

# FUNDAMENTAL IDEAS AND ACHIEVEMENTS OF HYDROGEN ENERGY IN THE SERVICE OF THE MOON'S INTERIOR DEVELOPMENT

**Vyacheslav A. BOBIN,**  
 Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of the Institute for Problems of Integrated Development of Subsoil Resources of the Russian Academy of Sciences, Moscow,  
[bobin\\_va@mail.ru](mailto:bobin_va@mail.ru)

**Anna V. BOBINA,**  
 Candidate of Technical Sciences, Head of the Department for Scientific Conferences and All-Russian Projects of the Free Economic Society of Russia, Moscow,  
[annabobini@mail.ru](mailto:annabobini@mail.ru)

# ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИДЕИ И ДОСТИЖЕНИЯ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ – НА СЛУЖБУ ОСВОЕНИЯ НЕДР ЛУНЫ

**Вячеслав Александрович БОБИН,**  
 доктор технических наук, заведующий отделом Института проблем комплексного освоения недр РАН, Москва, Россия,  
[bobin\\_va@mail.ru](mailto:bobin_va@mail.ru)

**Анна Вячеславовна БОБИНА,**  
 кандидат технических наук, руководитель департамента по научным конференциям и всероссийским проектам Вольного экономического общества России, Москва, Россия,  
[annabobini@mail.ru](mailto:annabobini@mail.ru)

**ABSTRACT** | The paper analyzes fundamental ideas and achievements of hydrogen energy, as well as the prospects for their use for the development of the Moon's interior. Special attention is paid to solving the problem of water extraction and further hydrogen and oxygen production by thermal decomposition or electrolysis. The paper also focuses on the use of hydrogen and oxygen as fuel for power plants, internal combustion engines, fuel cells and rocket engines. An assumption is made about the possible places of free hydrogen release on the surface of the Moon.

**Keywords:** *hydrogen energy, free hydrogen, hydrogen degassing, oxygen, thermal decomposition of water, electrolysis, regolith, rare earth metals*

*At all times and epochs for people it was the highest happiness to participate in new discoveries*

