



# ПОЛЮСА

В каждом выпуске дискуссионной рубрики «Полюса» двум специалистам, представляющим различные взгляды на одну из актуальных проблем сегодняшнего дня, истории и будущего космонавтики, предоставляется возможность выступить в защиту своей точки зрения, а затем, во «втором раунде» – с критикой позиции оппонента. Редакция «Российского космоса» намеренно не выступает в качестве арбитра и не подытоживает выступления авторов материалов этой рубрики – хотя, возможно, в одном из последующих номеров журнала будет опубликован «Третий взгляд», появившийся у заинтересовавшегося дискуссией читателя.

## ЗА ЭНЕРГИЕЙ – НА ЛУНУ?..

Константин Ёлкин

Начальник лаборатории  
ФГУП ЦНИИмаш

**Энергетика будущего.  
Гелий-3 – одна из целей  
освоения Луны**

В общественном сознании распространено представление, что в результате полетов на Луну в 60–70-е годы прошлого столетия наш естественный спутник был детально исследован, и поэтому с научной точки зрения ожидать серьезных открытий от новых полетов на Луну не стоит. Это мнение ошибочно.

Как известно, Луна – небесное тело планетного типа, обладающее значительными размерами и весьма продолжительной геологической историей. Площадь ее поверхности больше площади Африки и немногим меньше площади обеих Америк. И ведь по поводу геологических исследований земных континентов никому не приходит в голову ставить вопрос об их дальнейшей ненужности (хотя число проведенных исследовательских экспедиций несравнимо больше числа посадок на лунную поверхность, количество собранных геологических образцов на много порядков больше доставленных на Землю 392 кг образцов

лунного вещества из всего-навсего девяти мест лунной поверхности, а заснята вся поверхность континентов Земли многократно и с разрешением лучшим «средних» лунных 50–300 метров).

В течение последних лет не только среди специалистов, но и в космических агентствах укрепилось понимание необходимости «возвращения» на Луну. И это уже приносит плоды. Так, сейчас реализуются европейский проект искусственного спутника Луны SMART-1 (в настоящее время он работает вблизи Луны), японские проекты Lunar-A и Selene, китайский проект Chang'e-1, индийский проект Chandrayaan-1, начаты работы по американскому проекту LRO, ведутся проектные разработки «Луна-Глоб» и в нашей стране. Все проекты имеют целью на современном, качественно новом по сравнению с прежними экспедициями уровне развития научного приборостроения и космической техники продолжить исследования

Луны с окололунных орбит. При этом российский проект «Луна-Глоб» и японский проект Lunar-A предусматривают миссии поверхностных лунных зондов-пенетраторов.

С начала 2004 года после объявления американским президентом Дж. Бушем инициативы по освоению и исследованию человеком Марса и Луны NASA активно разрабатывает лунную программу. Согласно опубликованным планам в 2015–2020 гг. предполагается начать проведение регулярных американских пилотируемых полетов на Луну. Эти полеты будут предварены миссиями автоматических космических аппаратов.

Какие цели преследуют зарубежные агентства в таких проектах? Прежде всего, конечно, научные. Заявлено также и о намерении создать технологии, которые в будущем позволят приступить на практике к использованию ресурсов Луны. Понятно, что вначале речь идет о ресурсах, снижающих зависимость будущей деятельности на Луне от снабжения с Земли кислородом и водой, компонентами ракетного топлива. А что после?

Ранее, в 60–90-е годы прошлого века, активно исследовались перспективы создания сооружений на Луне из местных материалов, возможности лунной металлургии, получения оптических и полупроводниковых материалов. Особый акцент получила тема развития энергетики на основе лунных ресурсов. В этой теме отчетливо прослеживаются два направления.

Первое – это развитие на Луне солнечной энергетики на базе местного производства панелей солнечных батарей. Произведенная солнечными электростанциями энергия могла бы использоваться как для снабжения лунных потребителей, так и передаваться микроволновым излучением для потребителей на Земле. Правда, неясны экологические последствия практической реализации последнего предложения. (Данное направление является очень интересным и потенциально многообещающим, но его обсуждение выходит за рамки заявленного предмета обсуждения.)

Второе направление связано с активно обсуждающимся сейчас в отечественной прессе и среди специалистов проектом добычи на Луне и доставки на Землю гелия-3, перспективного топлива для будущих земных термоядерных электростанций. Выполненные российскими специалистами по термоядерному синтезу оценки показали, что 50 кг гелия-3 достаточно для годичной работы промышленного термоядерного реактора мощностью порядка 1 ГВт, вырабатывающего электрическую мощность порядка 0,6 ГВт. Этот тип реактора в принципе способен работать без образования радиоактивных отходов.

В чем заключается существо предложения разработки гелия-3 на Луне? Почему гелий-3 нужно искать именно на Луне?

