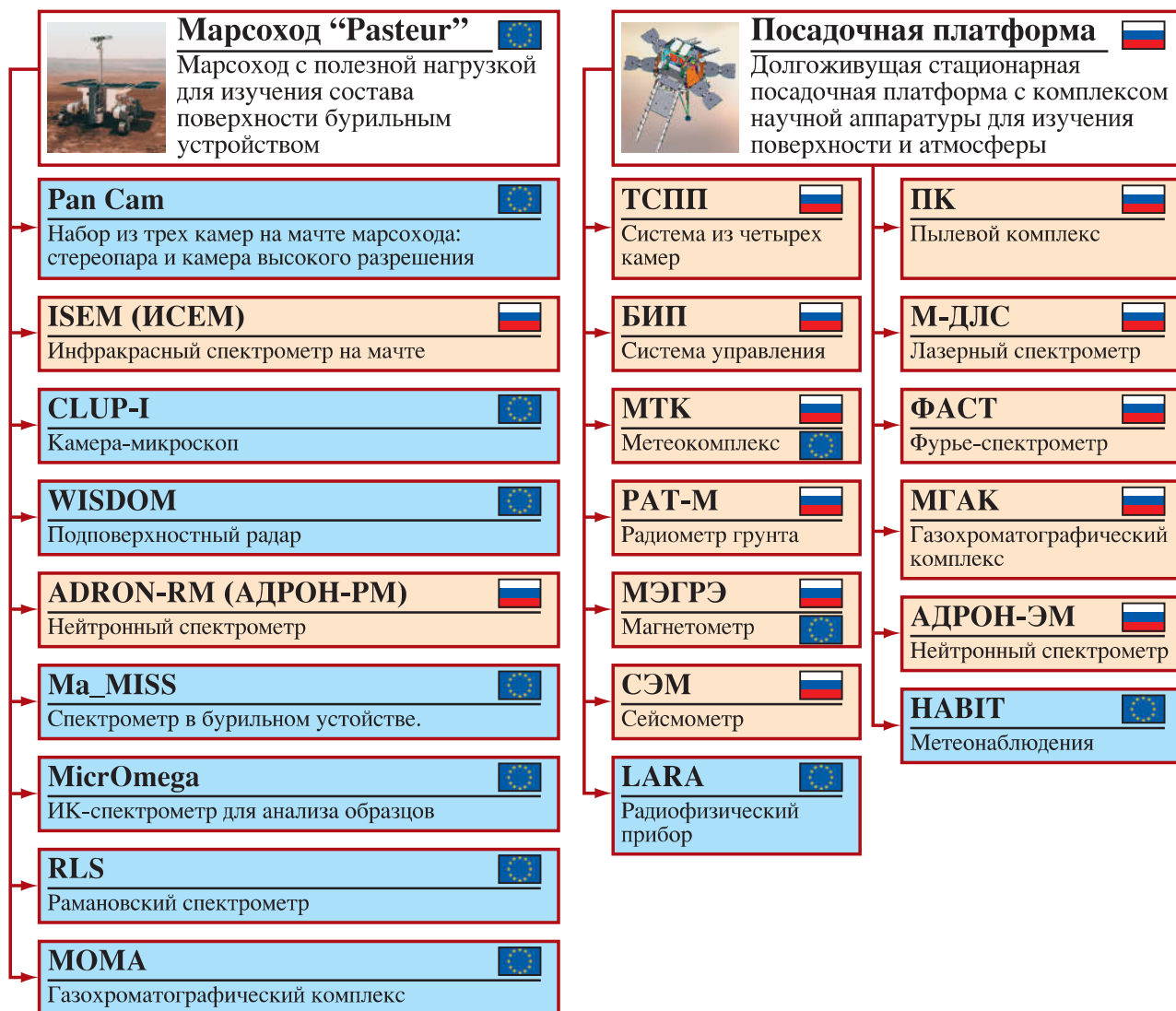
Эксперимент предоставляет широкие возможности для исследования изотопических полос CO_2 , а также для поиска новых молекул атмосферных газов: например, HO_2 , C_2H_4 , NO_2 , N_2O , NH_3 , HCN , HCl , OCS .