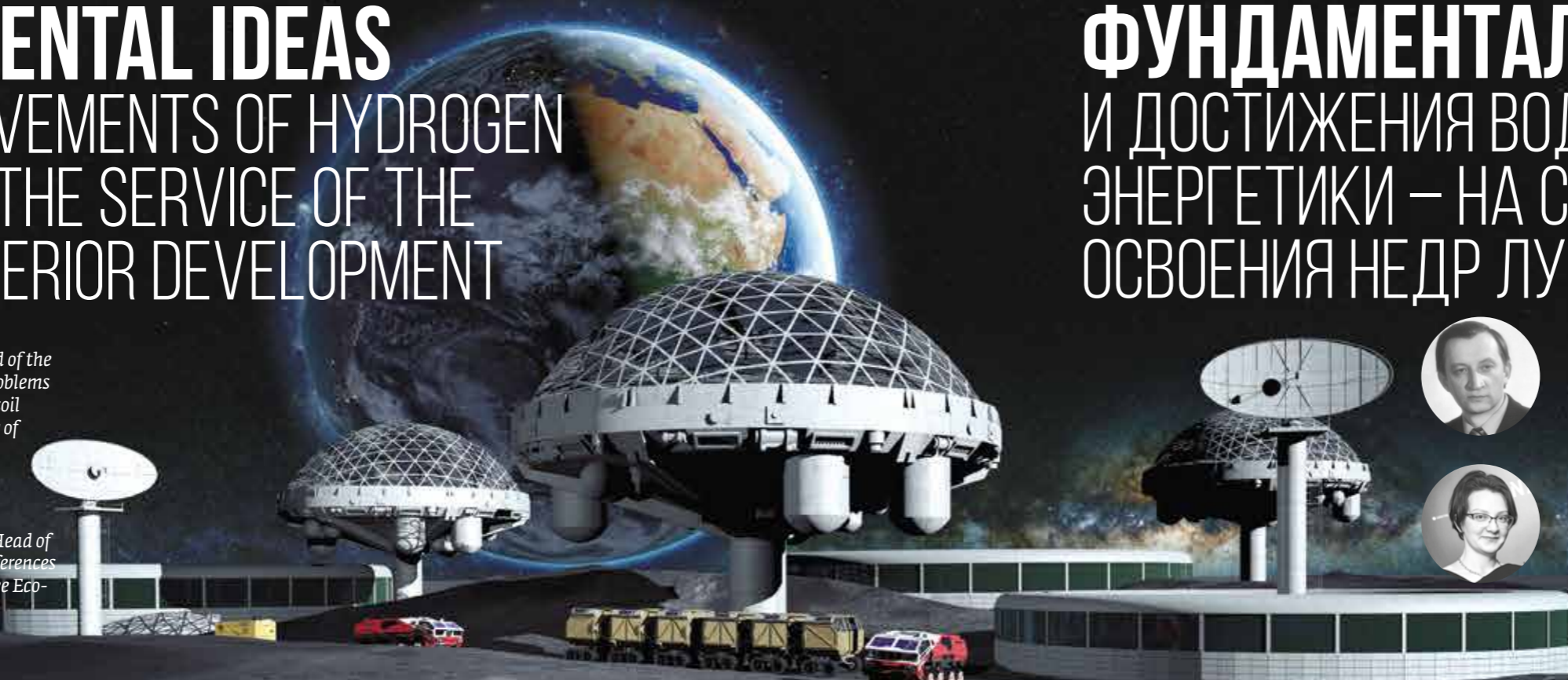
**Yu. A. Gagarin**

*Во все времена и эпохи для людей было высшим счастьем участвовать в новых открытиях.*

**Ю.А. Гагарин**

**АННОТАЦИЯ** | В работе проведен анализ фундаментальных идей и достижений водородной энергетики, а также перспектив их использования для освоения недр Луны. Особое внимание уделено проблеме добычи воды и получения из нее методом термического распада или электролиза водорода и кислорода, а также использованию их в качестве топлива для электростанций, двигателей внутреннего сгорания, топливных элементов и ракетных двигателей. Выдвинуто предположение о возможных местах выхода свободного водорода на поверхность Луны.

**Ключевые слова:** *водородная энергетика, свободный водород, водородная дегазация, кислород, термический распад воды, электролиз, реголит, редкоземельные металлы*



**В**нешние условия для работы как человека, так и созданных им механизмов и машин при извлечении полезных ископаемых на Луне характеризуются колебаниями температуры в несколько сотен градусов, жестким рентгеновским и ультрафиолетовым излучением и абсолютным вакуумом, в котором мгновенно испаряется любая жидкость.

Полеты по программе «Аполлон» доказали, что астронавт в скафандре, защищенном 14 слоями специальных материалов, в состав которых входят нейлон, свинец, алюминий и синтетические полиэфирные волокна, способен, имея ранцевую систему жизнеобеспечения, работать более семи часов на поверхности Луны в условиях  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  и повышенной радиации.

Скафандр позволяет астронавтам не только перемещаться по лунной поверхности, но и осуществлять необходимые технологические операции, такие как строительство лунных поселений, разведка полезных ископаемых, установка средств связи и навигации, монтаж различных технологических установок по извлечению из лунных горных пород в первую очередь воды, кислорода, водорода и других полезных ископаемых. И наиболее доступной горной породой для этого вида работ является реголит, покрывающий лунную поверхность слоем различной толщины.

В последнее время интерес к реголиту проявляется не только как к горной породе, содержащей полезные ископаемые, но и как к источнику воды. Понятно, что вода является ключевым веществом, без которого невозможна жизнь не только на Луне, но и на Земле. Банально, но вода — это источник жизни, а кроме того, при ее термическом разложении или электролизе можно получать кислород для дыхания людей и растений, а в будущем — и для животных на Луне. И не только кислород, но и водород — основу водородной энергетики и перспективный компонент ракетного топлива. Он будет необходим для космопланов, обес-

**Опираясь на идентичность строения Земли и ее естественного спутника, можно предположить, что и на Луне следует искать места естественной водородной дегазации и именно там осуществлять добычу водорода без особо крупных материальных затрат.**

печивающих полеты на окололунную и земную орбиты, а также полеты на Марс и другие планеты Солнечной системы.

Согласно новым представлениям о внутреннем строении Луны, которые развивают ученые Рени Вебер (Renee Weber) из NASA и Рафаэль Гарсиа (Raphael Garcia, Франция), она имеет свое раскаленное ядро, как и в случае Земли, состоящее главным образом из железа.

В то же время, согласно фундаментальным идеям профессора В. Н. Ларина о геохимических процессах, происходящих в глубинах Земли, водород при образовании планет Солнечной системы активно участвовал во всех физико-химических процессах в недрах планет, в том числе Луны и Земли. В твердом ядре он образовал гидриды, а в жидком внешнем ядре присутствовал в виде раствора в металле. При равновесных условиях гидриды устойчивы и не распадаются, однако при нарушении этих условий теряют водород, который диффундирует или фильтруется в верхние слои и выходит на поверхность по различным разломам в коре, что на Земле, например, проявляется в виде водородной дегазации [1].

Поэтому можно предположить, опираясь на идентичность строения Земли и ее естественного спутника, возраст формирования которых совпадает, что и на Луне следует искать места естественной водородной дегазации и именно там осуществлять добычу водорода без особо крупных материальных затрат.

