

ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

СООБЩЕНИЕ ПРЕСС-СЛУЖБЫ

ВОДА В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ГРУНТА МАРСА

Российский нейтронный детектор ДАН на борту марсохода *Curiosity* (НАСА) уже более года изучает распределение воды в верхнем слое грунта по трассе следования марсохода. Информация, которую получают исследователи, — сколько воды и на какой глубине находится в кратере Гейла. Как это соотносится с ландшафтом района? Об этом на Четвёртом московском международном симпозиуме по исследованиям Солнечной системы рассказывал *Руслан Кузьмин*, старший научный сотрудник Института космических исследований РАН и ведущий научный сотрудник Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН.

Четыре километра, которые *Curiosity* пропутешествовал в кратере Гейла, оказались очень разными с точки зрения того, сколько воды содержится в подповерхностном (порядка 60 см в глубину) слое грунта. Чтобы понять, почему так происходит, важны особенности ландшафта, о которых можно судить как по фотографиям высокого разрешения (0,25 м /элемент изображения) камеры HiRISE с орбитального аппарата *Mars Reconnaissance Orbiter*, так и с нескольких камер, установленных на борту марсохода. Как показывает даже беглый анализ, вид марсианской поверхности также довольно разнообразен, причём на достаточно малых масштабах — порядка метра.

В месте посадки марсохода, Bradbury Landing, (получившей имя в честь писателя-фантаста Рэя Бредбери), снимки показывают много мелких возвышений и волнообразных гряд на в целом пологой равнинной поверхности, которая постепенно спускается к востоку. Отсюда до района Гленелг, куда направился *Curiosity* после посадки, перепад высоты составляет приблизительно 15 м. В некоторых местах, среди грубозернистого реголита видны обнаженные скальные породы размерами от одного до десятков метров. Это означает, скорее всего, что толщина обломочного реголита меняется от района к району от нескольких сантиметров до метра и даже более, и там, где она минимальна, наружу выходит скальное основание.

Эти, казалось бы, сугубо морфологические подробности очень важны для понимания информации о потоке нейтронов из-под поверхности планеты, которую получает прибор ДАН. Детектор ДАН различает нейтроны по энергиям: от относительно низкоэнергичных тепловых до более высокоэнергичных эпитепловых. Поток первых отражает количество водорода под поверхностью; если их число растёт, а более энергичных нейтронов — падает, то водорода на таком участке поверхности больше. Есть и второе важное обстоятельство: тепловые нейтроны хорошо поглощаются такими элементами, как хлор и железо, поэтому если число первых уменьшается, это также может означать, что на данном участке поверхности больше этих элементов.

Чтобы сопоставить нейтронный «отклик» поверхности с типами ландшафта и текстуры реголита, исследователи использовали три параметра. Первый из них QL1 отражает число зарегистрированных тепловых нейтронов. Его можно соотнести как с количеством водорода (чем выше QL1, тем больше воды), так и с распространённостью хлора и железа (чем ниже параметр, тем больше этих поглощающих элементов). Второй параметр QL2 в большей степени связан с эпитепловыми нейтронами, а потому чувствителен только к водороду (чем меньше QL2, тем больше воды). Наконец, QL3 (или QL5 для пассивного режима работы ДАН) — отношение между числом зарегистрированных тепловых и эпитепловых нейтронов.

По фотографиям HiRISE было выделено несколько типов поверхности, и для пяти из них от места посадки до района Гленелг (протяженность трассы около 500 м), были построены