Метод солнечных затмений также позволяет измерять экстинкцию атмосферного аэрозоля на лимбе. Такие измерения необходимо проводить в широком спектральном диапазоне, но наиболее характерные особенности поглощения света

частицами атмосферного аэрозоля проявляются в диапазоне длин волн, сравнимом с характерными размерами частиц, то есть в ближнем ИК-диапазоне. Измерения экстинкции аэрозоля в эксперименте будут проводиться в каналах НИР, МИР и ТИРВИМ на участках спектрального континуума между полосами атмосферных газов. Широкий диапазон регистрируемых длин волн позволит не только измерить отношения экстинкции пыли в коротковолновом и тепловом ИК-диапазонах, но и определить природу аэрозоля: это конденсационные облака (водяного или углекислого льда) или минеральные частицы.

НЕЙТРОННЫЙ СПЕКТРОМЕТР ФРЕНД

Спектрометр ФРЕНД (Fine Resolution Epithermal Neutrons Detector – высокоточный детектор эпитеpmальных нейтронов) – нейтронный прибор с коллиматором и модулем дозиметрии создан для картографирования потоков нейтронов с поверхности Марса с беспрецедентным пространственным разрешением



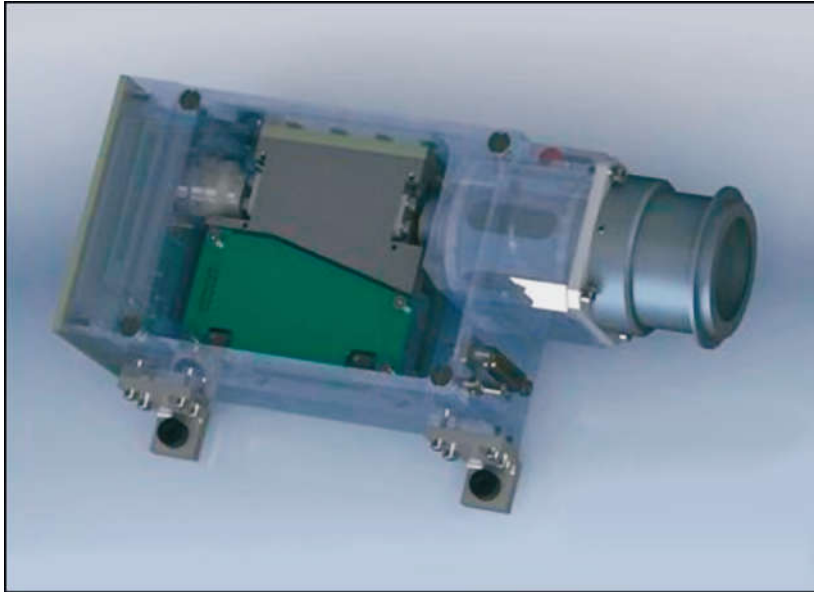
Научная аппаратура марсохода и посадочной платформы проекта “ЭкзоМарс-2018”.

(одна точка измерения – область диаметром 40 км на поверхности Марса). Потoki нейтронов, исходящие от поверхности планеты, позволяют судить о содержании водорода в приповерхностном слое глубиной до одного метра. Создание карт залегания замершей воды необходимо для возмож-