Эти фундаментальные идеи гипотезы водородной дегазации являются теоретической базой для развития так называемой водородной энергетики, которая вследствие обострившихся экологических проблем настойчиво стремится потеснить углеродную энергетику, основанную на использовании природного метана, угля и нефти [2]. Многие наработки в этом направлении, без всякого сомнения, имеют реальную перспективу для прямого использования на Луне. К ним относятся, например, роторные двигатели внутреннего сгорания на водороде для лунных транспортных средств, водородные топливные элементы и мобильные электростанции на водороде типа Toshiba H2One, которая обеспечивает мощность до 55 кВт при потреблении до 2,5 кубометра воды. Подобные электростанции могут работать в режиме замкнутого цикла, например совместно с установкой для самопроизвольного распада воды на водород и кислород при температуре более  $1700\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Такого значения температуры можно достигнуть на Луне при фокусировке солнечного света в одной точке с помощью линзы либо параболического зеркала. Уже сейчас швейцар-



Рис. 1. Солнечная башня (Севилья, Испания)



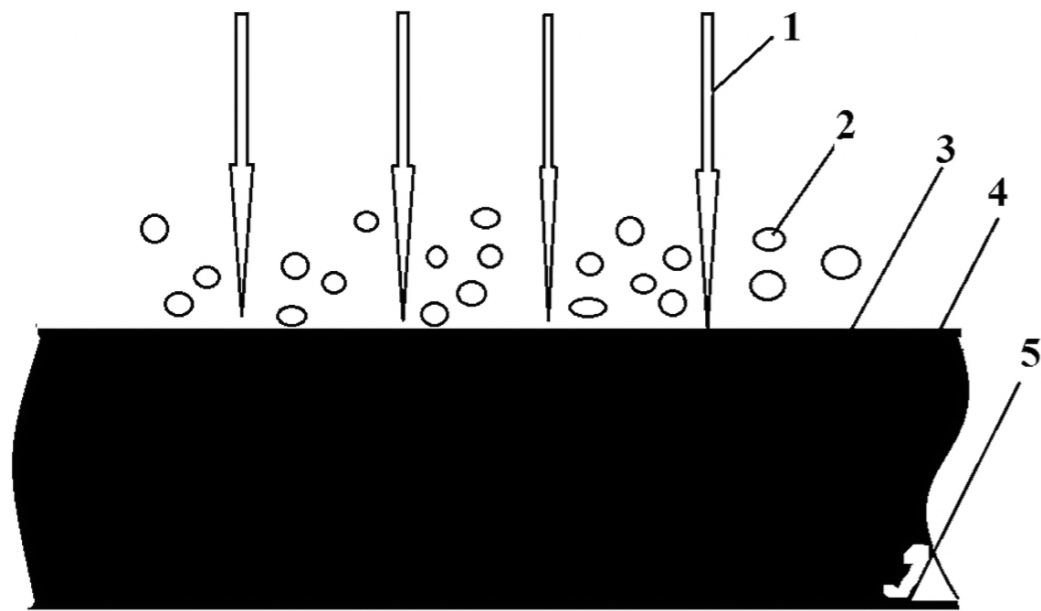
Рис. 2. Toyota Mirai – современный водородный автомобиль

**Исследования в области разработки роторных двигателей внутреннего сгорания, работающих на водороде, а также в области разработки водородных топливных элементов, которые в условиях значительных отрицательных температур эффективнее обычных аккумуляторов, являются перспективными для решения транспортной проблемы на Луне.**

ская компания Clean Hydrogen Producers реализовала эту концепцию в виде установки производительностью 10 килограмм водорода в день за счет нагревания 100 литров воды до температуры  $2200\text{ }^{\circ}\text{C}$  при площади параболических зеркал 92 кв. м [3] (рис. 1).

Не меньшие перспективы для водородной энергетики на Луне возникают и при решении транспортной проблемы, которая является ключевой для исследования поверхности Луны, разведки полезных ископаемых, расширения ареала присутствия человека, а также для осуществления грузоперевозок. В этом отношении перспективными являются про-

водимые в настоящее время исследования в области разработки роторных двигателей внутреннего сгорания, работающих на водороде, а также в области разработки водородных топливных элементов, которые в условиях значительных отрицательных температур эффективнее обычных аккумуляторов. Уже сейчас японская компания Toyota создала конкурентный по сравнению с электромобилями водородный автомобиль, укомплектованный водородным топливным элементом и двумя баками для хранения водорода (70 МПа) общей емкостью 5 кг водорода, которого хватает на реальные 350–400 км пробега [3] (рис. 2).



**Рис. 3.** Модель процесса термоэмиссии паров воды с поверхности слоя реголита (1 – поток солнечного света, 2 – пары воды, 3 – поверхность реголита, 4 – слой реголита, 5 – базальтовое основание)

Таким образом, перспективы использования достижений водородной энергетики для освоения недр Луны связаны, в первую очередь, с поиском на ее поверхности и в недрах источников воды, а также возможных источников водорода как следствия ее водородной дегазации и разработка технологий их добычи и извлечения. Сейчас основными районами, где сосредоточены, как предполагают, громадные запасы воды в виде льда, являются затененные полюса Луны (до 50 % по весу от всех запасов воды на Луне), а также области на обратной стороне Луны (до 20 % по весу от всех запасов воды). Не случайно готовящаяся к полету на Луну российская космическая станция «Луна-25» планирует совершить посадку именно в приполярной области — это делается для того, чтобы прояснить вопрос о нахождении там воды в замороженном состоянии при проведении криогенного бурения на глубину двух метров [4]. Этот факт был неоднократно подтвержден измерениями, которые осуществлены американскими космическими миссиями с использованием таких высоко технологичных приборов, как нейтронный спектрометр, масс-спектрометр для анализа химического состава атмосферы Луны в ультрафиолетовом и видимом диапазоне [5].

