



**А. А. Твердов**  
горный инженер  
ИЕЭС, к.т.н.



**А. В. Жура**  
консультант по  
экономике и мар-  
кетингу ИЕЭС, к.э.н.



**С. Б. Никишичев**  
директор ИЕЭС, к.э.н.

# XXI век – век «космического недропользования»

50-летию первого полета человека  
в космос посвящается

Часть 2. Продолжение. Начало в №4, 2011



*В статье определены возможные стратегические направления восполнения минерально-сырьевой базы за счет освоения природных ресурсов космических объектов Солнечной системы.*

*In the article strategically directions of make up for mineral raw materials sources at the expense of Solar System's space objects mineral resources development are described.*

**Ключевые слова:** жизнедеятельность, материальные блага, минерально-сырьевые ресурсы, энергоресурсы, гелий-3.  
**Keywords:** vital functions, material wealth, mineral raw materials recourses, energy resources, helium-3.

Говоря о перспективах «космического» недропользования, нельзя обойти стороной и проблему энергообеспечения процесса добычи полезных ископаемых. Очевидно, что процесс недропользования должен быть максимально энергоэкономичным и максимально автономным.

Среди возможных вариантов энергообеспечения «космического» недропользования следует рассматривать:

- атомную энергетику, что небезопасно и имеет другие недостатки, но может давать значительный объем энергии, при этом практически непрерывно;
- термоядерную энергетику, которая на настоящий момент не имеет практически реализованных проектов;
- солнечные энергетические установки – недостатком которых является непостоянство притока солнечной радиации, при значительных площадях занимаемых солнечными батареями (как следствие, возрастают риски повреждения метеоритами и микрочастицами).

Говоря об атомной энергетике, стоит отметить, что, по словам заместителя главного конструктора ФГУП «Красная звезда» Павла Андреева

[1], на данный момент имеются проекты по созданию на Марсе атомной электростанции, включая проработку таких деталей, как возможная доставка и сборка необходимых составляющих.

Процессы недропользования и переработки полезного ископаемого очень энергоёмкие, что требует мощных источников энергии, и в полной мере исключительно за счет солнечной энергетики решить вопрос энергоснабжения космической базы не удастся. При серьезной

проблеме непрерывного обеспечения колонии-поселения большим объемом энергии в качестве оптимальной следует считать схему энергообеспечения на базе нескольких принципиально независимых источников энергии, каждый мощностью, достаточной для обеспечения системы жизнеобеспечения колонии-поселения.

Вполне приемлемой можно рассматривать следующую принципиальную схему организации энергообеспечения процесса «космического» недропользования:

- источником электроэнергии выступает солнечная электростанция (или атомный реактор);
- горная техника работает на водородном топливе.

Данная схема может быть реализована в замкнутом цикле, представленном на **рис. 1**.

Известно, что водород является очень

**Процессы недропользования очень энергоёмкие, требующие мощных источников энергии, и в полной мере исключительно за счет солнечной энергетики решить вопрос энергоснабжения космической базы не удастся**

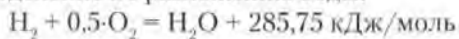
энергоёмким видом топлива, это позволяет использовать его в качестве источника энергии для высокомошной техники. Источником водорода и кислорода, необходимого для работы горной техники, может послужить вода.

При этом если в условиях Земли получение водорода и кислорода путем электролиза воды до сих пор является нерентабельным из-за высоких затрат электроэнергии, то в новых условиях, когда доставка любого материала с Земли чрезвычайно дорога, данное

направление получения водородного топлива приобретает иную оценку.

Побочным положительным эффектом следует считать возможность подключить к процессу разложения воды на кислород и водород - систему кондиционирования, подведя соответственно от объектов жизнедеятельности поток хладагентов. Нагреваясь в системе кондиционирования объектов и пройдя по радиатору через ванну электролизера, хладагент получит значительное охлаждение. Далее поток хладагентов снова поступает к объектам жизнедеятельности, способствуя отводу лишнего тепла. Это не только повышает уровень комфортности жизнедеятельности космических колонистов, но также увеличивает эффективность самого процесса электролиза.

В свою очередь полученный кислород и водород, передается в резервуары энергетических установок используемой техники где, сгорая, выделяет огромное количество энергии и в качестве конечных продуктов реакции воду, которая, по мере накопления в соответствующих емкостях, может снова включаться в процесс энергообеспечения, передаваясь в отделение по разложению воды:



Таким образом, процесс является замкнутым, за исключением подачи электроэнергии, получение которой может быть реализовано путем создания электростанций на солнечных батареях или стационарной атомной электростанции.