Проведенные анализы доставленных на Землю американскими и советскими экспедициями образцов лунного вещества показали, что в лунном грунте, так называемом реголите, который состоит из мелко раздробленных частиц и чехлом покрывает поверхность нашего ночного светила, содержание гелия-3 составляет от 2 до 14 мг в одном кубическом метре. Общее содержание этого изотопа гелия на Луне оценивается значением примерно 1 млн. тонн. Первоисточником лунного гелия-3 является солнечный ветер, который, взаимодействуя с частицами реголита в течение многих миллионов лет, внедрял и продолжает внедрять гелий-3 в эти частицы.

Если, предположим, аккумулялировать гелий непосредственно из солнечного ветра, создав, допустим, пленочную структуру для захвата ионов интересующего нас изотопа гелия, то пришлось бы развернуть эту конструкцию вне пределов земной магнитосферы. При этом размеры такой ловушки для захвата всего одного грамма гелия-3 за год оцениваются как 300 кв. км (круг радиусом почти 10 км). Ловушка круговой формы размером с нашу Землю за год в принципе может аккумулялировать порядка 430 кг гелия-3. Эти оценки демонстрируют невозможность практической реализации такого проекта.

В земной атмосфере, куда он попадает вследствие радиоактивного распада актиния, тория и урана, содержание гелия-3 составляет, по оценке, одну часть на сто миллиардов по объему или примерно 4 тысячи тонн. Существующая практика такова, что гелий сжижением воздуха не получают, а извлекают его из природного газа месторождений, где содержание гелия довольно высоко – в среднем до 2% по объему. Но содержание изотопа гелия-3 в получаемом таким образом гелии составляет примерно одну миллионную часть (это на порядок меньше, чем для атмосферного гелия), что дает оценку всего 2,5 кг гелия-3 в мировом производстве за один год. На практике этим способом экстракции гелия-3 не пользуются.

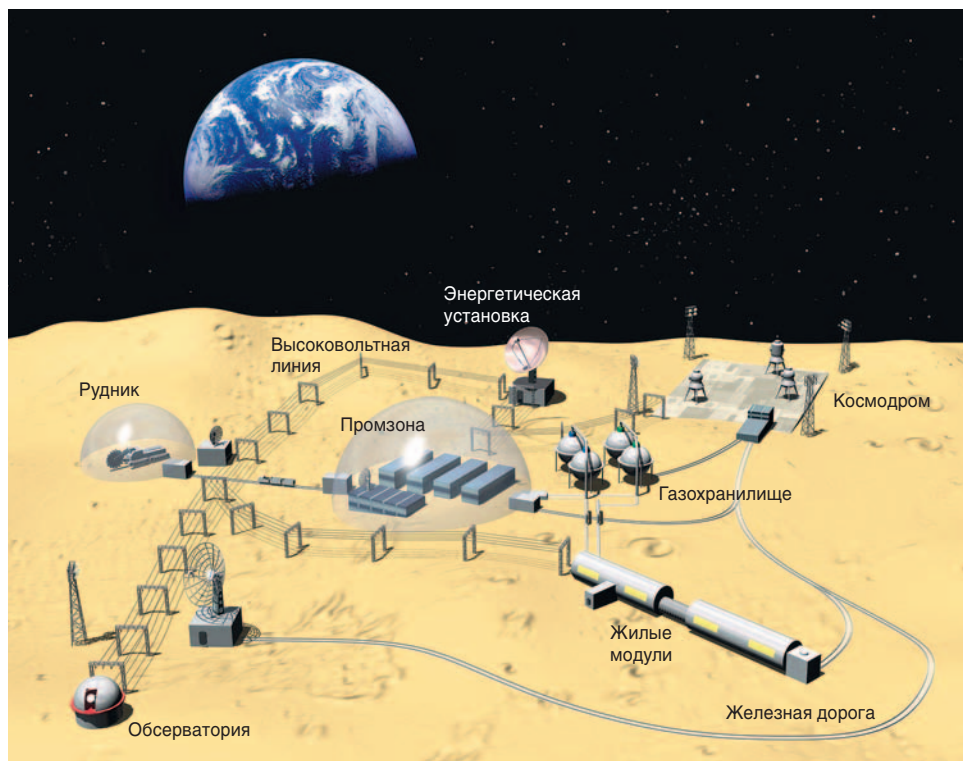
Основным методом получения гелия-3 сейчас является радиоактивный распад трития. Согласно опубликованным оценкам, этим путем можно получить до 18 кг гелия-3 в год.

Таким образом, большие запасы гелия-3 имеются только на Луне, но для того, чтобы извлечь их, нужны огромные усилия.

Первым, кто двадцать лет назад обратил внимание ученых, занимающихся проблемами термоядерного синтеза, на то, что по сравнению с Землей лунный грунт содержит относительно большое количество гелия-3, был ученый из США Виттенберг. Американский Институт технологии термоядерного синтеза при Университете Висконсин-Мэдисон возглавили и ведет работы по исследованиям реакций термоядерного синтеза с гелием-3, а также по проблематике добычи и доставки на Землю лунного гелия-3 (Калсински, Тэйлор, Сантариус, Святославский). Результаты работ этой группы ученых активно обсуждались и продолжают обсуждаться на конференциях, симпозиумах и в прессе, большую роль в привлечении внимания к этой проблеме играет бывший астронавт Харрисон Шмитт, побывавший на Луне в составе последнего «лунного» экипажа «Аполло».