Одним из важнейших результатов, полученных в ходе этих исследований, был установ-

ленный факт того, что вся вода, обнаруженная в ходе этих измерений, была поднята с поверхности Луны и генерируется метеоритами массой около 0,15 грамма из так называемого водоносного слоя реголита, накрытого безводным слоем толщиной 8 см [5]. Однако, как показывают новейшие исследования атмосферы Луны, водяные пары в ней появляются не только при бомбардировке ее поверхности метеоритами, но и при простом нагревании ее солнечным светом [6].

В нашей работе представлены результаты фиксации молекул воды над поверхностью одного из крупнейших в видимом полушарии Луны кратера Клавий, находящегося не в полярной области. Поверхность кратера за счет солнечного излучения была нагрета до 135 °С.

Исследования проводились с помощью инфракрасного телескопа SOFIA, установленного борту самолета «Боинг-747SP», находившегося при измерениях на высоте до 13–14 километров над уровнем моря. Они свидетельствуют о том, что в одном грамме лунного грунта содержится, в зависимости от широтности места наблюдения, от 100 до 412 микрограммов воды, что в пересчете на одну тонну лунного грунта (реголита) составит в среднем 250 мл воды [6]. На первый взгляд, эта цифра незначительна, но если учесть, что на Луне этого грунта содер-

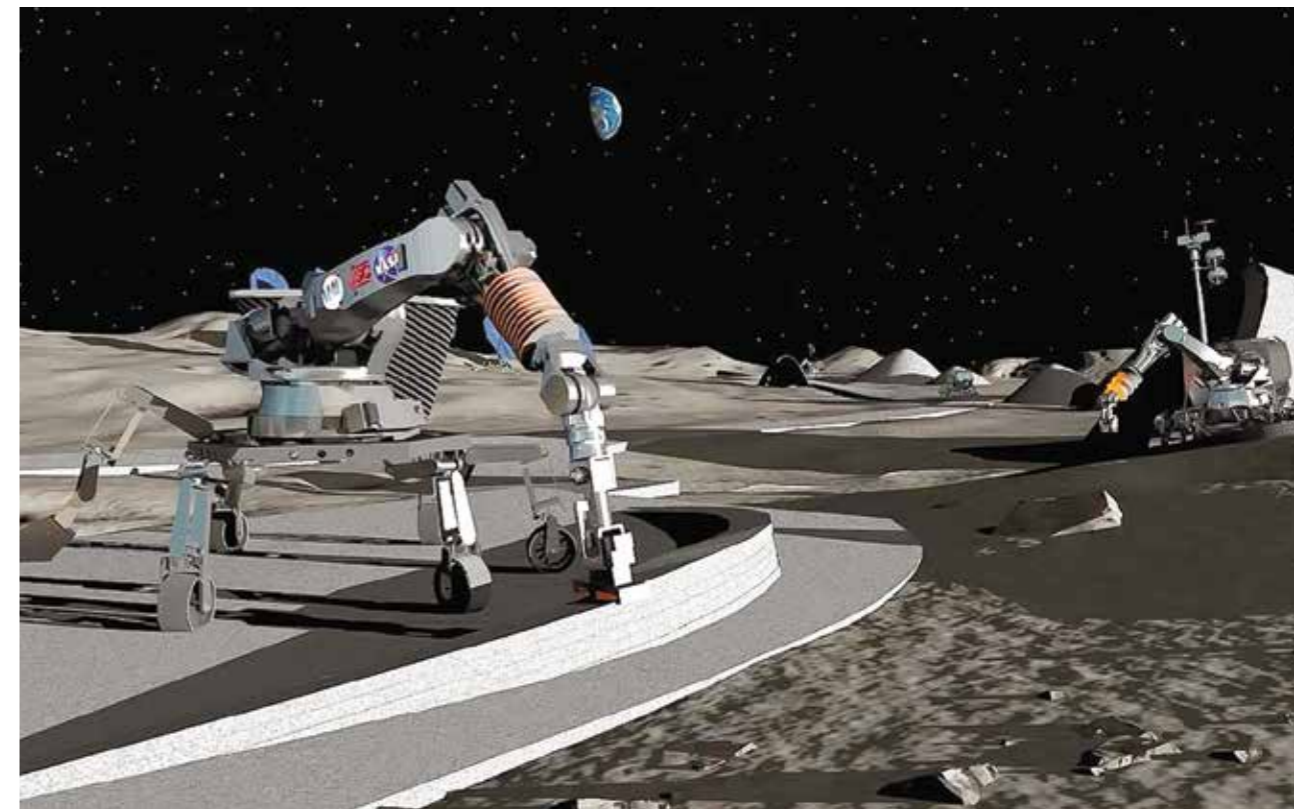
жится многие миллионы тонн, а сама планета существует в таком состоянии многие миллионы лет, запасы воды в ее недрах просто колоссальны (до 5 % от всех запасов воды на Луне). В связи с этим, может быть, землянам необязательно лететь на южный или северный затененные полюса Луны, где космонавтов ожидают суровые температурные условия, а следует сосредоточиться на областях видимой с Земли поверхности ее естественного спутника.

