

Аннотация

Авторы: А. Б. Санин, И. Г. Митрофанов, М. Л. Литвак, М. В. Дьячкова

Название: «Анализ концентрации водяного льда в подповерхностном слое реголита в избранных кратерах южной высокоширотной области Луны по данным эксперимента ЛЕНД/ЛРО»

Ссылки на публикации:

1. “Анализ концентраций водорода в тектонически деформированном ударном кратере в районе южного полюса Луны”, А. Б. Санин, И. Г. Митрофанов, А. Т. Базилевский, М. Л. Литвак, М. В. Дьячкова, **Астрономический вестник**, 2024, том 58, №1, с. 93-98, doi:10.31857/S0320930X24010073
2. “Subsurface Water Ice Content in the Cabeus Crater According to Measurements by the LEND Instrument onboard the NASA LRO Orbital Mission”, M. L. Litvak, I. G. Mitrofanov, A. B. Sanin, M. V. Dyachkova, **Solar System Research**, 2024, doi:10.1134/S003809462470045X (русскоязычный вариант этой статьи принят к печати, но все еще готовится к публикации журналом)

Общая формулировка научной проблемы и её актуальность:

С 1960-х годов выдвигались гипотезы о том, что условия для сохранения летучих соединений в течение геологически длительных периодов существуют только в постоянно затененных областях вблизи лунных полюсов. Проверка этих гипотез могла бы помочь в понимании природы и динамики летучих соединений на Луне. Несмотря на многолетние исследования водородсодержащих летучих соединений с использованием различных методов, их детальное пространственное распределение и динамика оставалось не ясным. Значительный прогресс в вопросе локализации водяного льда в полярных районах Луны произошел после запуска в 2009 году очередного орбитального аппарата NASA LRO (Lunar Reconnaissance Orbiter), на котором одновременно было установлено несколько научных приборов, предназначенных для поиска водяного льда. Одним из таких приборов стал коллимированный нейтронный спектрометр ЛЕНД, разработанный в Институте космических исследований РАН.

Конкретная решаемая в работе задача и её значение:

Анализ данных, полученных с борта аппарата LRO, показал, что повышенное содержание водорода обнаруживается не только в постоянно затененных областях вблизи лунных полюсов, но и в близлежащих освещенных районах, где водяной лед мог сохраниться под верхним сухим изолирующим слоем реголита. Таким образом, изучение любых форм лунного рельефа, включая относительно небольшие кратеры, находящиеся в околополярных районах, представляет интерес с точки зрения возможного присутствия летучих веществ. В представленном цикле статей, авторы сопоставляют распределение водородсодержащих соединений в реголите с рельефом поверхности и другими параметрами, например, температурой реголита.

Используемый подход, его новизна и оригинальность:

Представляемый цикл работ посвящен анализу результатов измерений содержания и распределения водородсодержащих летучих соединений в приповерхностном слое лунного реголита по данным российского эксперимента ЛЕНД на борту космического аппарата 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 NASA 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 водородсодержащих летучих соединений на Луне и определения их пространственного распределения.

Полученные результаты и их значимость:

Первая работа представляемого цикла приведено описание кратера в краевой зоне южной полярной области Луны с координатами центра 126.59° з.д., 64.32° ю.ш. Диаметр кратера составляет 34 км. Он обладает трещиноватым днищем, что считается признаком внедрения магмы в подкратерное пространство. Абсолютный возраст образования изучаемого кратера был оценен равным ~ 3.85 млрд лет по пространственной плотности наложенных на его вал малых кратеров. В окрестностях изучаемого кратера преобладает низкожелезистый анортозитовый материал. С высокой статистической значимостью можно утверждать, что бассейн исследуемого кратера очень сухой по сравнению с его окрестностью. Существенная потеря водорода/воды и ее перераспределения со дна кратера на территорию вокруг кратера могли быть вызваны переработкой поверхности вследствие внедрения магмы под кратер, следы которого прослеживаются по наличию трещин на днище кратера.

Во второй работе цикла был выполнен анализ огромного объема данных о потоке нейтронов с лунной поверхности в кратере Кабео, измеренных прибором ЛЕНД с 2009 г. по 2023 г. Большой объем накопленных данных и высокое пространственное разрешение прибора LEND позволили выделить на полярной карте наиболее крупную постоянно затененную область в кратере Кабео (Cabeus-1) и показать, что поток нейтронов уменьшается по мере движения от кромки кратера к его дну, коррелируя с высотой места и среднегодовой температурой реголита. Было установлено, что минимальное значение потока нейтронов наблюдается у самого дна Cabeus-1, в районе, где зафиксирована самая низкая среднегодовая температура, совпадающая с местом проведения эксперимента LCROSS. Согласно данным LEND, в лунном материале здесь может содержаться в среднем до $\sim 0,7\%$ водяного льда. Анализ данных ИК- и УФ-спектromетрии, полученных в экспериментах M³/Chandrayaan-1 и LAMP/LRO, позволил выявить следы поверхностного слоя замерзшей воды в виде инея на дне некоторых постоянно затененных участков в полярных районах. Было обнаружено, что значительное количество поверхностного инея наблюдается в крупных кратерах Шумейкер, Хауорт и Фаустини. Однако, в области Cabeus-1 зафиксировано гораздо меньше покрытых инеем участков, и можно говорить только о превышении пороговых значений. Поэтому можно предположить, что распределение замерзшей воды в области Cabeus-1 крайне неоднородно как по поверхности реголита, так и по глубине. Наибольшая массовая доля воды приходится на глубину нескольких метров в искусственном кратере от удара верхней ступени Centaur (эксперимент LCROSS). Согласно данным о нейтронном потоке от поверхности реголита в этом месте, массовая доля водяного льда составляет около $0,7\%$ по массе при глубине залегания от нескольких десятков сантиметров до 1 м. Поверхность реголита на дне кратера Кабео может быть покрыта тонким слоем водяного инея, который регистрируется на пределе чувствительности современной аппаратуры.

Полученные в цикле работ результаты представляют фундаментальный научный интерес о распределении и количестве водородсодержащих летучих соединений, а также о свойствах лунной поверхности, влияющих на распределение летучих соединений.