Вода может быть разово доставлена с Земли, тем более что кислород и водород являются составляющей ракетного топлива. Помимо прочего кислород и водород являются составной частью минеральных ресурсов как Луны (FeO, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и т.д.), так и Марса, присутствуя в виде химических соединений. В процессе освоения внеземных объектов вполне возможно наладить получение кислорода (из ильменитов) и водорода (из лунного реголита) непосредственно на колонизируемых естественных образованиях Солнечной системы, попутно получая целый ряд полезных компонентов. При этом полученный водород и кислород можно использовать не только в процессе энергообеспечения, но и для удовлетворения человеческих потребностей в воде и воздухе.

На Марсе значительное количество кислорода содержится в полярных шапках в составе водяного и сухого льда, также предполагается наличие скоплений водяного льда наподобие зон вечной мерзлоты Земли. К тому же некоторое количество кислорода и водяных паров

имеется и в очень разреженной атмосфере Марса (CO<sub>2</sub> – 95%, CO-0,06%, H<sub>2</sub>O – до 0,1%). Не следует отказываться и от использования продуктов человеческой жизнедеятельности для получения кислорода и воды, по крайней мере, для удовлетворения означенных технических нужд.

Наиболее перспективным с точки зрения первоочередного проекта по освоению минеральных ресурсов внеземных объектов является добыча на Луне He<sup>3</sup>, вследствие огромной стоимости 1 кг сырья, при сочетании с возможностью обеспечить максимальную переработку руды непосредственно в условиях Луны. Так, энергетический эквивалент 1 кг He<sup>3</sup> составляет 6x10<sup>5</sup> ГДж [2], что эквивалентно 175 млн. кВт\*ч. После апробации термоядерного процесса He<sup>3</sup> может использоваться для строительства на Земле энергоустановок

**Побочным положительным эффектом следует считать возможность подключить к процессу разложения воды на кислород и водород систему кондиционирования, подведя от объектов жизнедеятельности поток хладагентов**

высокой эффективности при минимальной нагрузке на экологическую среду.

Для обеспечения максимальной эффективности процесса добычи гелия на первом этапе освоения лунных недр следует выделить наиболее целесообразные для первоочередного освоения участки, характеризующиеся максимальной концентрацией He<sup>3</sup>. По некоторым источникам концентрация гелия достигает 36 г/т реголита, из них около 0,03-0,04% приходится на изотоп – He<sup>3</sup>. Мощность реголита колеблется от нескольких до 10 метров, при этом наибольшая концентрация He<sup>3</sup> характерна для верхних горизонтов.

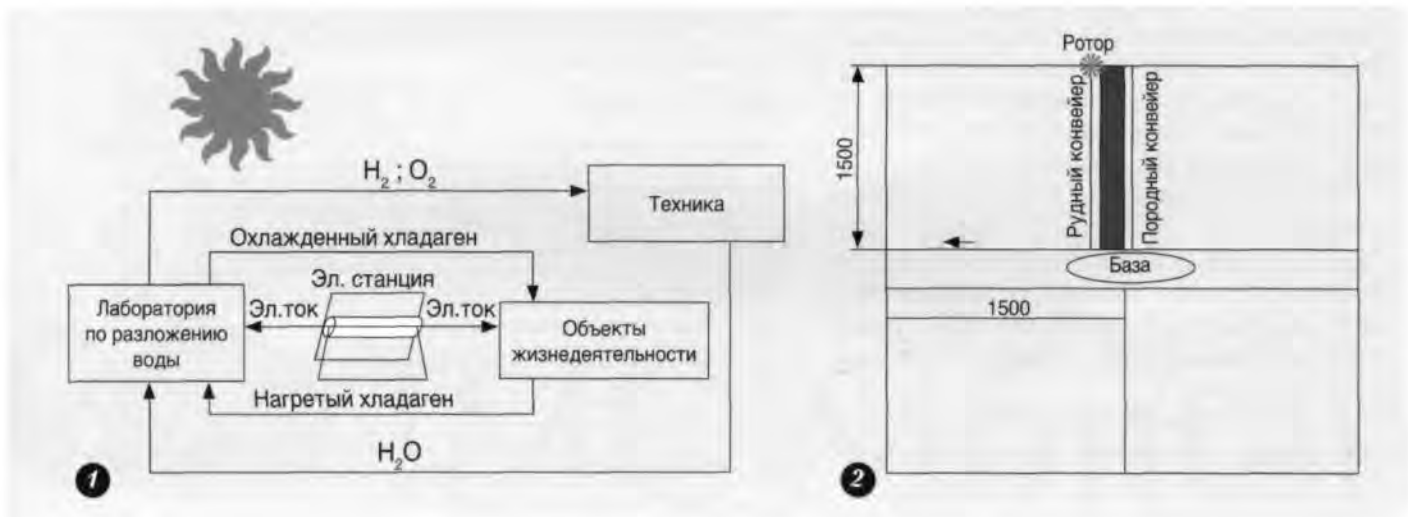
Для отладки процесса переработки He<sup>3</sup>, на первом этапе целесообразно ограничиться строительством электростанции средней установленной мощности, в районе 500 МВт. С учетом высокой энергоемкости He<sup>3</sup> и непостоянства загрузки станции, годовой объем потребляемого сырья составит около 18 кг. Для обеспечения указанных объемов, с учетом концентрации гелия в реголите и потерь при термическом «выпаривании» реголита (10%), необходимый годовой объем добычи составит 1350 тыс. тонн.