Эти наблюдения и результаты воздействия солнечного света на реголит позволяют выдвинуть предположение, что отогретый солнечным потоком грунт передает тепло воде, замороженной в глубинах грунта, переводит ее в жидкое подвижное состояние. И при этом вода за счет нагрева и осмоса выходит на поверхность грунта, а в дальнейшем испаряется в вакууме над лунной поверхностью. Этот процесс во многом аналогичен процессу термоэмиссии электронов с поверхности нагретого катода: в наличии вещество, находящееся в объеме твердого тела, источник тепловой энергии, который сообщает веществу энергию, достаточную для его перевода в подвижное состояние с выходом на поверхность твердого тела и испарением в свободное пространство (рис. 3).

Количество испаряющейся воды и динамика ее выхода зависят как от количества поступающей на поверхность твердого тела энергии, так и от того, в каком состоянии в структуре твердого тела находилась вода: или в сорбированном в гранулах реголита, или в свободном замороженном состоянии в пространстве между его зернами. Естественно, что выход паров воды в окружающее безвоздушное пространство не означает того, что молекулы воды вообще покидают поверхность Луны и улетают в космос. Их выход происходит со скоростями пренебрежительно меньшими, чем скорость в 2,6 км/с (первая космическая скорость для Луны). Поэтому над поверхностью лунного грунта, как и над подогреваемым катодом в электронной лампе, формируется облако водяных частиц, которое непрерывно находится в процессе массообмена с грунтом, а при переходе поверхности в тень оседает в нем.

Поскольку длительность дня и ночи на Луне составляет около 14 земных суток, естественно, что процесс термоэмиссии паров воды над поверхностью лунного грунта будет иметь периодический характер.

Кратко это явление можно было бы назвать эффектом термоэмиссии паров воды из лунно-



го реголита под действием потока солнечной энергии.

Таким образом, для того чтобы испарить определенное количество воды, находящейся первоначально в одной тонне реголита, необходимо сообщить энергию, достаточную, во-первых, для нагревания этой массы до температуры плавления льда, во-вторых, для плавления этой массы, в-третьих, для нагревания образовавшейся жидкой воды до температуры кипения, а затем для ее испарения.

Энергетический баланс всего процесса имеет вид:

$$Q = (C_{лед} \cdot m + C_{рез} \cdot M) \cdot (t_n - t) + m \cdot C_{пл} + m \cdot C_{вода} \cdot (t_k - t_{пл}) + m \cdot C_{пар} \quad (1)$$

Для оценки величины этой световой энергии (Q) примем, что масса воды в 1 т реголита составляет в среднем  $m = 0,25$  кг [6], масса реголита  $M = 1000$  кг, температура реголита с находящимся в нем льдом на глубине 1 м составляет  $t = -20$  °С, температура плавления льда  $t_{пл} = 0$  °С, а температура кипения воды при низком атмосферном давлении составляет  $t_k = 6,7$  °С, удельные теплоты парообразования и плавления составляют соответственно  $C_{пар} = 2,6 \cdot 10^6$  Дж/кг и  $C_{пл} = 330 \cdot 10^3$  Дж/кг. При этом удельные теплоты реголита, льда и воды составляют соответственно  $C_{рез} = 720 - 770$  Дж/(кг·град),  $C_{лед} = 2100$  Дж/(кг·град),  $C_{вода} = 4183$  Дж/(кг·град). Подставляя в формулу (1) указанные выше величины, получим, что для реализации процесса термоэмиссии паров воды из лунного грунта необходима энергия равная  $Q = 16,13 \cdot 10^6$  Дж.

При световом потоке, который достигает поверхности Луны, равном  $\Phi = 1,39 \cdot 10^3$  Дж/(сек·м²) и коэффициенте поглощения солнечной энергии близком к единице, на 1 м² поверхности Луны за 4,1 часа поступят именно те самые  $16,13 \cdot 10^6$  Дж, которые, согласно проведенным расчетам, были необходимы для реализации процесса термоэмиссии 0,25 кг льда, находящегося в 1 м³ лунного грунта. Для наглядности энергия  $16,13$  МДж — это всего 4,5 кВт·часа, что в современном денежном выражении составляет всего 22,5 рубля или 0,2 \$.

