

БЕЗ ЛУННЫХ РЕСУРСОВ  
ЧЕЛОВЕЧЕСТВО  
МОЖЕТ СТОЛКНУТЬСЯ  
С ОГРАНИЧЕНИЯМИ  
В СВОЕМ РАЗВИТИИ

# КЛОНДАЙК НА ПОВЕРХНОСТИ

Al Fe Ti  
O  
Cf  
Co  
<sup>3</sup>He

Окончание. Начало в РК №10, 2021

ОБНАРУЖЕНИЕ НА ЛУНЕ ВОДЯНОГО ЛЬДА В ПРОМЫШЛЕННЫХ МАСШТАБАХ ОТКРЫЛО БЫ БОЛЬШИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ В ЕЕ ОСВОЕНИИ. ПРАКТИЧЕСКИ ВСЕ СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПРОЕКТЫ СТРОИТЕЛЬСТВА ЛУННЫХ БАЗ ПРЕДУСМАТРИВАЮТ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕСТНЫХ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ. ОНИ НУЖНЫ В СИСТЕМАХ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ ОБИТАЕМЫХ СТАНЦИЙ, А ТАКЖЕ ТРЕБУЮТСЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ РАКЕТНОГО ТОПЛИВА. ВО ВТОРОЙ ЧАСТИ СТАТЬИ О РЕСУРСАХ ЛУНЫ РЕЧЬ ПОЙДЕТ О ВОДЕ, КАЛИФОРНИИ И, КОНЕЧНО ЖЕ, ЛЕГЕНДАРНОМ ГЕЛИИ-3.

Лев ЗЕЛЁНЫЙ\*

Владислав ШЕВЧЕНКО\*\*

Одним из самых неожиданных открытий, сделанных в ходе исследования Луны, стало обнаружение под ее поверхностью признаков значительного количества водяного льда. И это при отсутствии атмосферы и следов водоемов!

Первые догадки появились в 1994 г. благодаря радарному эксперименту, проведенному американским зондом «Клементина». Интенсивность и степень поляризации отраженных радиоволн, зарегистрированных наземными радиотелескопами, позволили задуматься о наличии водяного льда в районе южного полюса Луны. Объем залежей авторы открытия оценили примерно в один кубический километр.

Исследования были продолжены в 1998 г. Нейтронный спектрометр, установленный на космическом аппарате Lunar Prospector, зафиксировал повышенную концентрацию водорода на поверхности вблизи лунных полюсов. Согласно новым расчетам, доля водяного льда в приполярных областях могла составлять три-четыре процента от массы верхнего слоя грунта.

Более точную информацию удалось получить в 2009 г. благодаря интересному эксперименту.

## В ОБЛАКЕ ПЫЛИ И ГАЗА

На орбиту вокруг Луны была выведена американская межпланетная станция LRO с российским нейтронным детектором LEND, разработанным и изготовленным в ИКИ РАН под руководством доктора физ.-мат. наук Игоря Митрофанова. Изучая поверхность, прибор указал, что в районе кратера Кабео (лат. Cabeus) может находиться особенно много водяного льда.

Для проверки гипотезы было решено задействовать разгонный блок Centaur, с помощью которого LRO долетел до Луны. Ему предстояло стать снарядом, выпущенным по кратеру Кабео в научных целях. Идея состояла в том, что падение тяжелой конструкции с большой скоростью неизбежно приведет к световой вспышке и выбросу облака из газа и пыли. А исследовательский зонд LCROSS, отправленный вслед за блоком Centaur, пролетая сквозь выброшенное облако, должен

был проанализировать химический состав вещества, поднятого со дна кратера. Задуманное удалось осуществить в полной мере.

В результате падения разгонного блока Centaur образовался ударный кратер диаметром около 80 м, из которого поднялось облако пара с температурой около 827°C. Вслед за ним «выросло» облако пыли, в котором LCROSS'у удалось обнаружить примерно  $155 \pm 12$  кг воды в виде пара.