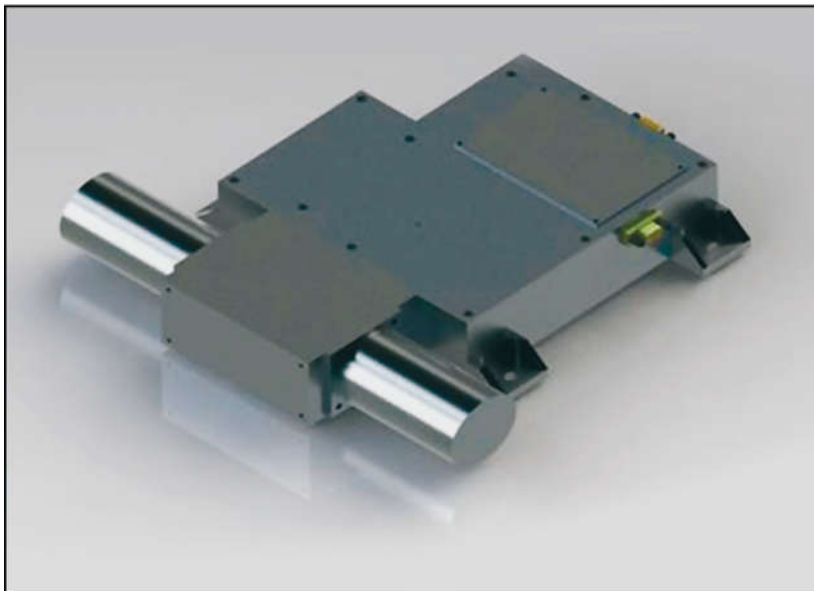
ности более точно выбирать места посадки будущих марсианских миссий.

Прибор ФРЕНД содержит четыре счетчика ^3He , регистрирующих нейтроны с энергиями в диапазоне 0,4–500 кЭв, и сцинтиллятор на основе кристалла стильбена для регистрации высокоэнергетических нейтронов с энергиями до 10 МэВ. Все датчики имеют узкое поле зрения с размером пиксела 40 км на поверхности Марса. Коллимационный модуль ФРЕНД представляет собой пол-

ностью пассивный элемент конструкции, внутри которого располагаются пять детекторов прибора. Наружный слой коллиматора выполнен из полиэтилена высокой плотности, внутренний – из порошка обогащенного бора (B_{10}). Нейтроны, попадающие на стенки коллиматора, сначала затормаживаются полиэтиленовым слоем, содержащим большое количество атомов водорода. Далее термализованные нейтроны попадают в слой B_{10} и поглоща-



Российские приборы марсохода. Оптический блок инфракрасного спектрометра ИСЕМ и нейтронный спектрометр АДРОН-РМ.



сохода состоит из двух приборов, разрабатываемых в ИКИ РАН, – инфракрасном спектрометре ИСЕМ (ISEM) и нейтронном спектрометре АДРОН-РМ (ADRON-RM). По прибытии марсохода в конце 2018 г. – начале 2019 г. орбитальный КА “Trace Gas Orbiter” переведут на низкую орбиту для работы в качестве спутника-ретранслятора. По плану, марсоход должен пройти расстояние в несколько километров в течение 218 марсианских суток.

Посадочная платформа разрабатывается в НПО им С.А. Лавочкина и представляет собой долгоживущую стационарную станцию, срок ее активного существования – примерно один земной год. После схода марсохода посадочная платформа приступит к выполнению научной программы. На платформе будет установлен комплекс научной аппаратуры (КНА-ЭМ) массой 45 кг, который разрабатывается под руководством ИКИ РАН.

