

## Прибор ДАН зондирует дно ручья в кратере Гейл

Почти трое суток в режиме активных измерений провел прибор ДАН за два года работы на поверхности Марса в составе аппаратуры марсохода *Curiosity* (НАСА). В ходе его работы было установлено, что связанная вода в поверхностном слое грунта планеты распределена неравномерно, на большей глубине ее доля растет. Кроме этого, исследователям удалось оценить содержание других элементов, прежде всего хлора как основного поглотителя тепловых нейтронов в грунте Марса.

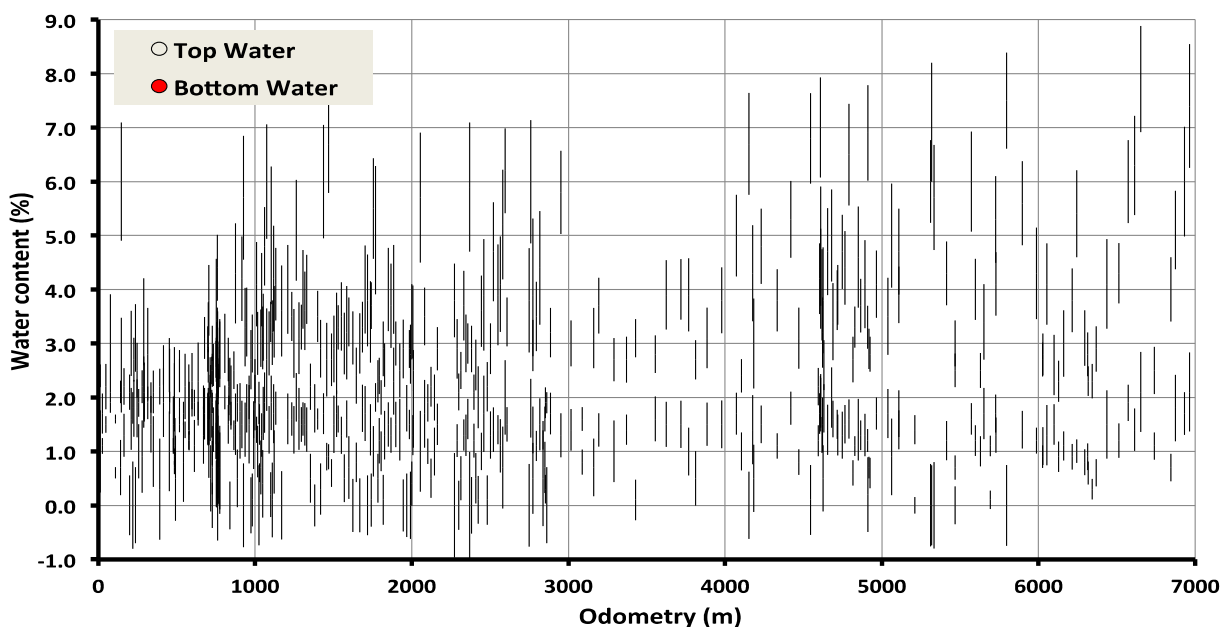
Прибор ДАН (сокращение от «Динамическое альbedo нейтронов») входит в состав аппаратуры на борту марсохода *Curiosity* (НАСА). Он измеряет спектр и поток нейтронов, выходящих из-под поверхности планеты. Известно, что их вариации очень сильно зависят от содержания воды/водяного льда в приповерхностном слое грунта, поэтому анализ данных нейтронных измерений позволяет оценить долю этого вещества в верхнем слое грунта (до 60 см).

При этом ДАН — не простой нейтронный детектор. Кроме приемника нейтронов, в него входит импульсный нейтронный генератор, специально разработанный для работы на поверхности Марса во Всероссийском институте автоматики им. Н.Л. Духова. В режиме активных измерений генератор облучает вещество поверхности микросекундными импульсами нейтронов с энергией 14 МэВ, после чего детекторы регистрируют выходящее с поверхности после-импульсное излучение нейтронов с временным разрешением от нескольких микросекунд до десятков миллисекунд. Потоки и профили выходящего нейтронного излучения зависят от распределения воды в грунте, а их измерения позволяют построить профили распределения грунтовой воды вдоль трассы движения марсохода. В режиме пассивных измерений детекторы ДАН измеряют наведенное излучение нейтронов с поверхности Марса под воздействием радиоизотопного источника энергии марсохода и галактических космических лучей. Данные измерений в пассивном режиме также позволяют оценить количество грунтовой воды, но ее распределение по глубине остается неизвестным.

ДАН был успешно включен 9 августа 2012 года после посадки марсохода на дно марсианского кратера Гейл и продолжает работать по настоящее время. Как рассказал на 40 Научной ассамблее Международного комитета по исследованию космического пространства **Игорь Митрофанов**, научный руководитель проекта ДАН, заведующий отделом ядерной планетологии ИКИ РАН, к 19 июня 2014 г. марсоход прошел около 7 км по дну кратера Гейл, а прибор ДАН выполнил более 350 активных нейтронных зондирований грунта полной продолжительностью около 72 часов. На основе анализа данных измерений был построен профиль распределения грунтовой воды в веществе вдоль трассы. Оказалось, что распределение воды по глубине хорошо описывается двухслойной моделью (см. Рис. 1.), и при этом обнаруженное количество воды в нижнем слое составляет от 2 до 8 % по массе и находится на глубине более 20 см. В верхнем слое воды гораздо меньше, около 1–2 %.