С учетом предполагаемой общей массы выброшенного реголита, концентрацию водяного льда в поверхностном слое в месте падения LCROSS'а оценили в 2.7–8.5% массы. Некоторые ученые считают, что часть пара прошла мимо сенсоров LCROSS'а и концентрация воды в поднятом ударом грунте может быть еще выше.

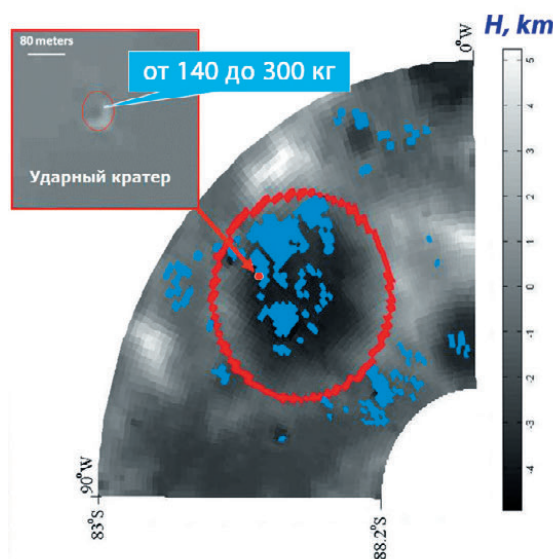


Рис. 1. Области, занимаемые ледяными отложениями в кратере Кабео (расчеты ГАИШ МГУ)

Помимо воды, также наблюдались спектральные полосы ряда других летучих соединений, включая легкие углеводороды, серосодержащие соединения и диоксид углерода.

По мнению ученых Государственного астрономического института имени П.К.Штернберга (ГАИШ) МГУ, суммарная площадь вечно затененных областей в кратере Кабео, в которых скапливаются водяные льды, может составлять  $\sim 530$  км<sup>2</sup> (рис. 1). Исходя из этих оценок можно допустить, что общая масса водяного льда в грунте кратера Кабео достигает  $\sim 18000$  тонн. Если это предположение правильно, то общие запасы льда в южной полярной области Луны могут составлять 100–200 тыс тонн.

\* Л.М.Зелёный, Совет по космосу РАН, МФТИ.

\*\* В.В.Шевченко, ГАИШ МГУ.