Для производства на Луне 33 кг гелия-3 этой группой ученых пред-





Лунное научно-производственное поселение

ложен передвижной комплекс, перерабатывающий за один час более 1200 тонн реголита, забираемого ковшами роторного экскаватора с глубины до 3 метров. Масса комплекса составляет 18 тонн, мощность тепловой установки – 12 МВт. Для экстракции гелия-3 предложен многоступенчатый процесс, который основывается на проверенном в наземных условиях факте термической дегазации летучих веществ из реголита. Понятно, что для доставки комплекса с такими массогабаритными характеристиками на Луну и для его развертывания потребуется не менее двух пусков ракет-носителей класса «Энергия». Проектные характеристики этого комплекса определяются физико-механическими характеристиками реголита, поэтому очень важно обладать точной информацией о них. Так, например, использование справочных данных о теплоемкости образца реголита, доставленного станцией «Луна-16» ( $0,74 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ ), дает оценку требуемой тепловой мощности для нагрева 69 МВт, а не 12 МВт. Отсюда следует очевидный вывод о необходимости более подробных исследований свойств реголита из

различных мест лунной поверхности, перспективных с точки зрения возможного высокого содержания в них гелия-3. Такие исследования должны предварять проекты технических средств разработки лунных ресурсов.

С точки зрения эволюционного подхода к решению задачи добычи на Луне изотопа гелия-3 просматривается следующая логика.

Масштабный проект добычи десятков килограммов лунного гелия-3 немислим без участия космонавтов. Но возобновление пилотируемых полетов на Луну обязательно должно предваряться: разведывательными экспедициями автоматических космических аппаратов, осуществляющих дистанционные исследования Луны; работой на ее поверхности зондов-пенетраторов, малых посадочных станций, луноходов, собирающих образцы лунного вещества; экспедиций автоматических возвращаемых ракет по доставке этих образцов на Землю.

Большое значение для проекта имела бы наземная апробация технологии получения гелия-3 на модельном оборудовании из лунного реголита.

При успехе этой фазы работ можно было бы провести в автоматическом режиме натурный эксперимент на Луне по получению небольшого количества гелия-3 (несколько граммов) с последующей его доставкой на Землю для детального анализа.

Технологии для полетов автоматических космических аппаратов по проверке принципиальной осуществимости добычи лунного гелия-3 и доставки его на Землю в основных своих моментах известны. Но решение этих задач потребует создания новых космических аппаратов, способных осуществлять мягкую посадку на Луну больших полезных нагрузок. Понадобится также создать новые луноходы, другие технические средства для детального изучения и начала освоения Луны. В качестве средств выведения на опорную орбиту искусственного спутника Земли можно будет использовать как существующие, так и создаваемые отечественные ракеты-носители тяжелого класса.

В случае успешности предыдущих фаз проекта, при условии значительного прогресса в создании промышленного термоядерного реактора и с появлением «заказа» от энергетиков на значительные количества гелия-3 можно будет непосредственно приступить к развертыванию промышленного сектора обитаемой лунной базы, ориентированного на получение гелия-3.

\*\*\*

Понятно, что реализация такой большой программы исследований Луны потребует времени и значительных ресурсов. Сейчас в Федеральной космической программе запланирован только один лунный проект – «Луна-Глоб» с планируемой датой запуска автоматического космического аппарата в 2012 году. Характер представленной выше программы исследований спутника Земли при помощи автоматических космических средств таков, что для ее реализации потребуется не менее 10 лет. Необходимо отметить, что научные результаты этой программы будут иметь самостоятельную ценность и обязательно будут исполь-

зованы при развертывании на Луне обитаемой базы.

Проведенные предварительные оценки масштабов работ по развертыванию промышленной фазы проекта по лунному гелию показали, что потребуется развернуть на Луне примерно 250 тонн оборудования и довести численность экипажа лунной базы до 15 человек. Потребуется создание транспортной инфраструктуры «Земля – орбита ИСЗ – орбита ИСП – Луна», включая ракеты-носители класса «Энергия». Ясно, что решение этой задачи тоже займет срок не менее 5 лет. Стоимость таких работ, по оценке ЦНИИмаш, составляет 11 млрд. долларов, а ежегодная эксплуатация потребует 2 млрд. долларов.

Положительный опыт работ по программе создания термоядерного реактора ITER, сотрудничество в проекте Международной космической станции позволяют рассчитывать на то, что и в проекте по лунному гелию может сложиться позитивное сотрудничество.

Сегодня нельзя не заметить все сильнее проявляющиеся в мире тенденции усиления заботы о национальных интересах и того, что России все чаще отводится вспомогательная роль. Старт лунной гонке уже дали США, фактически вызов принял Китай. Пока в лунных планах этих стран нет речи о будущем земной энергетики, но уже давно не секрет, какую роль играют энергоносители в геополитике.