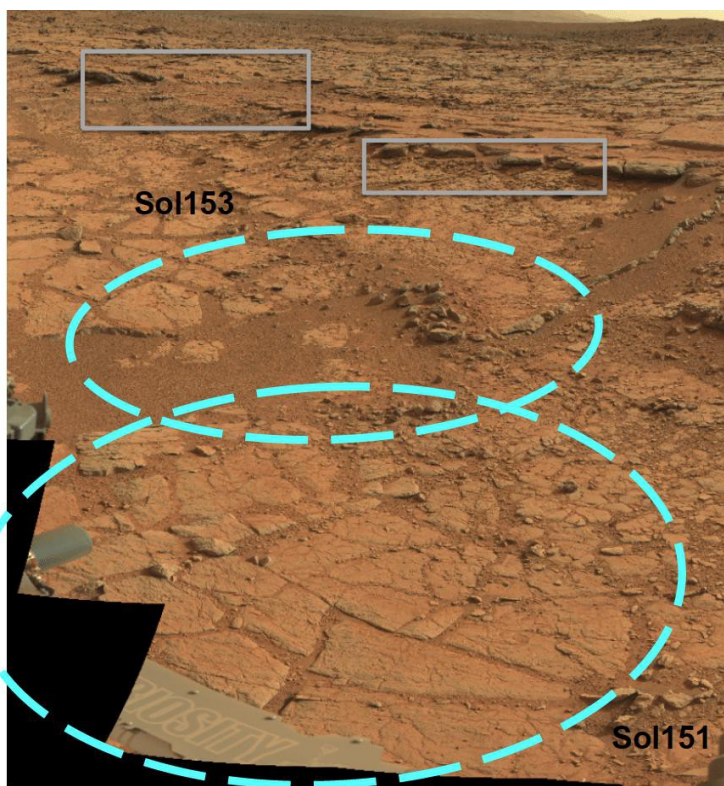
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

СООБЩЕНИЕ ПРЕСС-СЛУЖБЫ

графики изменения параметров. По ним видно четкую корреляцию между QL1 и QL3 и типами поверхности: оба параметра значительно ниже для типов 11 и 5 и выше для типов 9, 8 и 6.

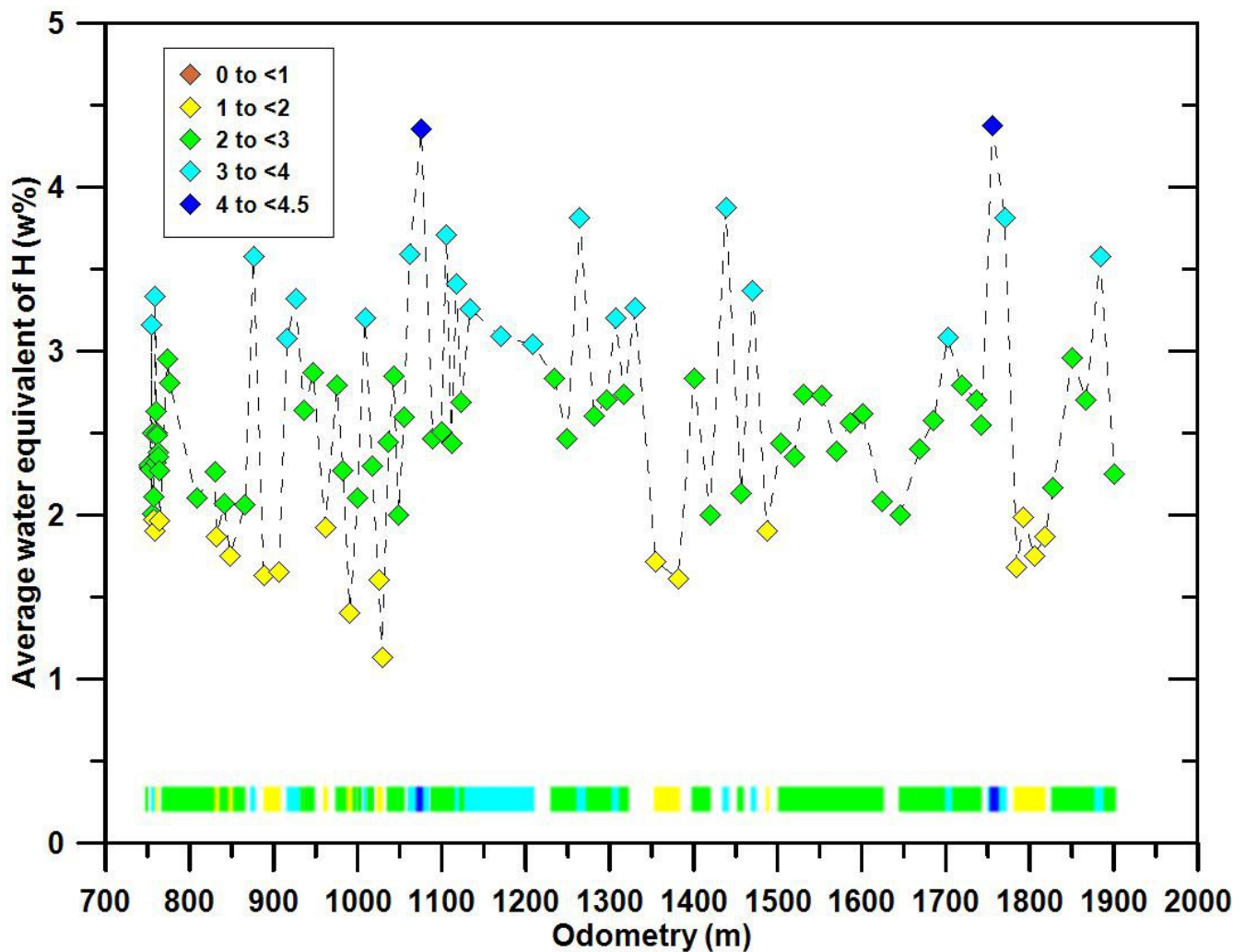
На дистанции 0–330 м и 420–500 м от места посадки все три параметра согласуются по тому, уменьшается или увеличивается количество подповерхностной воды. А вот на расстоянии 330–420 м QL1 показывает, что количество воды уменьшается, тогда как параметр QL2 отражает рост. Это не противоречие, поскольку QL1 чувствителен не только к водороду, но и к хлору и железу; таким образом, «разночтение» можно объяснить тем, что в верхнем слое грунта на этих участках больше этих поглощающих нейтроны элементов.