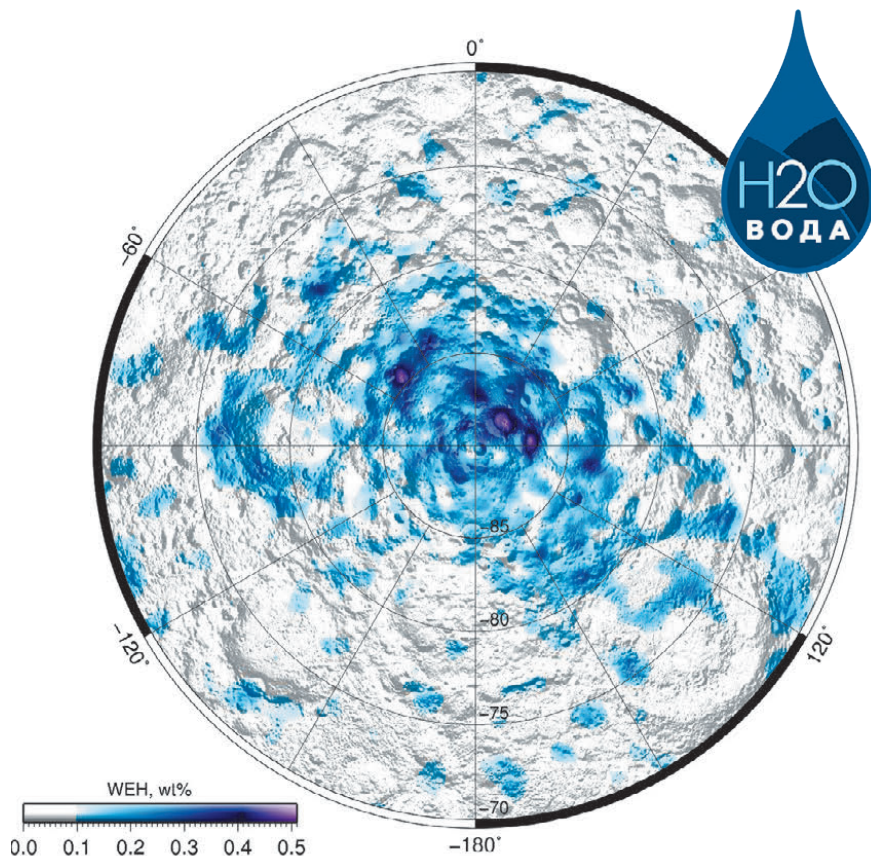


Рис. 2. Карта южной полярной области Луны по данным прибора LEND с 2009 г. по 2018 г. Цветом показаны участки присутствия массовой доли воды (WEH), которая соответствует наблюдаемому количеству водорода в грунте (ИКИ РАН)

### ЛЕДЯНЫЕ ШАПКИ

За прошедшее десятилетие прибор LEND совершил более 12 400 витков вокруг Луны и передал на Землю более 110 гигабайт научной информации. На ее основе были построены карты массовой доли воды в лунном веществе. Пожалуй, главный вывод заключается в том, что в окрестностях северного и южного лунных полюсов с

большой вероятностью расположены районы вечной мерзлоты с относительно высоким содержанием водяного льда, возрастающим в отдельных точках до нескольких процентов от массы грунта (рис. 2).

Аналогичные исследования выполнены посредством индийского космического аппарата «Чандраян-1» с мультиспектральным сканером, задачей которого было картографирование мест залегания различных минералов на поверхности Луны. С его помощью были обнаружены регионы распространения минералов, обогащенных гидроксидом и водой (рис. 3).

А в районе северного полюса на сравнительно небольшом участке исследователи обнаружили около 40 кратеров, заполненных льдом. Диаметры этих кратеров составляют от 2 км до 15 км. Расчеты показывают, что суммарная масса залежей льда в них может достигать 600 млн тонн.

### ЛЕД ПОД НОГАМИ

В реальности водных ресурсов на Луне может быть еще больше. Как уже было сказано, до запуска зонда LRO бытовало мнение, что наиболее вероятными областями Луны с залежами водяного льда являются так называемые «холодные ловушки» – затененные участки на дне кратеров или впадин, куда не попадают лучи Солнца. Предполагалось, что молекулы воды уже не могут испариться из таких областей из-за постоянно низкой температуры (порядка 60 градусов Кельвина, или -213°C).