Эти результаты помогут создать простую технологию получения водяных паров, а затем и кислорода с водородом за счет герметичных объемов, устанавливаемых на поверхности реголитовых насыпей, с прозрачными для прохождения солнечных лучей крышами. При этом извлечении воды из паров можно использовать, например, разработанный учеными Сингапура аэрогель [7], пропуская через него пары воды. Благодаря губчатой структуре

аэрогель не нужно сжимать, чтобы получить воду. Кроме того, для его работы не требуется аккумулятор. Получаемая при этом вода соответствует общепринятым для питьевой воды стандартам.

Этот простой способ извлечения паров воды из реголита, наряду с методами получения воды в приполярных областях Луны [8], позволит обеспечить селенавтов [13] не только водой, но и (после ее термического разложения с помощью бесплатной солнечной энергии) водородом — источником энергетических мощностей транспортных средств. Последнее необходимо для создания комфортных условий жизнедеятельности селенавтов, а также для реализации технологий добычи, переработки и обогащения полезных ископаемых, составляющих основу освоения недр Луны.

Среди первых претендентов на роль легкодоступных руд является, конечно, лежащий непосредственно на поверхности Луны реголит.

Как показывают многочисленные исследования реголита, проведенные на поверхности Луны и в земных лабораториях, в нем содержится еще масса редкоземельных металлов, многие из которых находятся в самородной форме, в том числе цирконий, барий, никель, иттрий и стронций в количестве от 0,1 до 0,02 %. В еще меньших количествах обнаружены ванадий, ниобий, кобальт, медь, рубидий и другие химические элементы. Кроме того, по данным российских исследователей [9], в реголите содержатся уникальные металлургические соединения, не характерные для земных естественных условий (в виде оксидов железа, алюминия, титана, магния, натрия, калия и кальция), но являющиеся крайне интересными как конструкционные материалы, а также гелий-3, принесенный космическим ветром на безатмосферную планету [10]. Причем содержание этих полезных ископаемых зависит от того, в какой части Луны — «морской» или «материковой» — были взяты пробы лунного грунта.

Поэтому неслучайно 6 апреля 2020 года президент США подписал распоряжение, устанавливающее права США на добычу лунных ресурсов государственными и частными компаниями. В этой связи актуальным становится вопрос: какие именно полезные ископаемые, сосредоточенные в недрах Луны, на таком высоком уровне заинтересовали США? О серьезности намерений Соединенных Штатов свидетельствует и «Соглашение Артемиды», заключенное с ЕС, Канадой, Японией и ОАЭ. Однако ни Россия, ни Китай к участию в проекте не приглаша-



лись. Соглашение предусматривает создание на Луне вокруг будущих баз союзников так называемой зоны безопасности для «предотвращения ущерба или вмешательства со стороны стран-конкурентов и компаний». В нем также сформулирован порядок установления прав собственности на добытые на Луне ресурсы.

О серьезности намерений по освоению ресурсов Луны и астероидов свидетельствует и развернувшаяся в России на площадке МГУ «Диалог о настоящем и будущем» дискуссия «Космические кладовые Земли», в рамках которой обсуждались возможности добычи на Луне полезных ископаемых [11]. В ходе дискуссии, например, ведущий эксперт в области исследования Луны профессор В. А. Шевченко сообщил, что, по его оценкам, земных запасов золота, алмазов и цинка на Земле осталось всего

на 20 лет, платины, меди, никеля — на 40 лет, а они в первую очередь нужны промышленности. Именно Луна и околоземные астероиды при ближайшем рассмотрении и являются альтернативной «кладовой», в которой содержатся миллионы тонн железа, никеля, кобальта, платины и других металлов. Только за последние несколько лет астрономическими наблюдениями на Луне выявлены 222 новых кратера от упавших астероидов, четверть из которых, по мнению специалистов, состоит из редкоземельных металлов [5].

Кроме того, профессор В. А. Шевченко высказал гипотезу, что редкоземельные металлы, такие как золото, платина, никель, литий, появляются в поверхностном слое Луны благодаря, в частности, падению астероидов, которые богаты этими ресурсами. Подлетая к Луне

со скоростью меньше чем 12 км/с, часть астероидов полностью не испаряется в результате столкновения, и их остатки лежат в лунных кратерах.

Учитывая, что, например, рыночная стоимость лития составляет несколько тысяч долларов за один килограмм, вероятной и экономически выгодной становится простая доставка с поверхности Луны на Землю образцов редкоземельных металлов с последующей их обработкой. В результате на второй план отодвигается не только проблема формирования технологии переработки руд, содержащих редкоземельные металлы, на Луне (то есть проведения цикла хорошо проверенных на Земле горнорудных работ), но и планы по разработке и апробации дорогостоящей, трудоемкой и сложной технологии изменения орбиты астероида и приближения его к Земле. Последнее при нерасчетных ситуациях может привести к столкновению астероида с Землей.

