

Российский прибор ХЕНД: 13 лет наблюдений за водой на Марсе

2 мая 2014 г. исполняется 13 лет с момента первого включения российского прибора ХЕНД [1] на борту космического аппарата НАСА «2001 Mars Odyssey». 7 апреля 2001 в 15:02:22 UT он был успешно запущен в космос с мыса Канаверал и начал свое путешествие в сторону Марса. Первое включение ХЕНД состоялось 2 мая 2001 в 12:29:26 UT ещё по пути к планете, и с тех пор прибор практически непрерывно производит измерения нейтронного и гамма-излучений. Таким образом, сегодня ХЕНД — рекордсмен по продолжительности непрерывной работы в окрестностях Марса среди российских приборов.

Главный научный результат ХЕНД — его данные представили убедительные доказательства в пользу существования воды на современном Марсе. Однако этим список достижений не исчерпывается, и важнейшее из них связано именно с продолжительностью работы. Благодаря столь долгому пребыванию у Марса собран значительный массив данных, которые касаются и современного климата Марса, и радиационного фона на орбите планеты, и даже далеких астрофизических гамма-всплесков.

В состав научной нагрузки аппарата «2001 Mars Odyssey» [2] входит комплексный инструмент GRS, включающий несколько независимых экспериментов. Один из которых — эксперимент ХЕНД, предназначенный для изучения состава поверхности Марса методами гамма- и нейтронной спектроскопии. Название прибора HEND (ХЕНД) образовано сокращением английского названия «High Energy Neutron Detector» — детектор высокоэнергичных нейтронов.

ХЕНД измеряет энергию и число нейтронов на орбите вокруг Марса. Нейтроны — один из хороших индикаторов водорода в грунте планеты, поскольку, взаимодействуя с ядрами водорода (протонами), они эффективно теряют энергию и замедляются. Поэтому, измеряя энергию нейтронов, можно понять, есть ли водород на определенном участке планеты. Поскольку одно из наиболее распространённых соединений водорода — вода, то, зная, где находится водород, можно с большой уверенностью судить о том, где на Марсе в верхнем слое грунта (до 60 см) находятся залежи водяного льда.

Основные научные задачи и результаты эксперимента ХЕНД:

- 1. Измерение абсолютной величины потока нейтронов от Марса в разных спектральных диапазонах.**

Длительная работа на полярной круговой орбите позволяет решить эту задачу для разных участков марсианской поверхности, т.е. фактически построить глобальную карту спектральной плотности потока нейтронов от Марса: сколько нейтронов и какой энергии мы видим от планеты. В задачу эксперимента ХЕНД входит измерение эпитепловых и быстрых нейтронов (энергетический диапазон 0,4 эВ — 15 МэВ).

- 2. Картографирование водосодержащих областей на поверхности Марса. Определение массовой доли водяного льда и химически связанной воды, а также оценка глубины залегания водосодержащих слоев.**

Многолетние исследования Марса показывают, что в прошлом по его поверхности текли реки, а большие участки сегодняшней суши, возможно, занимали океаны. В современных климатических условиях жидкая вода на поверхности Марса не может существовать долго, однако под поверхностью в высоких широтах планеты сохранился водяной лед, а на умеренных и экваториальных широтах вода находится в связанном состоянии. Это физически связанная вода (на поверхности частиц грунта) или

СООБЩЕНИЕ ПРЕСС-СЛУЖБЫ

химически связанная вода (в составе гидратированных минералов). Длительная работа инструмента ХЕНД позволила с высокой статистической значимостью построить глобальную карту распределения водяного льда и связанной воды в поверхностном слое грунта Марса (см. карту на Рис. 3) и решить несколько дополнительных задач.

3. **Поиск сезонных вариаций нейтронного альbedo Марса над полярными областями планеты, определение поверхностной плотности и состава (примесь воды и пыли) сезонного покрова — «полярных шапок» Марса.**

Двенадцать лет работы инструмента ХЕНД на орбите вокруг Марса позволили непрерывно следить за сезонными вариациями углекислого газа (CO_2) в атмосфере и воды в вернем приповерхностном слое грунта в течение цикла сезонов и сравнить наблюдаемые вариации с предыдущими марсианскими сезонными циклами. К настоящему времени накоплены данные более чем за 6 циклов (один марсианский год примерно равен двум земным). Пример, иллюстрирующий накопление сезонного покрова CO_2 на разных широтах в течение одного сезонного цикла, показан на Рис. 1.