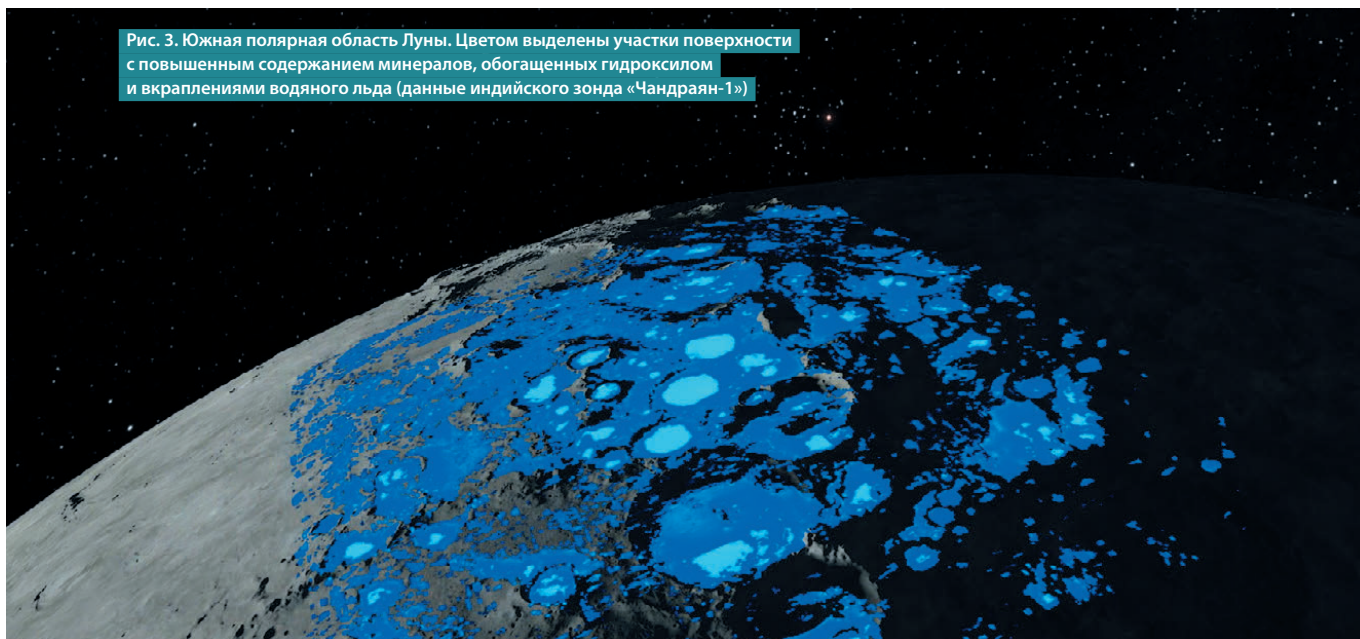


Рис. 3. Южная полярная область Луны. Цветом выделены участки поверхности с повышенным содержанием минералов, обогащенных гидроксидом и вкраплениями водяного льда (данные индийского зонда «Чандраян-1»)



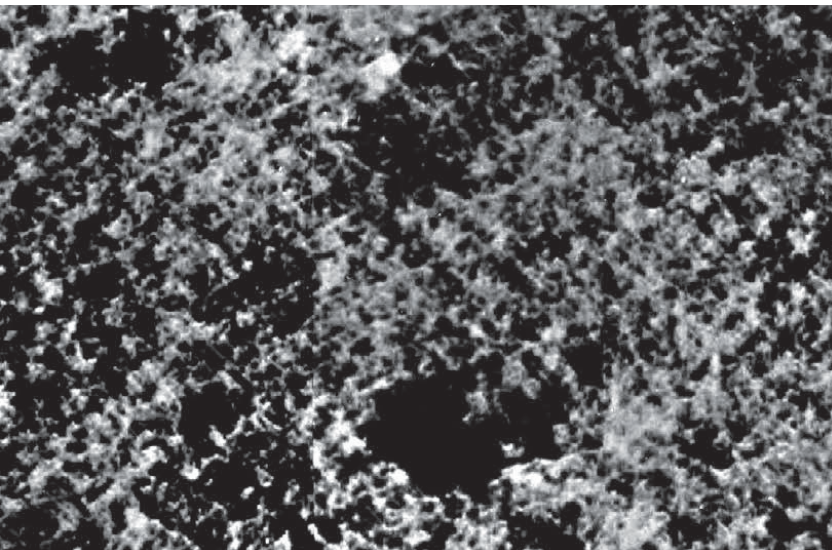


Рис. 4. Микроструктура поверхности реголита в районе работы космического аппарата «Луноход-1», который располагался на широте около 38° в северном полушарии Луны

неожиданным: считалось, что участки с высоким содержанием водорода, а следовательно, и льда, должны совпадать с вечно затененными областями в окрестностях лунных полюсов.

Пытаясь понять метаморфозу, ученые присмотрелись к фотоснимкам, сделанным ранее в ходе лунных миссий, в частности советским «Луноходом-1» (рис. 4). Выяснилось, что рыхлая, шероховатая структура рельефа создает теневые микроучастки, которые могут занимать до половины площади Луны. Эти «пятачки» лунной поверхности, по всей видимости, и скрывают в своей тени лед от нагрева лучами Солнца (рис. 5).