Однако эта привлекательная гипотеза таковой и останется до тех пор, пока не появятся доказательства наличия редкоземельных металлов как в кратерах Луны, так и на самих околоземных астероидах. Уже в 2023 году, когда космический зонд OSIRIS-REx, запущенный NASA с Земли в сентябре 2016 года, возвратит образцы грунта, полученного с поверхности небольшого (в диаметре около 500 м) астероида Бенну, станет ясно, какие полезные вещества содержатся в этих пробах грунта.

«Ахиллесовой пятой», этой гипотезы, конечно, является экономическая целесообразность. Доктор И. Моисеев в своей статье в «Независимой газете — науке» напоминает, что доставка 1 кг лунного грунта по программе «Аполлон» стоила 397 млн долларов. При этом за шесть успешных полетов было привезено 378 кг лунного грунта. Таким образом, если бы все эти

образцы состояли из чистых редкоземельных металлов, самый дорогой из которых в настоящее время имеет рыночную стоимость порядка 30 тыс. долларов / кг, стоимость доставленных образцов составила бы всего 11,34 миллиона долларов, что является всего 2,8 % от суммы, затраченной на доставку с Луны 1 кг грунта.

Другими словами, чтобы компенсировать затраты на доставку 1 кг грунта в размере 397 млн долларов при цене редкоземельного металла в 30 тыс. долларов / кг, необходимо было бы транспортировать 13,23 т чистого металла, то есть совершить более 210 успешных полетов по маршруту Земля — Луна — Земля. Если же содержание редких металлов на астероидах или на Луне составит всего несколько первых процентов, проблема их доставки на Землю усложняется, по крайней мере, в 10 раз. Это свидетельствует о том, что ни тогда — в 1970-е годы, ни в ближайшем будущем такая технология не представляется возможной. Тем более для таких важных задач, как сооружение лунных баз и добыча металлов — титана, алюминия и железа, необходимых для создания космических аппаратов.

Таким образом, выше приведенные данные и расчеты показывают, что, хотя разработка традиционного рудного способа освоения недр Луны и является актуальной, в настоящее время и в ближайшем будущем она трудно реализуема без создания на поверхности Луны эффективных источников энергии.

И в этом смысле опирающаяся на фундаментальные идеи образования планет Солнечной системы и развития в их недрах геологических процессов водородная энергетика имеет безграничные перспективы развития производительных сил — вначале на Луне, а далее на других планетах.

**Водородная энергетика, опирающаяся на фундаментальные идеи образования планет Солнечной системы и развития в их недрах геологических процессов, имеет безграничные перспективы роста производительных сил.**

#### Литература

1. **Ларин В.Н.** Гипотеза изначально гидридной Земли (новая глобальная концепция). М.: Недра, 1975. 101 с.
2. **Голоскоков А.Н.** Критерии сравнения эффективности традиционных и альтернативных энергоресурсов // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2011. № 1. С. 285 – 299.
3. Водородные энергетические технологии: материалы семинара лаборатории ВЭТ ОИВТ РАН. М.: ОИВТ РАН, 2017. Вып. 1. 190 с.
4. **Казмерчук П.В., Мартынов М.Б., Москатиньев И.В., Сысоев В.К., Юдин А.Д.** Космический аппарат «Луна-25» – основа новых исследований луны // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2016. № 4 (34). С. 9 – 19.
5. **Benna M., Hurley D.M., Stubbs T.J., Mahaffy P.R. & Elphic R.C.** Lunar soil hydration constrained by exospheric water liberated by meteoroid impacts // Nature Geoscience. 2019. Vol. 12. Pp. 333 – 338. DOI: 10.1038/s41561-019-0345-3
6. **Honniball, C.I., Lucey, P.G., Li, S. et al.** (2021). Molecular water detected on the sunlit Moon by SOFIA // Nature Astronomy. Vol. 5. Pp. 121 – 127. <https://doi.org/10.1038/s41550-020-01222-x>
7. **Ольга Вашарина.** Ученые Сингапура разработали аэрогель для извлечения воды из воздуха [Электронный ресурс] // Новостной портал FBM.ru. 2021. 22 января. URL: [https://fbm.ru/novosti/science/uchenye-iz-singapura-sozdali-ajerogel-prevrashhajushhij-vozduh-v-pitevuju-vodu.html?utm\\_source=yxnews&utm\\_medium=desktop](https://fbm.ru/novosti/science/uchenye-iz-singapura-sozdali-ajerogel-prevrashhajushhij-vozduh-v-pitevuju-vodu.html?utm_source=yxnews&utm_medium=desktop) (Дата обращения: 04.02.2021).
8. **Багров А.В., Леонов В.А.** Проблемы перехода от исследований Луны к ее освоению // Воздушно-космическая сфера. 2020. № 3. С. 22 – 33.
9. Лунный грунт из Моря Изобилия. Москва: Наука, 1974. 624 с.
10. **Weiblen P.W., Murawa M.J., and Reid K.J.** (1990) Preparation of simulants for lunar surface materials. Engineering, Construction and Operation in Space II, pp. 428 – 435, American Society of Civil Engineers, New York, NY.
11. **Шевченко В.В., Постнов К.А.** Космические кладовые Земли. Диалог о настоящем и будущем [Электронный ресурс] // Сайт МГУ им. М. В. Ломоносова. 2020. 07 мая.