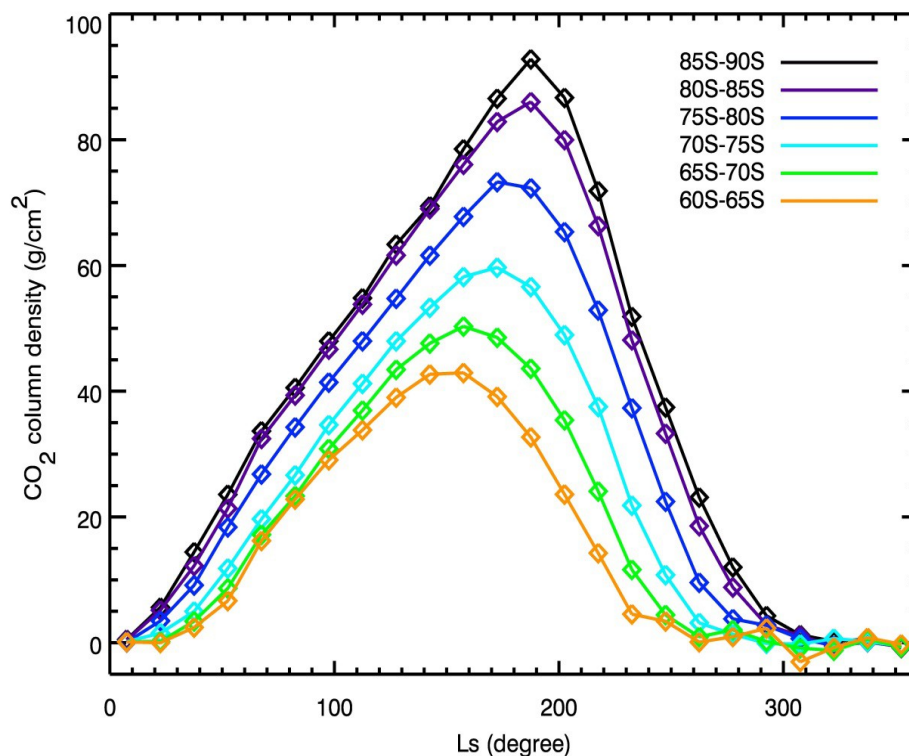


Рисунок 1. Изменение толщины сезонного покрова CO_2 в зависимости от солнечной долготы L_s Марса (которая используется для описания сезонных интервалов на Марсе) для южного полушария планеты. Величина $L_s=180^\circ$ соответствует концу зимы в южном полушарии.

4. **Одновременные измерения нейтронного потока на поверхности и на орбите Марса.**

С августа 2012 г. на поверхности Марса в кратере Гейл работает марсоход НАСА «Curiosity» (проект «Марсианская Научная Лаборатория»). В состав научной аппаратуры марсохода входят инструмент РАД (RAD) для мониторинга радиационной

ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

СООБЩЕНИЕ ПРЕСС-СЛУЖБЫ

обстановки и российский инструмент ДАН (DAN), предназначенный для измерения потоков нейтронов разных энергий и определения наличия и распределения воды в верхнем приповерхностном слое грунта вдоль трассы движения марсохода. Благодаря длительной орбитальной работе инструмента ХЕНД и с помощью данных, полученных на поверхности планеты, сейчас проводятся следующие исследования:

- Одновременный мониторинг радиационной обстановки на орбите (ХЕНД) и на поверхности (ДАН и РАД). В качестве примера на Рис. 2 показаны результаты наблюдения двух солнечных протонных событий в начале января 2014 г. (внизу, аппараты ACE и GOES), измеренные в окрестностях Земли, на орбите вокруг Луны, на орбите вокруг Марса и на поверхности в кратере Гейл (вверху).
- Сопоставление данных о количестве воды в грунте, полученных из измерений с орбиты (ХЕНД) и на поверхности (ДАН). На Рис. 3 приведено сопоставление данных инструмента ХЕНД (карта сверху), показывающих с разрешением ~ 300 км распределение воды в верхнем слое грунта Марса, и данных инструмента ДАН (график внизу рисунка), измеренных вдоль первых ~ 5 км трассы движения марсохода «Curiosity».