Марсоход

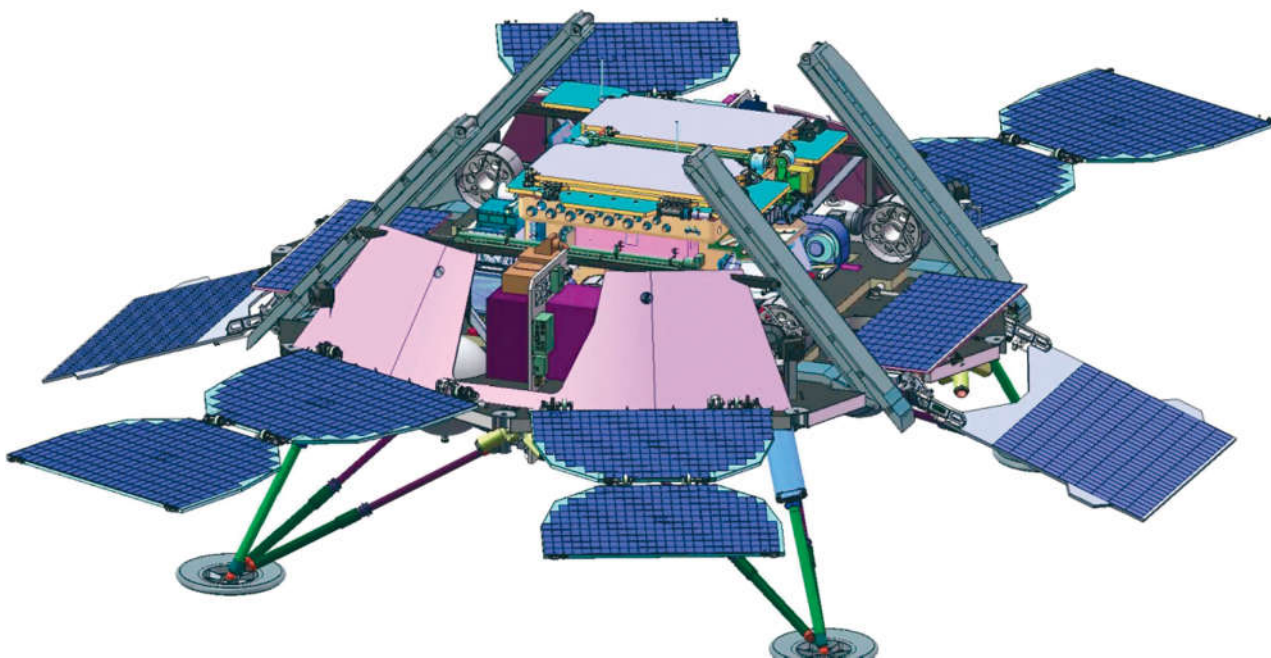
Марсоход (масса около 310 кг) – изначально основной элемент проек-

ются этим материалом. Угол раскрытия коллиматора позволяет сузить поле зрения детекторов прибора до пятна диаметром 40 км на поверхности Марса с круговой орбиты высотой 400 км. Это позволит улучшить пространственное разрешение существующих нейтронных карт Марса в 7,5 раз по сравнению с картами, полученными прибором ХЕНД на АМС “Марс Одиссей”. В ком-

плект прибора ФРЕНД входит дозиметрический блок, осуществляющий постоянный мониторинг радиационной обстановки на орбите планеты.

МИССИЯ “ЭКЗОМАРС-2018”

Научная аппаратура марсохода проекта “ЭкзоМарс-2018” содержит 9 приборов общей массой примерно 25 кг. Российский научный вклад в полезную нагрузку мар-



Посадочная платформа с марсоходом проекта “Экзо-Марс-2018”. Рисунок НПО им. С.А. Лавочкина.

та “ЭкзоМарс”. За долгие годы он претерпел значительные изменения в своем облике: например, был убран первоначально предусмотренный манипулятор с набором научных приборов. В актуальной версии на нем установлена биологическая лаборатория “Пастер” (“Pasteur”) – комплекс приборов для анализа геологического контекста на месте посадки, а также для изучения физических и химических свойств образцов с поверхности и из подповерхностного слоя планеты. Основная задача научного комплекса – поиск органических

соединений на Марсе или следов существования жизни в прошлом.

На марсоходе размещены следующие элементы:

- на мачте установлены три камеры (две камеры для получения стереоизображений и камера высокого разрешения) и российский инфракрасный спектрометр ИСЕМ, который будет исследовать минералогический состав поверхности, помогая выбрать оптимальные образцы для дальнейшего исследования;

- буровое устройство снаружи марсохода, способное извлекать образцы с глубины до двух метров, внутри которого установлен спектрометр Ma_MISS для изучения минералогии образцов;