URL: <https://expert.msu.ru/space> (Дата обращения: 04.02.2021).

12. **Бобин А.В., Бобина В.А.** Гироскопические горные машины для освоения полезных ископаемых Луны и строительства на ней постоянных поселений // Воздушно-космическая сфера. 2019. № 2. С. 26 – 31.
13. **Бобин В.А., Бобина А.В.** Проект создания простейших поселений на этапе разведки недр Луны // Воздушно-космическая сфера. 2020. № 2. С. 54 – 61.

#### References

1. **Larin V.N.** Gipoteza iznachal'no gidridnoj Zemli (novaja global'naja koncepcija). Moscow, Nedra, 1975. 101 p.
2. **Goloskokov A.N.** Kriterii sravnenija jeffektivnosti tradicionnyh i al'ternativnyh jenergoresursov. Neftegazovoe delo, 2011, no. 1, pp. 285 – 299.
3. **Vodorodnye jenergeticheskie tehnologii: materialy seminaru laboratorii VJeT OIVT RAN.** Vol. 1. Moscow, OIVT RAN, 2017. 190 p.
4. **Kazmerchuk P.V., Martynov M.B., Moskatinev I.V., Sysoev V.K., Judin A.D.** Kosmicheskij apparat "Luna-25" – osnova novyh issledovanij luny. Vestnik NPO im. S. A. Lavochkina, 2016, no. 4 (34), pp. 9 – 19.
5. **Benna M., Hurley D.M., Stubbs T.J., Mahaffy P.R. & Elphic R.C.** Lunar soil hydration constrained by exospheric water liberated by meteoroid impacts. Nature Geoscience, 2019, vol. 12, pp. 333 – 338. DOI: 10.1038/s41561-019-0345-3
6. **Honniball, C.I., Lucey, P.G., Li, S. et al.** (2021). Molecular water detected on the sunlit Moon by SOFIA. Nature Astronomy, vol. 5, pp. 121 – 127. <https://doi.org/10.1038/s41550-020-01222-x>
7. **Ol'ga Vasharina.** Uchenye Singapura razrabotali ajerogel' dlja izvlechenija vody iz vozduha. FBM.ru. 2021. January 22. Available at: [https://fbm.ru/novosti/science/uchenye-iz-singapura-sozdali-ajerogel-prevrashhajushhij-vozduh-v-pitevuju-vodu.html?utm\\_source=yxnews&utm\\_medium=desktop](https://fbm.ru/novosti/science/uchenye-iz-singapura-sozdali-ajerogel-prevrashhajushhij-vozduh-v-pitevuju-vodu.html?utm_source=yxnews&utm_medium=desktop) (Retrieval date: 04.02.2021).
8. **Bagrov A.V., Leonov V.A.** Problemy perehoda ot issledovanij Luny k ee osvoeniju. *Vozdushno-kosmicheskaja sfera*, 2020, no. 3, pp. 22 – 33.

9. Lunnyj grunt iz Morja Izobilija. Moskva, Nauka, 1974. 624 p.

10. **Weiblen P.W., Murawa M.J., and Reid K.J.** (1990) Preparation of simulants for lunar surface materials. Engineering, Construction and Operation in Space II, pp. 428 – 435, American Society of Civil Engineers, New York, NY.
11. **Shevchenko V.V., Postnov K.A.** Kosmicheskie kladovye Zemli. Dialog o nastojashem i budushem. Lomonosov Moscow State University. 2020. May 07. Available at: <https://expert.msu.ru/space> (Retrieval date: 04.02.2021).
12. **Bobin A.V., Bobina V.A.** Girokopicheskie gornye mashiny dlja osvoenija poleznyh iskopaemyh Luny i stroitel'stva na nej postojannyh poselenij. *Vozdushno-kosmicheskaja sfera*, 2019, no. 2, pp. 26 – 31.
13. **Bobin V.A., Bobina A.V.** Proekt sozdanija prostejshih poselenij na jetape razvedki neдр Luny. *Vozdushno-kosmicheskaja sfera*, 2020, no. 2, pp. 54 – 61.

© Бобин В.А., Бобина А.В., 2021

#### История статьи:

Поступила в редакцию: 18.01.2021  
Принята к публикации: 04.02.2021

**Модератор:** Плетнер К.В.

**Конфликт интересов:** отсутствует

#### Для цитирования:

*Бобин В.А., Бобина А.В. Фундаментальные идеи и достижения водородной энергетике – на службу освоения недр Луны // Воздушно-космическая сфера. 2021. № 1. С. 58 – 67.*