Добычу реголита целесообразно вести с минимальным объемом транспортных операций, при максимальной концентрации работ, что достижимо разбиением добычного участка на блоки, располагающиеся симметрично относительно лунной базы. Добыча может осуществляться комплектом оборудования в составе: рудного конвейера, ротора, породного конвейера, вспомогательного универсального вездехода (оснащенный ковшовым рабочим органом, прицепом и лебедкой). Рудный конвейер с ротором подвигается по мере отработки блока, вслед за этим осуществляется обратная засыпка «пустой» породой выработанного пространства. Для минимизации веса и повы-

в дневное время, в аккумулирующем бункере (или штабеле на поверхности). Ёмкость штабеля или бункера будет определяться исходя из производительности оборудования и продолжительности лунной ночи, и может составить около 60 тыс.м<sup>3</sup>.

Наиболее энергоемким является процесс «выпарки» реголита. Так, если средний расход электроэнергии на добычу и транспортировку руды и отходов может составить порядка 1.75 кВт\*часа на тонну реголита, то средний расход электроэнергии на выпарку гелия порядка 499.4 кВт\*часа на тонну реголита.

С учетом расхода электроэнергии на собственные нужды общая установленная



шения прочности оборудование должно быть выполнено из современных конструктивных материалов (ультрасовременные наноматериалы, композиты, углепластик, сплавы на основе скандия и т.д.). Схема отработки должна быть рассмотрена более комплексно согласно существующим возможностям развития машиностроительного комплекса.

После отделения от породного массива, реголит транспортируется на базу, где подвергается «выпарке» гелия, с последующим разделением гелия на изотопы 3 и 4. «Выпарка» может производиться термическими методами, как с использованием микроволн, так и путем фокусирования солнечного света, когда при температуре 900°С происходит высвобождение порядка 90% гелия.

Для повышения энергоэффективности добычных работ и переработки реголита, одновременно с максимизацией использования человеческих и машинных часов, добычные работы можно предусмотреть по непрерывному графику. «Выпарка» же может производиться

мощность лунной станции может составить порядка 43.3 МВт, из них 0.7 МВт - на добычные работы.

С учетом высокоэффективных перспективных солнечных электростанций (КПД до 35%), объема часовой переработки в дневные сутки - необходимая площадь поверхности солнечной станции составит 215\*215 м.

Расход воды за лунную ночь для работы горной техники и внутренние нужды составит 38-39 тыс.тонн. Водород является летучим газом, относительно легко выделяющимся при нагревании реголита. Для необходимого объема воды потребуется провести переработку порядка 60 тыс.м<sup>3</sup> лунного грунта (содержание водорода 55 г/т) и доставить или получить из лунного ильменита порядка 34 тыс. тонн кислорода.

Экономический эффект от добычи He<sup>3</sup> будет формироваться за счет энергии, получаемой при его переработке на Земле.