Следует ли нам и далее ограничиваться «малыми делами», уповая на интернациональный характер науки, или стоит перейти к разработке и реализации национальных научно-технических проектов, способных обеспечить достойное качество жизни наших граждан в будущем? На мой взгляд, невзирая на все отмеченные выше сложности, проект лунного гелия является достойным кандидатом на роль такого национального проекта.

Будут ли оправданы затраты, какова будущность термоядерных электростанций? Ответа на эти вопросы пока нет. Вернее, этот ответ предопределяется опытом, верой в прогресс, в творческие, созидательные силы народа, отечественных ученых, инженеров и рабочих.

## Лунное эльдорадо

**Анатолий Петрукович**

Институт космических исследований РАН,  
заведующий лабораторией

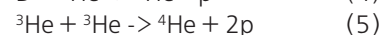
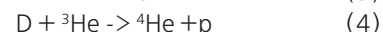
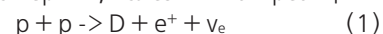
**В** истории российского космоса привлечение прессой внимания публики к проблеме лунного гелия-3 можно сравнить разве что с затоплением орбитальной станции «Мир».

Сегодня во главу угла современной российской космонавтики ставится промышленное освоение вселенной, а потенциальное топливо для термоядерной энергетики гелий-3 – одно из немногих веществ, в изобилии присутствующих в космосе и практически недоступных на Земле. Пожалуй, самый притягательный аспект в этой истории – возможность обеспечить всех энергией, привезя пару «шаттлов» гелия с Луны. Чтобы лучше представить себе все плюсы и минусы такого решения энергетической проблемы, полезно в деталях описать его. Эта задача объединяет в себе, казалось бы, далекие от повседневной жизни вопросы теории образования вселенной, структуры солнечной системы, физики плазмы с энергетикой и горным делом.

### Гелий как топливо

Каждое составное вещество, будь то молекула или атомное ядро, характеризуется энергией связи. Если энергия связи продуктов реакции выше, чем исходных материалов, то реакция идет с выделением энергии и исходные вещества можно использовать как топливо. Из химических процессов наиболее эффективны в этом смысле реакции взаимодействия с кислородом – горения, являющиеся сегодня основным и незаменимым источником энергии. Тонна ядерного топлива заменяет многие миллионы тонн нефти, потому что энергия связи протонов и нейтронов в ядре значи-

тельно больше, чем та, что связывает атомы в молекулы. Гелиевый цикл реакций ядерного синтеза начинается реакцией слияния двух протонов в ядро дейтерия. Выпишем несколько первых, полезных нам реакций:



Кроме вероятности собственно слияния ядер (так называемого сечения взаимодействия), скорость реакции зависит и от вероятности преодоления электростатического барьера при сближении двух положительно заряженных ионов. Хотя бы поэтому реакции с однозарядными дейтерием и тритием легче осуществимы, чем с двухзарядным гелием-3. Синтез незря называется термоядерным: чтобы разогнать частицы для преодоления барьера, надо нагреть (вспомним, что температура есть мера кинетической энергии частиц) ядерное топливо до сотен миллионов градусов, превратив его в плазму.

Ключевой параметр термоядерной энергетики – критерий зажигания реакции – определяет, при какой плотности и температуре плазменного топлива энергия, выделяемая при синтезе (пропорциональная энергетической выгоде, умноженной на скорость реакции, плотность плазмы и время горения), превысит затраты на нагрев плазмы с учетом потерь и коэффициента полезного действия. Наибольшая скорость у реакции дейтерия и трития (3), и чтобы достичь зажигания, плазму с концентрацией около  $10^{14} \text{ см}^{-3}$  необходимо нагреть до полутора сотен миллионов граду-



сов и удерживать 1–2 секунды. Так как никакая стенка при такой температуре не избежит разрушения, то удерживать плазменное облако пытаются магнитным полем. Чтобы добиться положительного баланса энергии в реакциях на других компонентах – гелии-3 или боре (4, 5, 6), меньшую скорость надо компенсировать, в десятки раз увеличивая температуру и плотность плазмы. Начальные реакции гелиевого цикла (1, 2), образующие дейтерий и тритий, например, в солнечном ядре, идут настолько медленно, что соответствующие кривые в поле этого графика не попали. Впрочем, именно этой медлительности, обеспечивающей постоянство потока солнечной энергии на многие миллиарды лет, мы обязаны самим существованием жизни на Земле.

Для земной реализации логично выбрать наиболее легко доступную реакцию – синтез гелия из дейтерий-тритиевой смеси. Задача ее осуществления – управляемый термоядерный синтез (УТС) – стоит уже десятки лет, с 60-х годов XX века. Планируется, что проектируемый сейчас международный термоядерный реактор – токамак ИТЕР – сможет достичь порога зажигания, от него, впрочем, еще довольно далеко до коммерческого использования термоядерной энергии.

