

Аннотация

Авторы: А. Б. Санин, И. Г. Митрофанов, М. Л. Литвак, Ф. С. Федосов, Б. Н. Бахтин

Название: «Летучие вещества на Луне: распространенность воды на полярных и умеренных широтах и ее суточный цикл по данным эксперимента ЛЕНД/ЛРО»

Ссылки на публикации:

1. “Hydrogen distribution in the lunar polar regions”, A.B. Sanin, I.G. Mitrofanov, M.L. Litvak, B.N. Bakhtin, J.G. Bodnarik, W.V. Boynton, G. Chin, L.G. Evans, d, K. Harshman, F. Fedosov, D.V. Golovin, A.S. Kozyrev, T.A. Livengood, e, A.V. Malakhov, T.P. McClanahan, M.I. Mokrousov, R.D. Starr, f, R.Z. Sagdeev, V.I. Tret'yakov, A.A. Vostrukhin, **Icarus** (в печати, доступна в электронном виде на сайте журнала), doi:10.1016/j.icarus.2016.06.002
2. “Evidence for the sequestration of hydrogen-bearing volatiles towards the Moon’s southern pole-facing slopes”, T.P. McClanahan, I.G. Mitrofanov, W.V. Boynton, G. Chin, J. Bodnarik, G. Droege, L.G. Evans, D. Golovin, D. Hamara, K. Harshman, M. Litvak, T.A. Livengood, A. Malakhov, E. Mazarico, G. Milikh, G. Nandikotkur, A. Parsons, R. Sagdeev, A. Sanin, R.D. Starr, J.J. Su, J. Murray, **Icarus**, Volume 255, Pages 88-99, 2015, doi:10.1016/j.icarus.2014.10.001
3. “Moonshine: Diurnally varying hydration through natural distillation on the Moon, detected by the Lunar Exploration Neutron Detector (LEND)”, T.A. Livengood, G. Chin, R.Z. Sagdeev, I.G. Mitrofanov, W.V. Boynton, L.G. Evans, M.L. Litvak, T.P. McClanahan, A.B. Sanin, R.D. Starr, J.J. Su, **Icarus**, Volume 255, Pages 100-115, 2015, doi:10.1016/j.icarus.2015.04.004
4. “Вода в полярных областях Луны: результаты картографирования нейтронным телескопом ЛЕНД”, И.Г. Митрофанов, А.Б. Санин и М.Л. Литвак, **Доклады Академии Наук**, 2016 Т. 466. № 6. С. 660-663, doi:10.7868/S0869565216060098
5. “Физическая калибровка космического нейтронного телескопа ЛЕНД: чувствительность и угловое разрешение”, И. Г. Митрофанов, Ф. С. Федосов, А. Б. Санин, Б. Н. Бахтин, W. Boynton, А. А. Вострухин, Д. В. Головин, А. С. Козырев, М. Л. Литвак, А. В. Малахов, Т. McClanahan, М. И. Мокроусов, И. О. Нуждин, R. Starr, В. И. Третьяков, В. Н. Швецов, В. В. Шевченко, К. Harshman, **Приборы и техника эксперимента**, 2016, № 4, с. 101–114, doi:10.7868/S0032816216040091

Общая формулировка научной проблемы и её актуальность:

С 60-х годов прошлого столетия высказывались гипотезы, согласно которым условия для сохранения летучих соединений в течение геологически длительного времени существуют только в постоянно затененных областях в окрестностях лунных полюсов. Подтверждение этих гипотез могло бы помочь в понимании природы и динамики летучих на Луне. Не смотря на многолетние исследования различными методами водородсодержащих летучих соединений, их детальное пространственное распределение и динамика остаются до конца не выясненными.