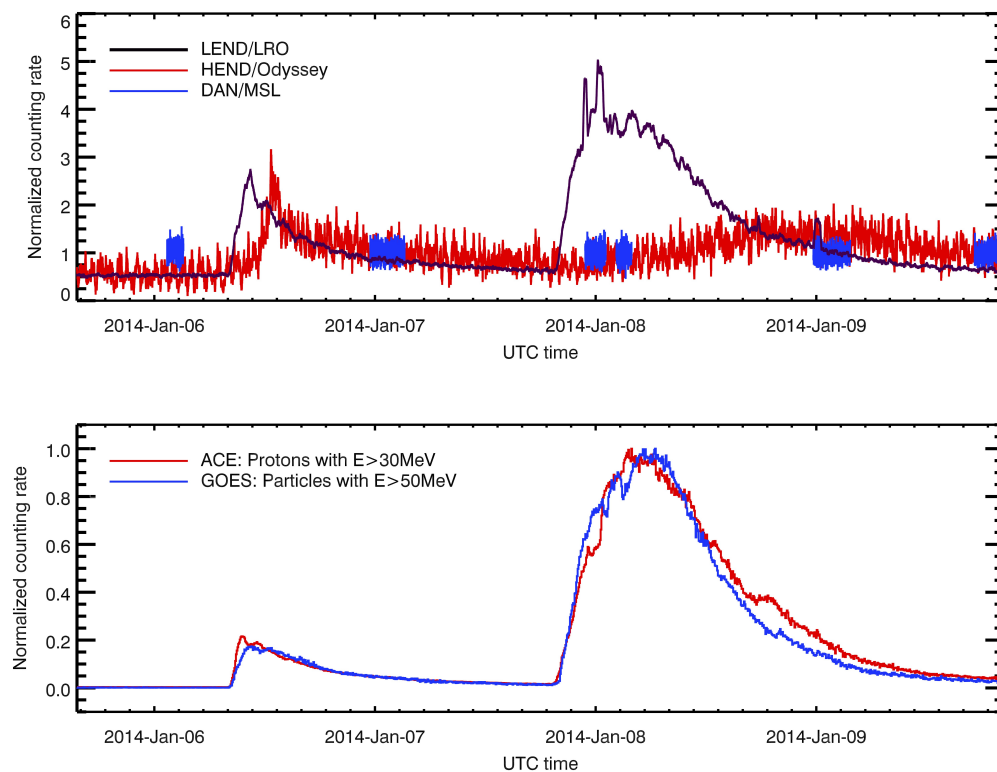


Рисунок 2. Одновременные наблюдения солнечных протонных событий в окрестностях Земли (космические аппараты ACE и GOES), на орбите вокруг Луны (российский инструмент ЛЕНД), на орбите вокруг Марса (инструмент ХЕНД) и на поверхности в кратере Гейл (инструмент ДАН). По горизонтали отложено время, по вертикали — число отсчетов (зарегистрированных нейтронов).