У этой схемы есть и недостатки. Например, дейтерий-тритиевая реакция самая радиационно грязная (правда, меньше, чем реакции ядерного распада, используемые сейчас в атомной энергетике), и внутренние стенки промышленного реактора будет необходимо менять через каждые несколько лет из-за радиационного разрушения материала. Другая проблема – выделяемую энергию уносят в основном нейтроны, у которых непросто эту энергию отобрать. Однако ключевым вопросом является удержание плазмы нужной температуры и плотности, и борьба за стабильность магнитоплазменной конфигурации уже фактически породила целую отрасль науки о неустойчивостях плазмы. Ясно, что при увеличении температуры, необходимом для осуществления

реакций на других компонентах, эта проблема только усугубится.

Альтернативные варианты, например так называемый лазерный УТС (обжигание мишени из топлива лазерным лучом) или использование гелия-3, хотя и лишены некоторых недостатков, но в целом считаются значительно менее перспективными. Обсуждая плюсы и минусы разных реализаций, надо помнить, что, прежде чем проявились многие проблемы, в токамаки были вложены миллиарды долларов. Кто знает, что будет при столь же детальной разработке других вариантов.

Однако идея альтернативных сценариев термоядерной энергетики приобрела и неожиданных союзников. Гелий-3 рассматривается как одна из главных экономических целей будущей экспансии человечества в космос. Вероятно, неслучайно, что основным источником материалов по добыче космического гелия-3 является американский Институт технологии синтеза (Fusion Technology Institute, University of Wisconsin), активно исследующий различные сценарии УТС.

### Гелий в космосе

На первый взгляд проблем с тем, где взять гелий, быть не должно – это второй по распространенности элемент (20%), а относительное содержание в нем легкого изотопа составляет немногим меньше одной тысячной доли. Интересно, что такое количество гелия не могло быть наработано из водорода в звездах, и в основном он образовался в ходе остывания смеси элементарных частиц на первых сотнях секунд после Большого Взрыва. Этот этап мироздания вполне понятен современной науке, а то, что количество гелия и других легких элементов оказалось в природе именно таким, каким его предсказывает теория, стало одним из основных наблюдательных подтверждений современной теории образования вселенной.

Однако Земля слишком мала и горяча и легкие газы – водород и гелий – удержать не может. Возобновляемый же ресурс гелия на Земле только один – радиационный:

при распаде радиоактивных химических элементов вылетают альфа-частицы – ядра гелия-4. Гелий-3 так не образуется, и в результате его количество на Земле ничтожно.

Гелий космического происхождения (с большим содержанием гелия-3) есть в атмосферах Урана или Нептуна либо на Солнце. Оказалось, что к солнечному гелию подобраться проще, ведь все межпланетное пространство заполнено солнечным ветром, в котором на 70000 протонов приходится 3000 альфа-частиц и одно ядро гелия-3. Солнечный ветер так разрежен, что язык не поворачивается даже назвать его веществом – у Земли его плотность составляет всего несколько частиц в кубическом сантиметре, на многие порядки меньше, чем в максимально достижимом в технике вакууме. Но в астрономии на каждое очень малое число всегда найдется какое-нибудь очень большое. Солнечная плазма оседает на поверхности небесных тел, не имеющих магнитосферы и атмосферы, и, например, на Луну за четыре миллиарда лет выпало несколько сотен миллионов тонн гелия-3. Именно эта цифра иногда озвучивалась в прессе как запасы гелия-3 на Луне.

Оценить теоретически со сколько-нибудь разумной достоверностью, сколько гелия-3 остается на Луне, сложно. Однако, если бы весь солнечный ветер оставался на поверхности Луны, то кроме 5 г гелия-3 на один квадратный метр приходилось бы еще около 100 кг водорода и 16 кг гелия-4. Очевидно, что ничего такого на Луне нет, и лишь очень малая доля ионов солнечного ветра навсегда закрепляется на поверхности. Исследования лунного грунта, привезенного на Землю советскими станциями «Луна» и американскими «Аполлонами», показали, что гелия-3 в нем примерно одна стомиллионная миллионная часть (см., например: Лунный грунт из моря изобилия. – М.: Наука, 1974). Всего на Луне только около миллиона тонн этого изотопа, что, правда, все равно очень много по земным меркам. Эта цифра признается и американскими сторонниками добычи гелия-3. Ионы солнечного вет-