- камера высокого разрешения CLUPI для

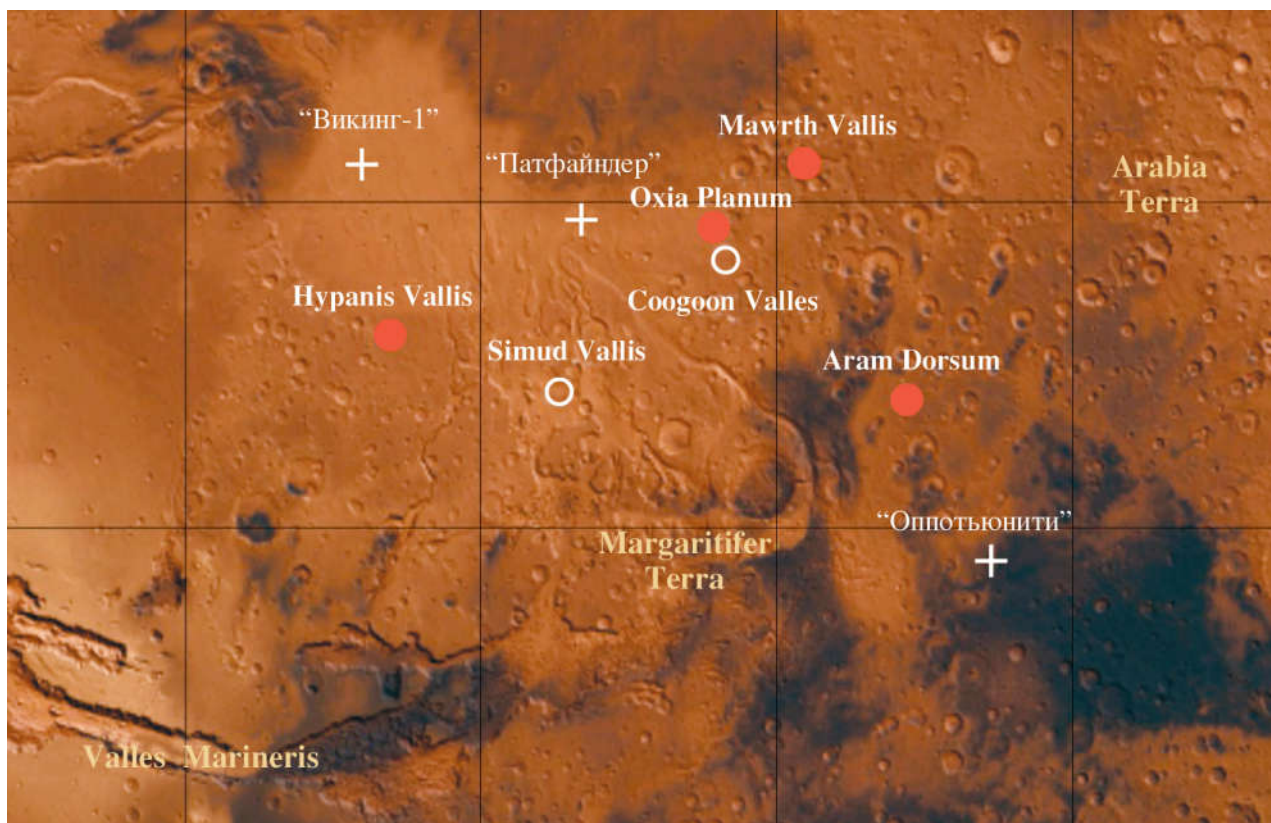
получения снимков образцов и камней;

- бортовая аналитическая лаборатория “Пастер”, расположенная внутри марсохода, служит для всестороннего анализа взятых буровым устройством образцов. Состоит из газохроматографического комплекса, рамановского и инфракрасного спектрометров. Именно в лаборатории “Пастер” будет производиться поиск органических соединений;

- радар WISDOM и российский нейтронный спектрометр АДРОН-PM для анализа подповерхностного слоя вдоль трассы движения марсохода для выбора “интересных мест” забора образцов.

Посадочная платформа

Научная программа посадочной платформы связана, прежде всего,



с мониторингом различных процессов на поверхности Марса, протекающих в течение суток и сезонов. Такой мониторинг выполняется с долгоживущей стационарной платформы. Время ее работы может быть существенно увеличено в случае успешного выполнения программы.