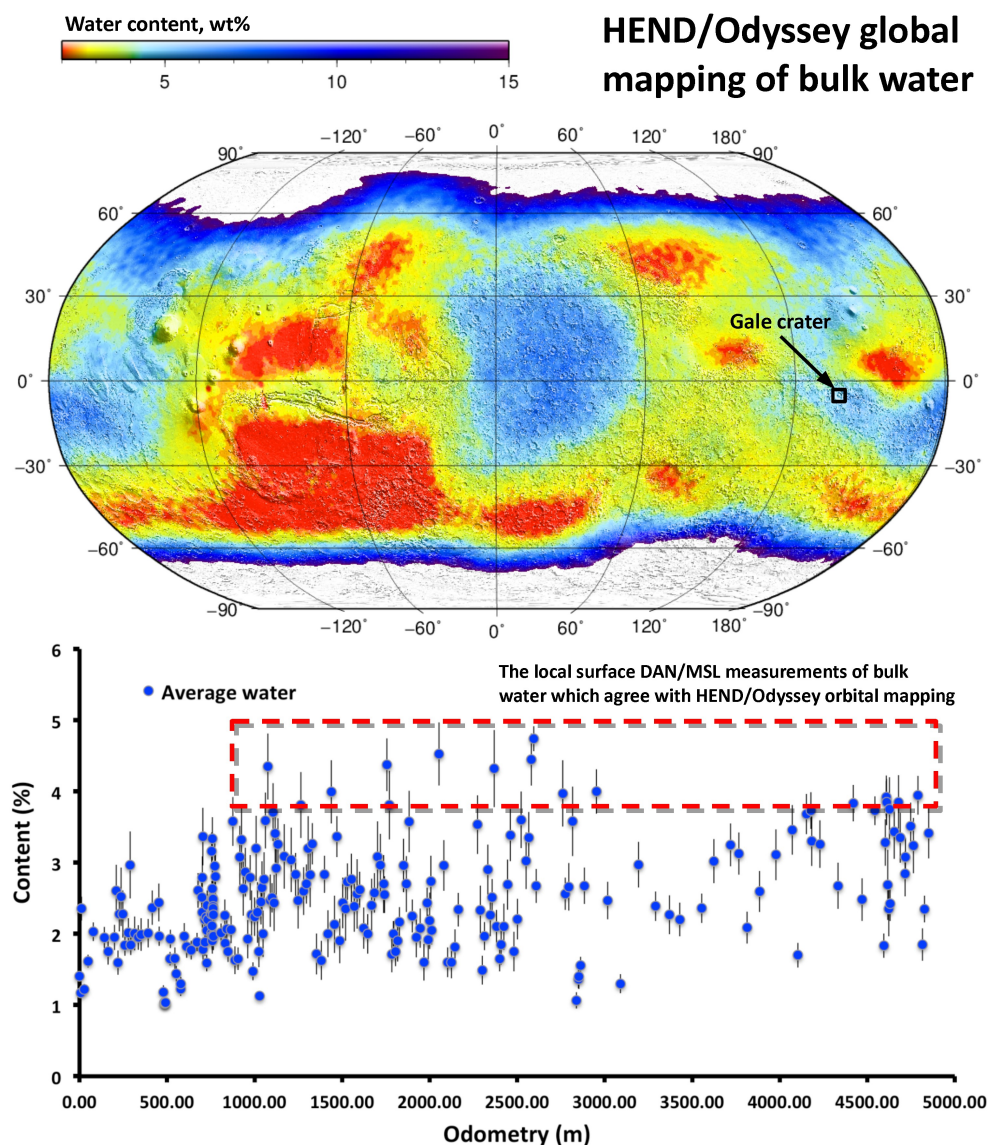


Рисунок 3. Сопоставление данных глобального картографирования содержания воды в приповерхностном слое грунта (вверху, цветом показано содержание воды в процентах по массе) и данных, измеренных на поверхности и характеризующих количество воды вдоль трассы движения марсохода (по горизонтали — расстояние, пройденное марсоходом в метрах, по вертикали — содержание воды в грунте по массе).

5. Мониторинг вариаций потоков галактических космических лучей.

Как известно, поток галактических космических лучей (ГКЛ, высокоэнергичные заряженные частицы) циклически меняется, что связано с активностью Солнца. Во время минимумов активности 11-летнего цикла поток ГКЛ, проникающий во внутренние части Солнечной системы, достигает максимума (поскольку солнечный ветер не может «сдерживать» его) и, наоборот, во время максимумов солнечной активности поток ГКЛ минимален. Аналогичные колебания испытывают потоки

ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

СООБЩЕНИЕ ПРЕСС-СЛУЖБЫ

нейтронов, рождаемых ГКЛ в поверхности и атмосфере Марса и других планет без мощного магнитного поля и толстой атмосферы. Таким образом, долговременные измерения потока нейтронов инструментом ХЕНД позволяют выполнить мониторинг потока ГКЛ (см. Рис. 4).