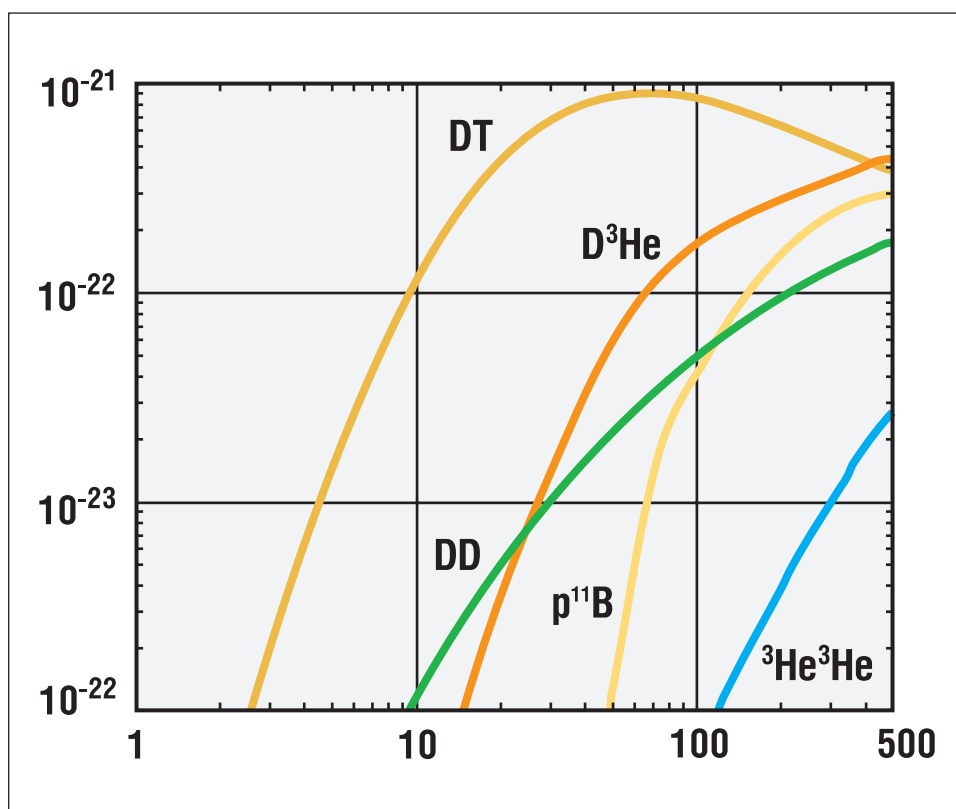
ра имплантированы в верхний слой частиц реголита, более или менее равномерно рассеянного в лунных морях рыхлого слоя мелких обломков со средним диаметром меньше миллиметра, накопившихся в течение миллиардов лет от разрушения лунных пород. Надо отметить, что все эти оценки верны с точностью до порядка величины, ведь мы не знаем ни как изменялись свойства солнечного ветра, ни насколько характерны взятые пробы лунного грунта.

### Гелий как полезное ископаемое

С технической точки зрения процесс добычи в подробностях рассмотрен, например, энтузиастами колонизации Луны (см. [www.asi.org](http://www.asi.org)). Газ легко получить из реголита, если нагреть его до нескольких сотен градусов. В лаборатории гелий-3 отделяют от других газов, охлаждая смесь до жидкого состояния и пользуясь незначительной разницей температур кипения (4,22 К для гелия-4 и 3,19 К для гелия-3). Другой изящный способ основан на использовании свойства сверхтекучести жидкого гелия-4, который может перетечь через вертикальную стенку в соседнюю емкость, оставив после себя только гелий-3.

Современная годовая потребность Земли в энергии эквивалентна всего лишь около 100 тоннам гелия-3. Но, скажем, для того чтобы сделать заметный вклад в энергетику и добыть всего одну тонну гелия-3, надо перекопать до миллиарда тонн лунного грунта. По меркам горной промышленности это не такая уж невероятная цифра: например, угля за год в мире добывают два миллиарда тонн, хотя, конечно, содержание 0,01 г гелия-3 на тонну породы – это очень-очень мало. Например, разработка золота считается экономически эффективной, если золота в породе не менее нескольких граммов на тонну, а алмазов – 2 карата (0,4 г) на тонну.

Однако заниматься добычей гелия-3 придется в безвоздушном пространстве на Луне, а не «в тепличных условиях» Земли. Чтобы действительно обеспечить нашу планету новым топливом, придется организо-



по оси Y – скорость реакции на различных компонентах в м³/с;  
по оси X – энергия (температура) плазмы в кэВ, (1 кэВ – около 100 000 000 градусов)

вать на Луне целое поселение, ведь вряд ли автоматы смогут выполнить работы, сравнимые с объемами российской угольной промышленности.

Сейчас обеспечение безопасности экипажа является первым приоритетом пилотируемой космонавтики – за парой космонавтов на околоземной орбите следят сотни специалистов, и в любой момент экипаж может вернуться на Землю. Если в космосе окажутся тысячи человек, то они должны научиться жить в условиях вакуума самостоятельно – без детального присмотра с Земли. В сущности это означает колонизацию вселенной.

Если подходы к преодолению проблем управляемого термоядерного синтеза хотя бы находятся в рамках возможностей современной науки, то массовое освоение космоса, вероятно, потребует принципиально новых решений, новых источников энергии, основанных на неизвестных сейчас физических принципах. Тогда лунные запасы гелия-3 могут и не показаться нашим потомкам такими уж безграничными и привлекательными.

В сумме неопределенности этой идеи кажутся слишком серьезными. Сегодняшний уровень техники позволяет в лучшем случае продемонстрировать возможность добычи микроскопических количеств гелия-3, который в обозримом будущем использовать будет негде. Впрочем, это уже было почти осуществлено в старой лунной программе.

Одна же из основных практических целей современной лунной программы – поиск водяного льда, наличие которого позволит думать о широком использовании Луны как перевалочной базы или площадки для внеатмосферной астрономии.

