



ЦЕПКИЙ ВЗГЛЯД С ОРБИТЫ

ЧТО УВИДЕЛИ РОССИЙСКИЕ ПРИБОРЫ: В АТМОСФЕРЕ И НА ПОВЕРХНОСТИ МАРСА

НА ОРБИТЕ ВОКРУГ МАРСА В РАМКАХ РОССИЙСКО-ЕВРОПЕЙСКОЙ МИССИИ EXOMARS УЖЕ ВТОРОЙ МАРСИАНСКИЙ ГОД РАБОТАЕТ АППАРАТ TGO (TRACE GAS ORBITER). РОССИЙСКИЕ ПРИБОРЫ ACS И FREND, РАЗМЕЩЕННЫЕ НА ЕГО БОРТУ, ПРОДОЛЖАЮТ ИССЛЕДОВАТЬ АТМОСФЕРУ МАРСА И ЕГО ПОВЕРХНОСТЬ.

Виктория КОЛЕСНИЧЕНКО

За полтора марсианских года (около трех земных лет) ACS и FREND основательно потрудились и собрали больше данных, чем было получено в ходе других орбитальных миссий, изучающих Марс уже больше десяти лет. Оба прибора созданы в Институте космических исследований (ИКИ) РАН по заказу Госкорпорации «Роскосмос».

НЕ МЕТАНОМ ЕДИНЫМ

Спектрометрический комплекс ACS, состоящий из трех приборов, исследует атмосферу и климат Марса. С весны 2018 г. он ведет «охоту» в том числе за малыми составляющими атмосферы планеты в стремлении заметить любые признаки геофизической или биологической активности.

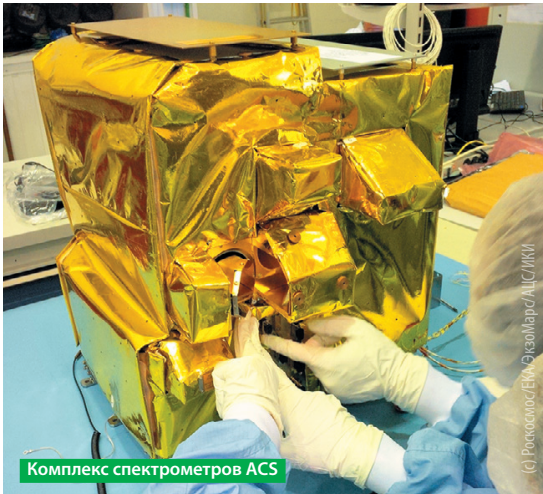
«Жизнь» ACS на орбите вокруг Марса оказалась насыщенной научными событиями. Летом 2018 г. TGO посчастливилось наблюдать глобальную пылевую бурю, позволившую ученым лучше «присмотреться» к динамике марсианской атмосферы. В 2019 г. была опубликована статья в журнале Nature, где зафиксировано, что спектрометры ACS не зарегистрировали метан в атмосфере

планеты, а это показывает, что концентрация этого газа-биомаркера на Марсе в 10–100 раз меньше, чем показывали приборы на предшествующих марсианских орбитальных станциях.

В 2020 г. ACS позволил ученым выяснить, что Марс теряет воду быстрее, чем предполагалось, а также помог установить, что значительных концентраций потенциального биомаркера фосфина в атмосфере планеты нет. Кроме того, понаблюдав за «поведением» угарного газа, инструмент предоставил ученым новую детальную информацию об особенностях циркуляции атмосферы и движения атмосферных масс.

Сегодня ACS продолжает усердно трудиться, «разглядывая» в атмосфере Марса малые составляющие газов. Как сообщает главный специалист отдела физики планет ИКИ РАН Александр Трохимовский, после трех лет работы ACS не сбавляет обороты: наблюдения производятся несколько раз в день. За все время работы на орбите вокруг Марса ACS произвел более шести тысяч сеансов измерений.

Говоря об особенностях работы спектрометров, ученый поясняет, что на сегодняшний день ACS является «лучшим набором для исследова-



ния атмосферы». Так, у космического аппарата, на котором установлен спектрометрический комплекс, хорошее покрытие – благодаря невысокой орбите; в частности, это позволяет проводить большое количество наблюдений. Кроме того, его аппаратура более чувствительна, чем у приборов всех предыдущих миссий.