Кроме этого, по фотографиям вдоль трассы марсохода видно, что поверхность Марса в разной степени усеяна камнями. Из-за разной степени выветривания средний размер обломочного материала заметно меняется от места к месту. Во время 48 марсианских «дней» (солов) именно в подобном районе наблюдались заметные колебания параметра QL5 (отношение счета тепловых нейтронов к эпитепловым в пассивном режиме). Оказалось, что когда *Curiosity* пересекал районы с разной структурой реголита, в том числе те участки, где на поверхность выходят скальные породы, QL5 значительно менялся на дистанциях в 1–5 м. Его самое маленькое значение соответствовало скальному обнажению, а на участках с более мелкозернистым реголитом значение параметра повышалось.



Участок Lower Sheepbed unit в районе Йеллоунаиф Бэй. Кругами отмечены два типа поверхности, где прибор ДАН провел измерения в активном режиме. Распределение воды в грунте, относящемся к верхнему кругу, соответствует модели равномерного распределения с 2,5% содержания воды по массе. Данные, полученные для грунта в нижнем круге, соответствуют двуслойной модели с содержанием воды 1,4% по массе в верхнем слое (16 см) и 3,8% по массе — в нижнем. Фотография поверхности © NASA

Затем *Curiosity* достиг района Йеллоунаиф Бэй (Yellowknife Bay), где поверхность, как видно на фотографиях, представляет собой обширный район (сотни метров) скальных обнажений древних осадочных пород с характерной полигональной сеткой трещин (при размере полигональных блоков от первых десятков сантиметров до 2 м). Здесь измерения ДАН показали, что содержание воды в верхних 60 см грунта значительно колеблется, причём это хорошо соответствует разнице в виде поверхности на масштабах 1,5–2 м. Так, например, измерения, проведенные у крупного обнажения скальной породы рядом с участком «трещиноватой» поверхности совпали с «двуслойной» моделью грунта: в верхней части содержание воды оценивается в 1,4 процента по массе, в нижней, глубже 16 см, — в 3,8 процента по массе. Измерения же, проведённые на соседнем участке, где реголит состоит из продуктов разрушения скальной породы вперемешку с нанесенным золовым материалом, соответствуют другой модели распределения воды, где её содержание более равномерно — около 2,5 % по массе на всю глубину зондирования ДАН.



Среднее содержание воды (в процентах по массе) в верхнем слое грунта Марса, который зондирует ДАН (глубина порядка 60 см), вдоль трассы марсохода от 700 до 2000 м (пройденные расстояния показано по горизонтали). Цветами показано различное содержание воды в процентах (по вертикали)

Эта работа продолжается. Сейчас число «намотанных» *Curiosity* километров уже превысило четыре, и до цели путешествия — горы Шарп — осталось ещё шесть. Пока ДАН проводит измерения в активном режиме, зондируя поверхность пучком нейтронов высоких энергий, и в пассивном, когда роль такого «зонда» выполняют космические лучи, прилетающие к поверхности Марса из космоса и генерирующие нейтроны в поверхностном слое марсианского грунта.