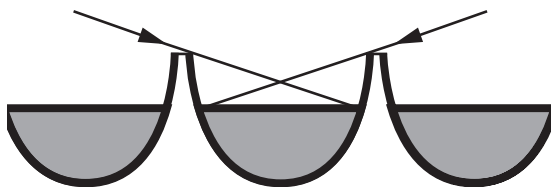


Рис. 5. Упрощенная геометрическая схема образования постоянно затененных микроучастков лунной поверхности

В результате обобщения исследований, проведенных с помощью LEND'a, был сделан вывод, что замерзшая вода может находиться не только в «холодных ловушках», но и на обычной поверхности Луны, освещаемой Солнцем. На это указывало слабое излучение нейтронов, что с большой вероятностью свидетельствует о концентрации водорода. Этот результат оказался

## НЕ ТОЛЬКО КОМЕТЫ

Уже несколько лет продолжается обсуждение вариантов происхождения лунных водяных льдов. Первоначальные версии – что вода попала на Луну с кометами – постепенно дополняются более сложными, где учитываются процессы взаимодействия на молекулярном уровне лунной поверхности с окружающим космическим пространством.

По одной из современных гипотез, вода могла образовываться не только с помощью комет, но и путем соединения атомов водорода, принесенных с солнечным ветром, с кислородом, входящим в состав лунных минералов. В результате такого соединения мог образоваться



гидроксил (состоит из атома кислорода и атома водорода и напоминает молекулу воды. – Ред.). Затем энергия, выделенная при ударах метеоритов, могла способствовать превращению гидроксила в воду в виде микроскопических отложений водяных льдов.

### РЕДКОСТЬ ВО ВСЕЛЕННОЙ

Взаимодействие солнечного ветра и других видов космического излучения с поверхностным веществом Луны может преподнести землянам еще один сюрприз.

В описании разработок, которые предполагается включить в программу Китайского национального космического управления (CNSA), упоминается еще один поистине уникальный материал. Речь идет о калифорнии (Cf) – радиоактивном химическом элементе. Этот металл является самым дорогостоящим в мире: цена одного грамма доходит до 30 млн долл. Используется калифорний для научных исследований и в медицине. Несмотря на высокую стоимость, экономический эффект от применения этого редкого металла перекрывает затраты на его производство.

На Земле калифорний (изотоп 252) создают в ядерных реакторах, расщепляя продукты, облученные радиоактивным плутонием, кюрием или нейтронами. Суть производства этого металла заключается в многократно повторяемых стадиях распада и превращения исходного элемента в промежуточное состояние – изотоп другого элемента.

Китайские ученые предполагают, что на лунной поверхности калифорний может образовываться в естественных условиях (рис. 6). По их мнению, концентрация калифорния на Луне стабильно увеличивается в результате бомбардировки поверхности протонами, образовавшимися во время солнечных вспышек.

Добыча на Луне таких элементов, как калифорний, вероятно, сможет окупить любую лунную программу. Но пока Конгресс США не выделил финансирование на всю программу «Артемиды», а планируемые затраты Китая на лунную пилотируемую программу не афишируются, достоверно оценить стоимость добычи калифорния на Луне и доставки его на Землю практически невозможно.

### А КАК ЖЕ ГЕЛИЙ-3?

Следует вспомнить и о «легендарном» гелии-3, «герое» популярных 10–15 лет назад публикаций о спасении человечества от энергетического голода. Его предполагалось использовать как топливо в термоядерных реакторах в целях выработки электроэнергии для всей Земли. Надо признать, что эффективность такой электростанции была бы действительно велика. Кроме того, термоядерный реактор на гелии-3 был бы более безопасным, чем традиционный.

Между тем проблема состоит в том, что температура, требуемая для поддержания реакции с гелием-3, составляет порядка миллиарда градусов... Миллиарда! Технические решения для создания и поддержания такой температуры сейчас трудно даже представить.

А в качестве последнего аргумента надо отметить, что попадающего на Луну в составе частиц солнечного ветра и задерживающегося в лунном грунте гелия-3 катастрофически мало. Его количество, по данным журнала «Геохимия» (том 51, №12 за 2013 г.), изменяется от 0.02 мг до 130 мг на тонну поверхностного грунта, и добыть его будет очень непросто. Тех, кто интересуется этим вопросом, можем отослать к подробной статье А.А.Петруковича «Луна и грош лунной энергетики» в журнале «Наука и жизнь» №8, 2004.