Научный комплекс посадочной платформы проекта “ЭкзоМарс” позволяет выполнить ряд научных задач, типичных для сетевых посадочных миссий (нескольких идентичных посадочных модулей, объединенных общими задачами и образующими подобие сети). Главной остается мониторинг климата Марса на основе метеонаблюдений на поверхности и ис-

следование внутреннего строения планеты путем сейсмических измерений. Первые длительные наблюдения на поверхности планеты были проведены в 1976–1982 гг. на посадочных аппаратах “Викинг-1 и -2” (Земля и Вселенная, 1976, № 3; 1977, № 3). Затем попытка создания такой сети была предпринята в проекте “Марс-96”, предусматривавшем посадку на Марсе двух малых станций и внедрение в поверхность Марса двух пенетраторов (Земля и Вселенная, 1995, № 4). В дальнейшем разрабатывались несколько концепций сетевых программ: например, “NetLander”, “Pascal”, “MetNet”. Но ни один из этих проектов не был реализован, кроме

Фрагмент карты Марса с отметками возможных мест посадки (красными кружками обозначены основные, белыми – запасные; последние первоначально рассматривались, но были исключены) платформы с марсоходом проекта “ЭкзоМарс-2018”. ESA/CartoDB.

перенесенного на 2018 г. американского посадочного аппарата “InSight” – одиночной станции для сейсмического исследования Марса (Земля и Вселенная, 2015, № 4, с. 105).

В России в рамках НИР в 2009–2011 гг. разработана концепция проекта “Марс-НЭТ”, предусматривавшая развертывание на поверхности Марса 3–4-х малых станций (Земля и Вселенная,

2012, № 4, с. 16–18). В ходе разработки проекта “ЭкзоМарс” в предыдущем варианте (без участия России) была разработана концепция долгоживущей станции. Однако из-за ограничений по общей массе спускаемого аппарата от этого модуля пришлось отказаться, и в конфигурации проекта “ЭкзоМарс” ESA–NASA посадочная платформа служила лишь для доставки марсохода на поверхность. Отличной метеостанцией мог бы служить демонстрационный посадочный модуль проекта “ЭкзоМарс-2016”, но ограниченное время его существования сводит “на нет” все качественные характеристики установленных на нем приборов.

Несмотря на востребованность, концепция сетевой программы полета пока реализуется очень медленно. До сих пор она не входит в планы космических агентств. Научная аппаратура на посадочной платформе “ЭкзоМарс-2018” позволяет внести существенный вклад в отработку ее элементов. В рамках национальной программы посадочная платформа позволит выполнить часть научных задач, поставленных для проекта “Марс-НЭТ”, и использовать созданный по этому проекту научный задел. Также возможно решение дополнительных задач.

Основные задачи комплекса научной аппара-

туры посадочной платформы проекта “ЭкзоМарс-2018” (КНА-ЭМ) можно сформулировать так:

- долговременный мониторинг климатических условий на марсианской поверхности в месте посадки;

- съемка поверхности на месте посадки;

- исследование состава атмосферы Марса с его поверхности;

- мониторинг радиационной обстановки на планете в месте посадки;

- исследование взаимодействия атмосферы и поверхности;

- изучение распространения воды в подповерхностном слое;

- изучение внутреннего строения Марса.

В состав КНА-ЭМ входят 11 российских приборов:

- метеоконкомплекс МТК для изучения атмосферы Марса (в том числе и на этапе спуска);

- фурье-спектрометр ФАСТ для исследования атмосферы и мониторинга климата Марса;

- пылевой комплекс ПК для изучения золотых (ветровых) отложений на Марсе, а также наблюдение за динамикой пыли;

- радиотермометр РАТ-М для проведения бесконтактных микроволновых измерений температуры марсианского грунта и марсианской атмосферы;

- сейсмометр;

- газоаналитический комплекс МГАК для исследования динамики микрокомпонентов атмосферы у поверхности Марса;

- лазерный спектрометр М-ДЛС для исследования химического и изотопного состава атмосферы вблизи поверхности Марса и летучих компонент марсианского грунта;

- детектор нейтронов и гамма-лучей АДРОН-ЭМ для определения содержания воды и элементного состава подповерхностного грунта, а также мониторинга радиационной обстановки;

- магнитометр МЭГРЭ для измерения магнитного поля;

- телевизионная система посадочной платформы ТСПП, состоящая из четырех камер;

- блок интерфейсов и памяти БИП.