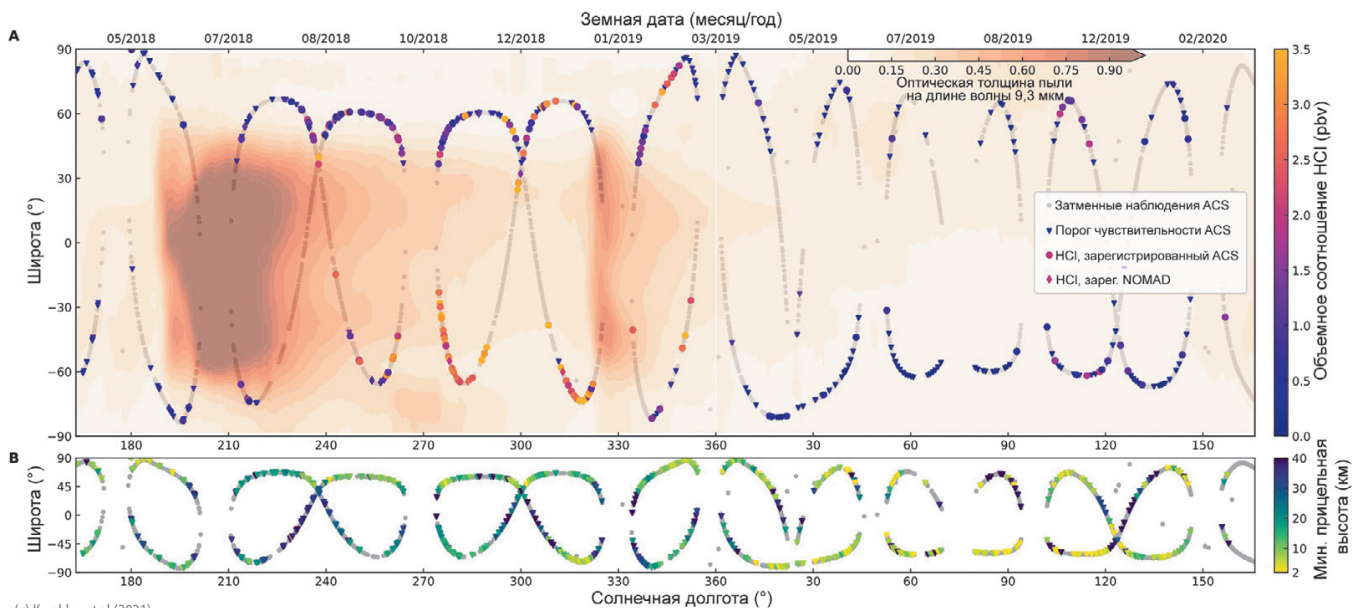
«Если до этого измерения получались только на определенных оптимальных высотах, то теперь наша более чувствительная аппаратура позволяет измерять содержание водяного пара практически от поверхности до высоты 100 км и даже чуть выше. Это действительно новое. Мы измеряем много параметров одновременно, все они вместе позволяют создать глобальные картины», – комментирует Александр Трохимовский.

В контексте научных планов ACS он отмечает, что речь идет об улучшении существующих результатов: «Будем делать климатологию, подробные межгодовые сравнения, отчеты по профилям водяного пара, температуры. У нас еще очень много неопубликованного материала. В том числе это улучшения уже известных данных. Например, в начале научной миссии в 2019 г. вышла статья, где говорилось, что метана на Марсе нет, мы с очень хорошей точностью это показали. То была первая статья, а сейчас выходит новая. И в ней сказано: теперь мы меряли долго, в разных местах, в разные сезоны. Метана на Марсе нет».

Самое свежее научное достижение ACS – открытие в атмосфере Марса хлороводорода (HCl). Этот газ проявился во время глобальной пылевой бури, а после ее окончания «таинственно» исчез. Статья с результатами исследования опубликована в журнале Science Advances 10 февраля 2021 г.

Александр Трохимовский, один из ее авторов, комментирует новые достижения работы ACS: «Это очень приятный и позитивный результат работы нашей аппаратуры. История получилась интересной, захватывающей, потому что хлороводород пытались обнаружить в атмосфере до EхоMars и никогда не находили. Мы, прилетев на Марс, изучили данные с лучшей точностью, чем в предыдущих исследованиях. И выяснилось, что хлороводород удивительным образом присутствует только в определенные сезоны. Это открытие стало сюрпризом, потому что совершенно не

Присутствие хлороводорода на Марсе в течение марсианского года по данным комплекса спектрометров ACS на борту TGO. По горизонтали указано положение Марса на орбите, которое соответствует сезону, по вертикали – широта. Кружками обозначены результаты ACS, ромбами – NOMAD (также один из инструментов TGO). Цвет кружков и ромбов соответствует количеству HCl в атмосфере (шкала справа, ppbv). Градации коричневого цвета демонстрируют интенсивность глобальной пылевой бури