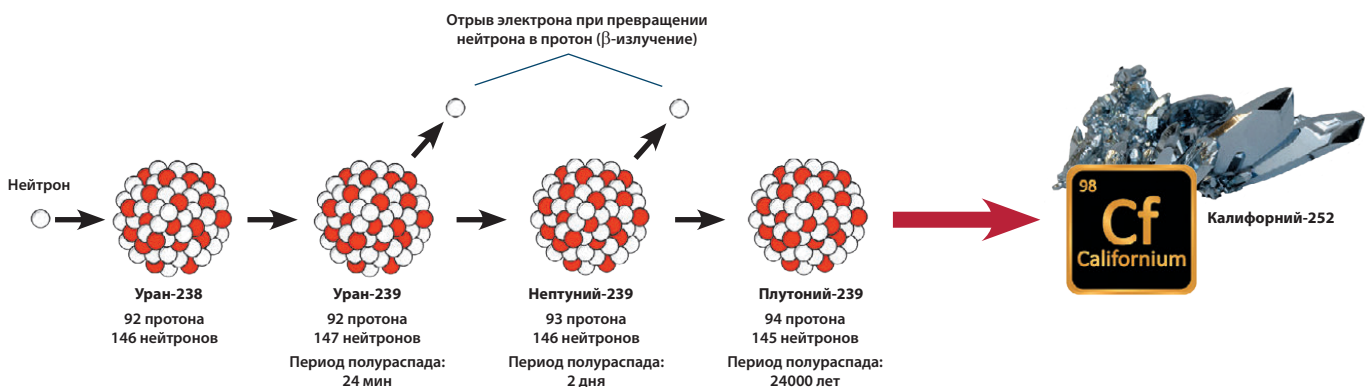


Рис. 6. Предположительная схема образования калифорния в естественных условиях на лунной поверхности





Идея добычи на Луне гелия-3 пока остается нереализуемой

## ПО ЛУННОМУ СЧЕТУ

Этап исследования Луны далеко не закончен, и от начавшегося сейчас нового витка «Лунной гонки» (в которой достойное участие примут и отечественные автоматические аппараты «Луна-25», -26 и -27, и, будем надеяться, пилотируемые экспедиции) мы ожидаем очередных открытий. Бывает, что в процессе такого поиска исследователи часто находят совсем не то, что планировали изначально, а нечто гораздо более интересное. Не исключено, что картина привлекательных для землян лунных ресурсов через несколько десятилетий будет выглядеть иначе.

Например, можно вспомнить, что главным итогом путешествий Колумба на новый континент (тогда еще не называвшийся Америкой, по имени его главного конкурента) стали не груды золота (впрочем, не слишком большие), доставленные испанской короне, а самая заурядная картошка, без которой трудно представить жизнь средневековой Европы уже через пару столетий.

Понятие лунных ресурсов из раздела научной фантастики должно перейти в ближайшие годы в конкретную практическую плоскость. По оценкам специалистов, глобальная концепция освоения космоса и реального использования внеземных природных ресурсов требует направлять на космическую науку до трети общих затрат на развитие промышленного комплекса.

Подобный уровень финансирования еще очень долго будет недостижим ни для одной страны в мире. Общество еще не осознало всей серьезности грядущих глобальных проблем.

В результате по-настоящему жизненно важные научные космические программы получают лишь весьма ограниченную поддержку, проигрывая проектам, которые с точки зрения будущего могут рассматриваться лишь как мелкая суета.

Авторы надеются, что эта статья поможет привлечь внимание к возможности использования космических (в нашем случае – лунных) ресурсов для решения серьезных проблем, с которыми человечество столкнется уже в этом веке. Освоение Луны – фактически седьмого континента Земли – должно стать логичным продолжением космической экспансии, начавшейся 4 октября 1957 г. запуском Первого искусственного спутника Земли. ■



«Луна-27» предстоит детально исследовать лунную поверхность в районе южного полюса