В состав КНА-ЭМ также включены два европейский прибора. LARA (Бельгия) служит для исследования Марса радиофизическими методами, а прибор НАВИТ (Швеция) предназначен для метеорологических наблюдений.

ВЫБОР МЕСТА ПОСАДКИ ПО ПРОГРАММЕ “ЭКЗОМАРС-2018”

Место посадки платформы, планирующейся к запуску в 2018 г., определяется с учетом основной задачи – поиск сле-

дов жизни, возможно, существовавшей на Марсе в прошлом или существующей на нем сегодня. Климат Марса 3,5–4 млрд лет назад был теплее и более влажным, поэтому, возможно, там открылся путь к зарождению примитивной жизни. Учитывая цель программы “ЭкзоМарс-2018”, один из критериев выбора места посадки такой: эта область должна содержать древние породы и иметь следы непрерывного (или периодического) действия воды в течение длительного периода. Это могут быть, к примеру, русла рек и озер. Кроме того, должны быть условия для презервации биомаркеров в осадочных породах; также есть ряд ограничений технического плана для обеспечения безопасности посадки.

Учитывая эти данные, весной 2014 г. (по

результатам международного конкурса) было выбрано четыре района возможной посадки платформы по программе “ЭкзоМарс-2018”. В октябре 2015 г. их ограничили областью Плато Оксия (Oxia Planum), представляющей собой эллипс 19×104 км, который находится внутри неглубокого кратера на поверхности Марса. Здесь на поверхность выходят филлосиликаты (глинистые породы), обогащенные железом и магнием. Над ними находится слой темного вещества (возможно, вулканического происхождения), который подвергался эрозии на протяжении только последних 100 млн лет. Нижний слой, по имеющимся данным, не претерпевал изменений, связанных с температурным режимом или метаморфизмом. Внутри эллипса нет существ-

венных возвышенностей, и, по имеющимся данным, очень мало деталей рельефа, которые могут представлять опасность при посадке.

Для резервной даты запуска проекта в 2020 г. будет выбран второй кандидат из двух возможных – Долина Мавра (Mawrth Vallis) или Ложбина Овна (Aram Dorsum). Это – наиболее интересные места на поверхности Марса. Возраст древних скал здесь более 3,8 млрд лет. Оба района богаты глинистыми породами, что говорит о важной роли воды в формировании локального ландшафта.

Проект “ЭкзоМарс” позволит решить ряд приоритетных задач в исследовании Марса, а также восстановить роль России в межпланетных исследованиях.

Информация

Запуск экспедиции к Марсу

14 марта 2016 г. по программе “ЭкзоМарс” с космодрома Байконур стартовала РН “Протон-М” с российско-европейской

АМС “Trace Gas Orbiter” и демонстрационным десантным модулем “Schiaparelli” (см. статью Д.С. Родионова, Л.М. Зелёного, О.И. Кораблёва в этом номере). На следующий день разгонный блок “Бриз-М” перевел АМС на траекторию полета к Марсу. Полет продлится 7 месяцев. Планируется, что 16 октября 2016 г. аппараты разделятся, 19 октября модуль “Schiaparelli” войдет в атмосферу плане-

ты и совершит посадку на марсианскую поверхность, а “Trace Gas Orbiter” выйдет на орбиту искусственного спутника Марса. Далее около года орбитальный аппарат будет тормозиться об атмосферу, так что приборы начнут работать в середине 2017 г. По расчетам специалистов, орбитальный аппарат будет передавать информацию до конца 2022 г.

Пресс-релиз Роскосмоса
15 марта 2016 г.