(c) Korabiev et al (2021)



FREND: ИССЛЕДОВАТЕЛЬ ВОДНЫХ ЗАПАСОВ МАРСА

Детектор эпитепловых нейтронов высокого пространственного разрешения FREND с весны 2018 г. занят картографированием распределения водорода в верхних слоях грунта Марса. Прибор особенно чувствителен к запасам водорода на глубине до 1 метра, где этот элемент может присутствовать в составе воды, водяного льда или гидратированных минералов, образованных в водной среде.

Как известно, вода и водяной лед непосредственно на поверхности Марса

на экваторе и на умеренных широтах нестабильны: вода либо испаряется, либо замерзает, если находится в зоне низких температур, в частности в приполярных областях. Поиск запасов воды в верхних слоях грунта важен как для науки, так и для будущего освоения Марса. Наличие жидкой воды – необходимое условие для зарождения и развития той формы жизни, которая нам известна. Если Марс был обитаем в прошлом, следы древней биосферы, как считают ученые, следует искать именно «во льдах современной вечной мерзлоты».

Нейтронное зондирование Марса с орбиты считается одним из самых эффективных методов поиска и оценки количественного содержания воды в верхних слоях грунта, но пространственное разрешение подобных измерений, проводимых ранее, составляло сотни километров. Так, с 2001 г. на борту орбитального аппарата 2001 Mars Odyssey (NASA) трудится «старший брат» прибора FREND – нейтронный детектор HEND. Именно благодаря работе этого инструмента ученые выяснили, что в марсианском грунте распространены водород и водяной лед. Однако пространственное разрешение измерений HEND низкое – около 600 км.

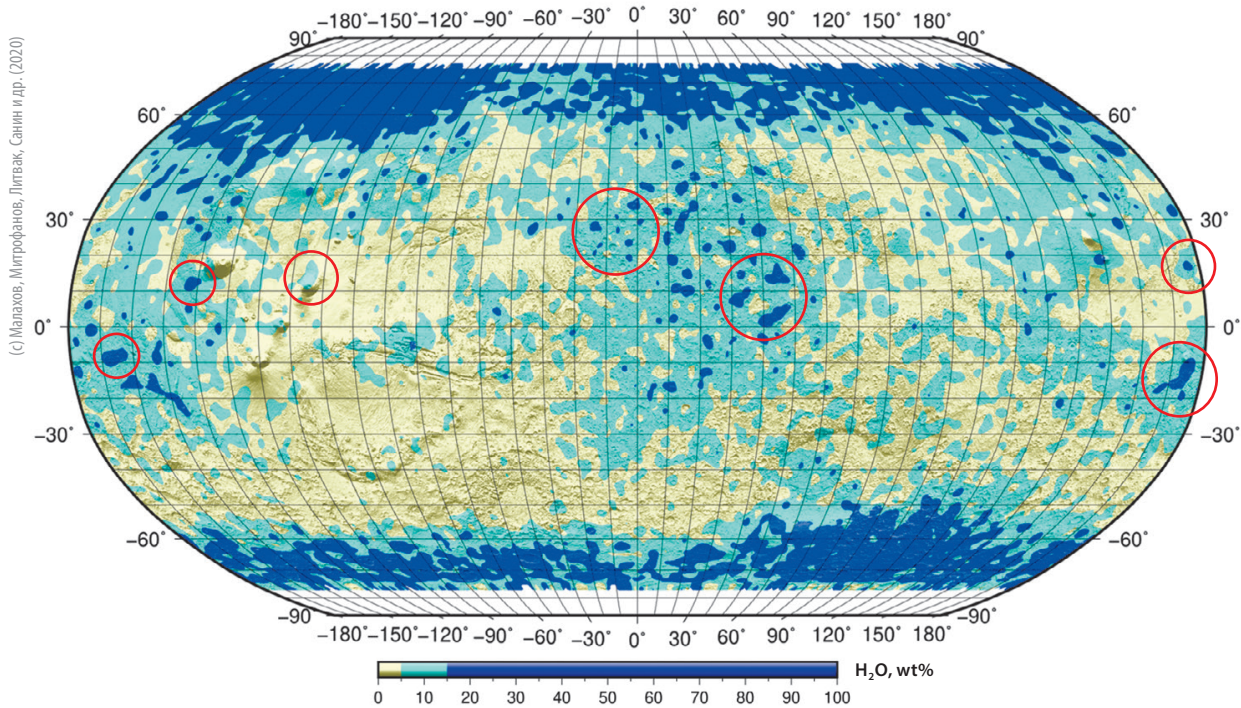
ЧТО ТАКОЕ ХЛОРОВОДОРОД?