Оценивать выгодность масштабированного вложения средств в энергетику послезавтрашнего дня по сравнению, например, с вложениями в энергосбережение должны экономисты. В любом случае, на мой взгляд, обсуждение проблемы гелия-3 полезно в качестве одного из первых шагов к поиску мотиваций будущей космической экспансии.





Константин Ёлкин

## Луна: лететь или смотреть, как это делают другие?

Известен старый анекдот о двух коммерсантах, приехавших в южный городок, где каждый из них хотел заняться торговлей обувью. После первого дня пребывания в городке оба шлют телеграммы домой. Первый: все плохо, все ходят без обуви, поэтому делать мне здесь нечего; а второй: ура! огромное поле для работы – здесь все без обуви! Ситуация с оценкой вопросов освоения Луны и с возможной добычей лунного гелия-3 напоминает мне этот анекдот.

Пессимистическая позиция такова.

Да, практическая реализация управляемого термоядерного синтеза сталкивается с многочисленными трудностями, создание промышленного реактора на дейтерии-трении затягивается уже на десятилетия, а трудности создания реактора следующего поколения (на дейтерии-гелии-3 либо только на гелии-3) хотя и угадываются, но пока просто неизвестны.

В этой связи нельзя говорить, что через год-два для земной энергетики понадобятся десятки килограммов «чистого» для земной экологии термоядерного топлива – гелия-3.

Да, мы очень мало знаем о Луне, о распространенности на ней гелия-3.

Да, имеющиеся предложения по технике добычи гелия-3 очень «сырые», сильно зависят от недостаточно изученных характеристик лунного реголита, условий работы на Луне.

Да, прогнозируемые масштабы работ таковы, что обязательно нужны люди-операторы, а число членов экипажа лунной базы, по оценке, составит не менее десяти человек.

Поэтому не нужно ввязываться в эту затею, которая очень масштабна, с точки зрения главной цели плохо обоснована, потенциально разорительна для экономики страны и тем более для бюджета ее науки.

Но, хотя пессимист по определению всегда прав (поскольку в случае успеха затеи о его мнении великодушно почти не вспоминают, а в случае неудачи он выступает как пророк, мнением которого пренебрегли), рассмотрим аргументы в пользу освоения Луны и лунного гелия как одной из целей ее освоения.

Прогноз некоторых авторитетных ученых, что управляемого термоядерного синтеза не будет в течение ближайших ста лет, может не оправдаться. Сообщество физиков уже давно «морально» готово к появлению неожиданных прорывных решений – достаточно вспомнить событие с неподтвердившимся «холодным термоядерным синтезом». Есть примеры и недостаточной скрупулезности экспериментаторов. Так, российские исследователи остановились буквально в одном шаге от открытия высокотемпературной сверхпроводимости. А личные мнения авторитетных физиков? Известны публичные скептические высказывания Эрнста Резерфорда и Альберта Эйнштейна о возможности практического использования энергии деления атома, относящиеся к началу 30-х годов, а уже через 10 лет начал работать первый ядерный реактор.

Давайте вообразим, что в случае термоядерной энергетики количество ранее приложенных и прилагаемых усилий лет через пятнадцать-двадцать превратится в качество, а мы уже послушали авторитетов, свернули наши работы, вышли из международного проекта ITER.

Мировая энергетика начнет менять свое лицо, темпы этих изменений могут быть и быстрыми – вспомним примеры Франции и Японии с их ростом удельного веса атомной энергетики. Вдруг и гелий-3 понадобится?! Мы же послушали авторитетов, ограни-

чились одним полетом спутника вокруг Луны, а потом занялись углубленными исследованиями земной ионосферы и магнитосферы. А в это время американцы, пусть и с задержками, но уже организовали на Луне свою базу и уже накопили практический опыт работы с местными ресурсами. Что тогда делать России? Занять отводимое нашими добротами место отсталой окраинной страны, когда-то богатой ценными для развитых стран энергоресурсами? Такой ход событий вполне реален.

Очень важным мне представляется и следующий тезис. Чистая мировая наука – понятие идеальное. Во всем мире не скрывают, что развивают науку в интересах создания национальных технологий, процветания своих народов. Также очень важен и фактор демонстрации общественности своих национальных достижений. Надо наконец осознать и нам, что, участвуя в европейских и американских космических проектах, наши специалисты работают на престиж именно европейской и американской науки, помогают созданию «их» технологий, консервируют отставание наших технологий.

Никем открыто не отрицается, что Луна для землян – объект будущего освоения. Лунный гелий – одна из перспективных целей этого освоения, которую можно обосновать. Пусть пока до конца не ясно, как будет на практике происходить освоение Луны, возможно, в ходе этого процесса появятся новые цели. Вопрос сейчас ставится в такой плоскости: нужно ли нашей стране исследовать Луну, учиться работать и жить на ней или нет? Нужно ли вообще нам ставить вопрос о национальных космических проектах или следует отдать все на откуп великим державам – США, странам Евросоюза, Японии, набирающему мощь Китаю?