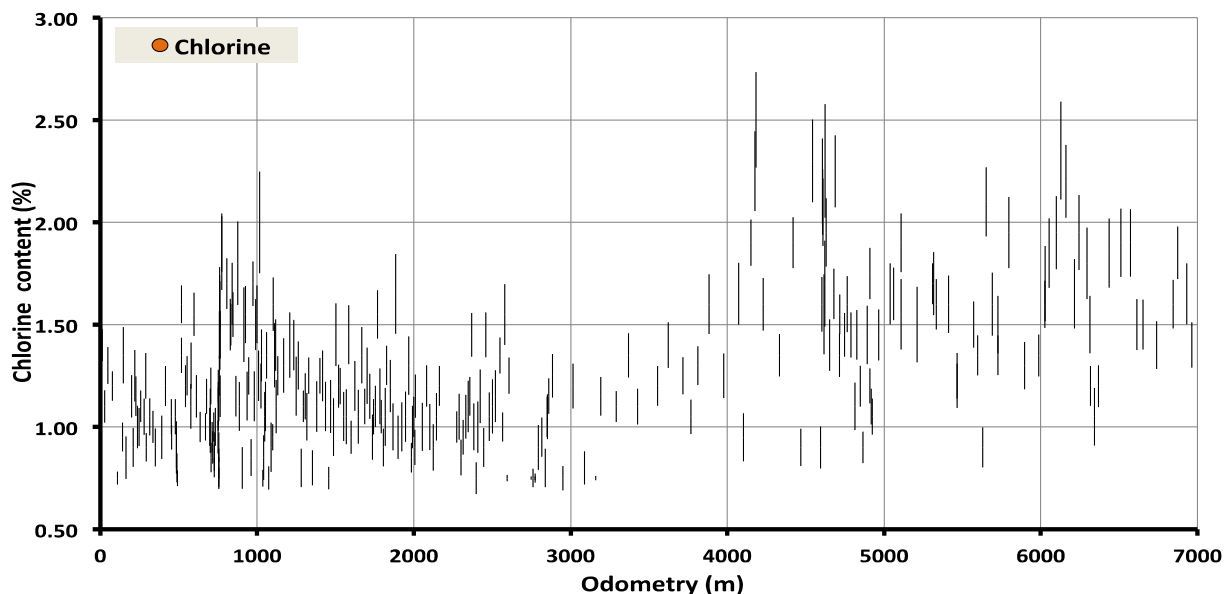
Обработка данных измерений также позволила оценить содержание в веществе хлора, как основного поглотителя тепловых нейтронов в реголите Марса (см. рис. 2). Оно составило 0.5 – 2.5 % по массе.

По словам **Максима Литвака**, заведующего лабораторией нейтронной и гамма-спектроскопии ИКИ РАН, накопленный опыт проведения измерений на поверхности Марса показал насколько важным для решения поставленных научных задач миссии Curiosity является совместный анализ данных различных инструментов. Это позволяет получить более разносторонние знания о свойствах и особенностях подстилающей поверхности в кратере Гейл (включая ее элементный, минералогический и изотопный состав,) и процессов которые влияли на ее формирование на разных этапах эволюции Марса. В связи с этим текущие и будущие измерения прибора ДАН, их детальная обработка и анализ планируются и проводятся в том числе совместно с другими наблюдениями на борту марсохода. В качестве примера можно привести одну из последних наблюдательных компаний на борту Curiosity проведенную в районе The Kimberley. Здесь измерения с прибором ДАН проводились совместно с данными визуальных и контактных наблюдений вдоль трассы движения марсохода на участках поверхности имеющих разное геологическое происхождение. Такие наблюдения позволяют провести сравнительный анализ данных прибора ДАН по объемному (объем вещества грунта с характерными размерами 1.5 м x 1.5 м x 0.6 м) содержанию связанной воды и различных химических элементов имеющих большие сечения захвата тепловых нейтронов (прежде всего хлор и железо) с локальными (характерный масштаб составляет порядка 10 квадратных сантиметров поверхности) измерениями элементного состава выполненные прибором APXS.



**Рис 1.** Распределение связанной воды в марсианском грунте вдоль трассы движения марсохода, измеренное прибором ДАН. Синим цветом показаны вариации содержания

воды в верхнем слое грунта, красным – в нижнем слое грунта (с) ИКИ РАН



**Рис 2.** Распределение хлора в марсианском грунте вдоль трассы движения марсохода, измеренное прибором ДАН (с) ИКИ РАН

...

Эксперимент с российским прибором ДАН на борту марсохода НАСА *Curiosity* (проект «Марсианская Научная Лаборатория «Кьюриосити») проводится на основе Межагентского исполнительного соглашения между Федеральным космическим агентством (Роскосмос) и НАСА. Аппаратура ДАН по поручению Роскосмоса разработана в 2005–2011 гг. в Институте космических исследований РАН под руководством д.ф.-м.н. И.Г. Митрофанова. В создании научной аппаратуры ДАН и в подготовке космического эксперимента участвовали Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова, Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН и Объединенный институт ядерных исследований (г. Дубна).