Конкретная решаемая в работе задача и её значение:

Теория о существовании залежей водяного льда и других летучих соединений в постоянно затененных областях в окрестностях полюсов Луны была дополнена предположением о том, что эти соединения в верхнем приповерхностном слое реголита могут быть подвержены суточной миграции от нагретых солнцем участков поверхности к холодным участкам поверхности у полюсов или вечернего терминатора. Было предпринято множество попыток экспериментальной проверки этих теорий, как с помощью наземных наблюдений, так и измерений, выполненных с борта космических аппаратов. Не смотря на то, что в целом было подтверждено наличие водородсодержащих летучих соединений на Луне, пространственное разрешение и чувствительность использовавшихся инструментов не позволило проверить присутствие залежей летучих в отдельно взятых постоянно затененных областях, являющихся холодными ловушками, и

оценить наличие и величину эффекта суточной миграции летучих. В представляемом цикле работ авторы выполнили оценку количества и пространственного распределения водород содержащих летучих и определили величину эффекта их суточной миграции.

Используемый подход, его новизна и оригинальность:

Представляемый цикл работ посвящен анализу результатов измерений содержания и распределения водородосодержащих летучих соединений в приповерхностном слое лунного реголита и лунной экзосфере по данным российского эксперимента ЛЕНД на борту космического аппарата НАСА «Лунный разведывательный орбитер» (LRO). Прибор ЛЕНД – это первый в мире нейтронный телескоп, отправленный к другому небесному телу и успешно работающий там с 2009 года по настоящее время. Он оснащен модулем коллимации нейтронного потока от Луны, обеспечивающим высокое пространственное разрешение – до 10 км с орбиты высотой 50 км. Прибор был разработан по заказу Роскосмоса специально для космической миссии НАСА LRO в ИКИ РАН в сотрудничестве с десятью российскими и иностранными партнерами. Основной целью проекта ЛЕНД является создание высокочувствительной научной аппаратуры для проведения космического эксперимента по поиску водород содержащих летучих соединений на Луне и определения их пространственного распределения.

Полученные результаты и их значимость:

Первая работа представляемого цикла описывает результаты изучения пространственного распределения водород содержащих летучих соединений (предположительно в форме водяного льда) в полярных областях Луны и определения их концентрации в верхнем слое реголита. Представлены карты распределения концентрации водорода в реголите полярных областей. Показано, что не все постоянно затененные области (холодные ловушки) содержат повышенную концентрацию водорода по сравнению с окружающими периодически освещаемыми областями. Максимальная концентрация водяного льда наблюдается в кратере Кабео и составляет ~0.54% по массе реголита в случае равномерного его распределения по глубине под поверхностью. Обнаружение повышенной концентрации водорода в освещенных областях означает, что водяной лед должен находиться под слоем сухого реголита, препятствующим испарению льда. Во второй работе цикла был проведен анализ измеренного прибором ЛЕНД темпа счета эпитепловых нейтронов в зависимости от ориентации в пространстве склонов лунной поверхности. Было обнаружено, что обращенные к полюсу склоны лунной поверхности проявляют свойства холодных ловушек, способствующих сохранению летучих соединений. Это приводит к повышенной концентрации водород содержащих летучих соединений на обращенных к полюсу склонах поверхности в южной полярной области выше 50° ю.ш. Обнаруженная средняя разница темпа счета эпитепловых нейтронов на ориентированных к полюсу и ориентированных к экватору склонах на широтах выше 85° ю.ш составляет 1.00±0.06%, что соответствует ~23·10⁻⁶ массовых долей водорода от массы реголита. Причем на крупномасштабных склонах поверхности разница темпа счета составляет уже 5.20±0.13%, что соответствует ~45·10⁻⁶ массовых долей водорода от массы реголита. В третьей работе цикла описывается обнаруженный эффект суточной вариации гидратации лунного реголита в экваториальных районах. Максимальная концентрация водорода наблюдается на дневной стороне Луны в районе утреннего терминатора и уменьшается по направлению к полуденной линии. Минимальная концентрация водорода наблюдается в позднее послеполуденное время в районе вечернего терминатора. В четвертой работе цикла описываются физические калибровки прибора ЛЕНД, проведенные с целью определения его чувствительности и углового разрешения, без которых невозможно бы было получить результаты, описанные в трех предыдущих работах.

Полученные в цикле работ результаты представляют фундаментальный научный интерес о распределении и количестве водород содержащих летучих соединений и имеют высокую значимость для подготовки будущих пилотируемых полетов на Луну.