Хлороводород (HCl) – газ, который на данный момент найден на трех планетах: Земле, Венере и Марсе. На нашей планете он попадает в атмосферу из моря, когда частицы морских солей превращаются в аэрозоль. В результате взаимодействия с водой высвобождается хлор, который далее, реагируя с водородсодержащими соединениями, образует хлороводород.

совпадало с представлениями о химии на Марсе. Оно, конечно, не внесет фундаментальных изменений в общую динамику, потому что концентрация порядка частей на миллиард – это очень мало. Но интересно, что у хлороводорода прослеживается явный сезонный цикл. И теперь вопрос в том, чтобы объяснить механизмы его появления в определенных местах в определенный сезон, а также столь стремительного исчезновения».

Среди возможных источников хлороводорода в атмосфере Марса – частицы пыли, поднятой с поверхности во время глобальной пылевой бури, или активный вулканизм. На Земле, как известно, малое количество хлороводорода высвобождается в результате извержения вулканов. Однако если бы к увеличению концентрации этого газа на Марсе приводили аналогичные процессы, то оно должно было бы коррелировать с сейсмической активностью. На данный момент при сравнении с данными посадочного аппарата InSight (NASA) такое соответствие не установлено. Кроме того, «всплески» концентрации хлороводорода во время глобальной пылевой бури позволяют предположить, что хлор был «потревожен» на поверхности из-за суровых погодных условий.





Расположение «оазисов» льдистой вечной мерзлоты, содержание воды в которых по оценкам ученых достигает десятков процентов по массе. Карта воды на Марсе составлена по данным детектора FREND

FREND обладает пространственным разрешением в 60–200 км, которое позволяет сопоставлять данные о переменности потока эпитепловых нейтронов со структурами рельефа. Чтобы найти на Марсе области с высокой концентрацией воды, FREND анализирует нейтронное альbedo (вторичное излучение) планеты, которое образуется в результате «бомбардировки» марсианской поверхности галактическими космическими лучами (ГКЛ). Атомы водорода в воде эффективно замедляют нейтроны высоких энергий, возникающие в веществе под воздействием частиц ГКЛ. В результате районы с высоким содержанием водорода излучают пониженный поток над-тепловых нейтронов – именно этот эффект FREND «отслеживает» с орбиты.

В настоящее время главным результатом работы FREND на орбите вокруг Марса является карта распределения воды в приповерхностном грунте, созданная на основе измерений, произведенных за 678 марсианских дней – с 27 апреля 2018 г. по 6 марта 2020 г. На основе анализа данных, полученных в первый марсианский год, ученые выявили в экваториальных регионах планеты несколько локальных областей с высоким содержанием водорода, которые назвали «оазисами вечной мерзлоты». Согласно предварительным оценкам, массовая доля воды в приповерхностном слое грунта в таких областях составляет от нескольких десятков до 100%. Вода с таким высоким содержанием может присутствовать в грунте только в форме льда.

В статье, опубликованной в июне 2020 г. в журнале *Astronomy Letters*, ученые проанализировали семь таких «оазисов» марсианской «вечной мерзлоты».

Заведующий отделом ядерной планетологии ИКИ РАН, руководитель эксперимента FREND Игорь Митрофанов объясняет: «Водяной лед этих оазисов может содержать высокомолекулярные соединения биологического происхождения, оставшиеся от ранней эпохи эволюции Марса, когда его климат был благоприятным для зарождения примитивной жизни – аналогично тому, как это произошло на ранней Земле».

FREND также анализирует радиационную обстановку на орбите вокруг Марса с помощью детектора ГКЛ «Люлин-МО» в его составе. В результате его работы ученые пришли к выводу, что доза радиации, которую могли бы получить участники марсианской экспедиции на корабле без средств радиационной защиты, была бы выше норм радиационной безопасности.

По словам Игоря Митрофанова, в ближайшее время ученые проведут «анализ данных измерений с учетом информации, полученной после марта 2020 г. Поскольку данные картографирования уже покрывают полный марсианский год, планируется начать изучение сезонных вариаций нейтронного излучения Марса и связанных с ними эффектов образования сезонных покровов атмосферной углекислоты и вариаций толщины атмосферы». ■