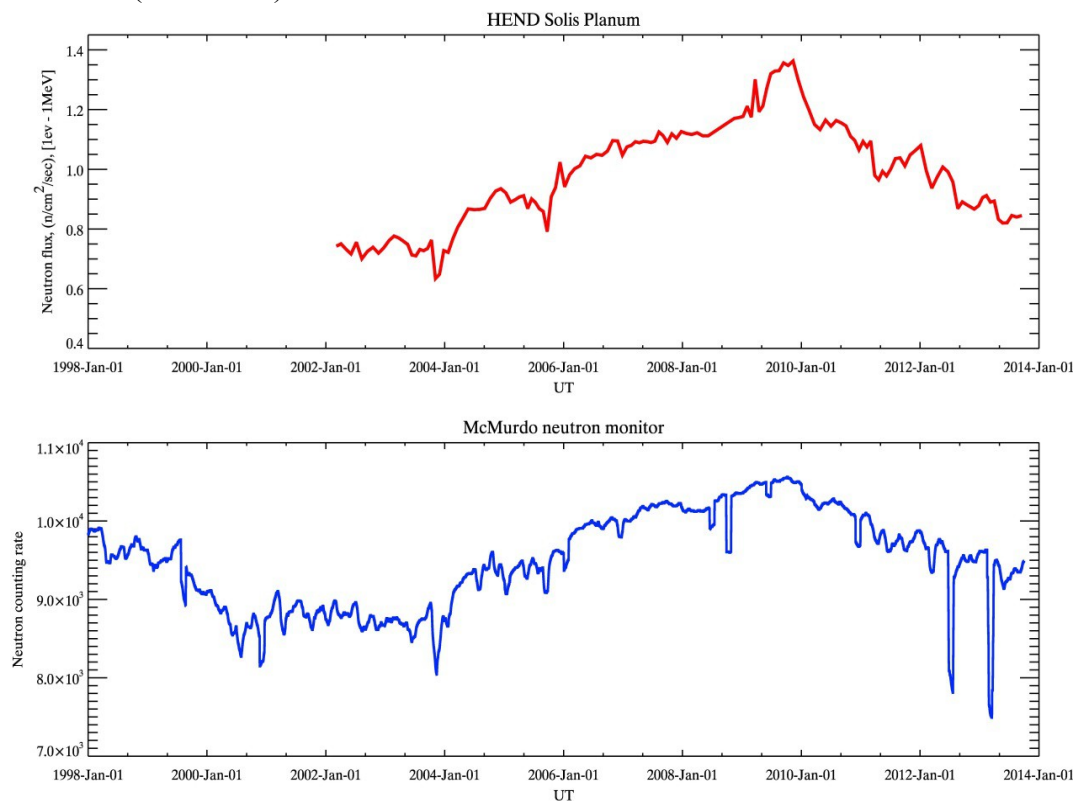


Рисунок 4. Зависимость потока нейтронов, измеренные инструментом ХЕНД (вверху) и наземным нейтронным монитором Мак-Мурдо (внизу). Эти вариации характеризуют вариации потока ГКЛ с изменением солнечной активности. По горизонтали отложено время, по вертикали — количество отсчетов (зарегистрированных нейтронов).

6. Регистрация гамма-всплесков и участие в международной триангуляционной сети для определения координат транзитных источников.

За годы работы инструмента ХЕНД было зарегистрировано более сотни гамма-всплесков. Это позволяет использовать данные инструмента в программе межпланетной триангуляционной сети для определения координат источников гамма-излучения. Для многих всплесков координаты источника были определены, что позволило обнаружить послесвечение в рентгеновском и оптическом диапазоне.

Участие России в проекте «2001 Mars Odyssey» определено Исполнительным соглашением между НАСА и Федеральным космическим агентством (Роскосмосом), по заказу которого в Институте космических исследований Российской академии наук был создан прибор ДАН.

В создании научной аппаратуры ДАН и в подготовке космического эксперимента участвовали Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН и Объединенный институт ядерных исследований (г. Дубна).

ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

СООБЩЕНИЕ ПРЕСС-СЛУЖБЫ

Научный руководитель проекта ДАН — д.ф.-м.н. Игорь Митрофанов, заведующий лабораторией космической гамма-спектроскопии ИКИ РАН.

Дополнительная информация:

Страница прибора ХЕНД на сайте лаборатории космической гамма-спектроскопии ИКИ
РАН

<http://1503.iki.rssi.ru/hend.html>

Страница проекта «2001 Mars Odyssey» на сайте Лаборатории реактивного движения

<http://mars.jpl.nasa.gov/odyssey/>