По моему мнению, просто необходимо развернуть дискуссию в позитивное русло. Те, кому не нравится идея освоения Луны как национальный космический проект, пусть предложат свои альтернативы. Или отечественным промышленности и науке не стоит и мечтать о значительных проектах, к тому же обещающих в будущем и практическую отдачу?



Анатолий Петрукович

## Гелий-3 как топливо для российской космонавтики

**Я** думаю, было бы правильно рассматривать отдельно проблемы гелия-3 и положения лунной программы в целом.

Изложенная программа пробной добычи гелия-3 даже на этапе автоматов, на мой взгляд, под большим вопросом. В экстракции гелия-3 не упомянут и ключевой момент – сепарация гелия-3 и гелия-4. Сбор даже нескольких граммов гелия-3 подразумевает обработку сотен тонн реголита. Предлагаемые схемы его добычи на Луне для всякого знакомого с тем, как создается и сколько стоит сегодня космическая техника, можно описать лишь одной фразой: «Что нам стоит дом построить, нарисуем – будем жить».

Сейчас мы уже знаем, что гелий-3 на Луне есть, знаем, где его взять, и умеем доставлять груз на Землю. Вопрос лишь в количестве, и если в отдаленном будущем гелий-3 нам все-таки понадобится, то решить эту проблему на новом уровне техники будет гораздо проще. А осуществят это коммерческие компании, ведь энергетика – прибыльный бизнес, с бюджетом гораздо больше космического.

Радует, что участники дискуссии опираются на один и тот же источник информации, но плохо то, что он фактически единственный. Отличительной стороной американской науки и университетского сектора является (я бы сказал, невиданный

для российской и советской науки) плюрализм, основанный, прежде всего, на широком разнообразии источников финансирования. Кроме ведения некоторых работ по термоядерному синтезу, упомянутый обоими авторами американский институт (Fusion Technology Institute, University of Wisconsin) стал базой и для ряда энтузиастов космической экспансии. Однако, несмотря на агрессивную рекламную кампанию, сторонники обсуждаемой идеи находятся в явном меньшинстве. Ссылка на такой источник была бы уместна как пример при написании заявки на какой-нибудь грант, но вряд ли подойдет для обоснования национального космического проекта.

Национальные приоритеты в США определяются экспертизой, проводимой национальной Академией наук и государственными агентствами и фондами. Ни исследования гелиевого термоядерного синтеза, ни поиски гелия на Луне в число первоочередных целей не входят, хотя упоминание об этих проблемах и попало как-то раз в одну из речей президента Буша и в материалы Конгресса. В научных программах NASA исследования Луны (один проект LRO) занимают заслуженное, но все-таки гораздо более скромное место, чем исследования Марса или внеатмосферная астрономия. Проекты Китая и Индии нацелены не столько на какие-то научные цели, сколько следуют логике начального этапа освоения космоса. Масштабные же цели по высадке на Луну, поставленные американским Конгрессом, пока не нашли своего воплощения в конкретных планах NASA, что и не удивительно, ведь его бюджет не увеличили, а конкурентоспособных целей кроме «возвращения на Луну» пока никто не придумал. Момент истины в этой истории еще впереди.

В таком разрезе лунная исследовательская программа России выглядит неплохо – рассматривается проект «Луна-Глоб», а одна из основных задач американского проекта LRO – поиск водяного льда – будет решаться российским прибором, разрабатываемым в ИКИ РАН. Многие эксперименты, имею-

щие отношение к анализу реголита (отбор грунта, выделение газовой фракции, химический анализ), готовятся ИКИ РАН и другими организациями в рамках российского проекта «Фобос-Грунт». Кроме поиска водяного льда интересными задачами являются, например, картирование приполюсных районов, где могут быть участки, постоянно находящиеся в тени, и определение внутренней структуры при помощи сейсмического зондирования. Нужно отметить, что упомянутая в статье моего визави геологическая история Луны гораздо проще земной – там нет ни развитой конвекции внутренних слоев, ни тектоники плит, ни существенного накопления осадочных пород.

Ясно, что лунный гелий-3 нам нужен не столько для решения энергетических проблем, сколько для привлечения интереса публики и особенно власти к космонавтике. В сегодняшних российских реалиях этот вопрос уместно сформулировать так: может ли какая-нибудь из ярких задач космонавтики стать национальным проектом? Но, пожалуй, это тема для отдельной большой дискуссии. Отмечу только, что при всем своем прагматизме даже американцы не чураются в своей космической программе не направленных на конкретную материальную выгоду, а чисто познавательных целей. Я же, как человек, работающий в космической науке, могу коротко сформулировать три проблемы, которые решаются только в космосе:

- развитие Земли как космической экосистемы (динамика климата, солнечная активность, астероидная опасность);
- происхождение и эволюция жизни (включая планетные исследования);
- экстремальные состояния материи (космология, выходы на новую физику).

Думаю, эти проблемы не так уж непонятны человеку со стороны, как может показаться на первый взгляд. В конце концов, посмотрев на звездное небо ночью, каждый человек хотя бы раз задавался вопросами: «Что будет завтра? Есть ли там кто-нибудь? Откуда взялись звезды?»