Следует учитывать, что значительные инвестиции, связанные со строительством

**Рис. 1**  
Возможная принципиальная схема организации энергоснабжения процесса «космического» недропользования

**Рис. 2**  
Порядок отработки лунного участка недр

объектов недропользования на Луне, будут частью затрат на реализацию лунной программы в целом, включая научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, связанные с подготовкой к полету на Луну и строительством лунной базы. Деятельность поселения является частью научно-исследовательской программы, в свою очередь доставка дополнительного количества грузов может быть также рассмотрена в комплексе с другими аспектами освоения Луны. Фактически с проектом добычных работ на Луне связаны затраты, непосредственно касающиеся доставки и строительства добычного комплекса, а также затраты возникающие в связи с необходимостью поддержания объекта недропользования. В этом смысле, капитальные затраты на организацию добычных работ уже не выглядят столь внушительными, а эффект от добычных работ по сути является синергетическим, не только повышая энергобезопасность России, но и обеспечивая энергией лунную базу.

Сводные примерные оценки экономической эффективности добычи He<sup>3</sup> на Луне приводятся в **табл. 1**. Экономический эффект существенно возрастает при увеличении объемов производства и переработки He<sup>3</sup>, а также при перспективном сокращении затрат на космические полеты.

Говоря о перспективах строительства лунной базы и организации добывающего производства, следует также учитывать стратегическую значимость лунной программы для России, включая следующие аспекты:

- закрепление прав на участки Луны, повышение значимости территориальных претензий в качестве пионера (на примере антарктических станций);
- возможность проведения исследований и поиск наиболее оптимальных для перспективного освоения лунных участков;
- возможность модифицировать технику и технологии, а также подготовить условия для широкомасштабного освоения ресурсов Луны;
- создание условий последующего освоения и колонизации Марса, с лунной базы, как промежуточного пункта;
- повышение уровня знаний человечества о космосе, а также стимулирование развития суперсовременных технологий;
- использование лунной базы для защиты земли от метеоритной угрозы;
- повышение обороноспособности России.

Последнее немаловажно, если рассматривать лунную базу как плацдарм для возможного военного присутствия, в т.ч. строительства ракетной базы. Несмотря на демилитаризацию

## Примерные оценки экономической эффективности добычи He<sup>3</sup> на Луне

Таблица 1

Показатель	Значение
Длина блока, м	1500
Ширина блока, м	1500
Количество блоков	4
Количество обрабатываемых блоков	4
Запасы на участке	46800
Обеспеченность запасами участка, лет	36,54
Добыча реголита в год, тыс. тонн	1348,11
Количество реголита на 1 кг He <sup>3</sup> , тыс. тонн	73,10
Установленная мощность земной термоядерной эл. станции, МВт	500
Годовая выработка энергии, тыс. квт*ч	3066000
Расход He <sup>3</sup> на эл. станцию, кг	17,52
Стоимость 1 квт*ч энергии, долл.	0,15
Выручка в год, млн. долл.	459,9
Операционные затраты на станции, долл. (без учета стоимости топлива)	45,99
Прибыль, млн. долл.	413,91
Полные энергозатраты на добычу 1 тонны руды, квт*ч	1,75
Полные энергозатраты на добычу для получения 1 кг He <sup>3</sup> , тыс. квт*ч	127,80
Полные энергозатраты на добычу руды в год, тыс. квт*ч	2356,955
Среднечасовые нагрузки, Мвт	0,336324
Теплоемкость реголита, калл/кг*1 градус	0,177
Количество реголита на 1 кг He <sup>3</sup> , тыс. тонн	73,09942
Выход He <sup>3</sup> при выпарке, д. ед.	0,95
Расход энергии на переработку 1 тонны реголита, кДж	499,4055
Расход энергии на выпарку He в год, тыс. квт*ч	187014,5
Средняя нагрузка при переработке в дневные сутки, МВт	42,69737
Съем энергии с 1 м <sup>2</sup> , Вт/м <sup>2</sup>	270
Площадь, м <sup>2</sup>	44607,71
Выход энергии при синтезе 1 л воды, квт*ч	2,204861
Расход энергии на собственные нужды, квт*ч	250
Потребление энергии на добычу и собственные нужды за ночь, тыс. квт*ч	84090,4
Расход воды за лунную ночь, тыс. т	38,13864
Капзатраты на строительство станции, млн. долл	460
Затраты на транспорт при работе станции, млн. долл./рейс	50
Операционные рейсы в год (доставка персонала), транспорт грузов и т.д.	2
Затраты на строительство термояд. станции на He <sup>3</sup> , млн. долл.	1000
ЧДД за 40 лет, млн. долл.	2720,573
Период окупаемости, лет	9
Ставка дисконтирования	5

космоса, следует учитывать последние тенденции по пересмотру сложившихся норм международного права. Ни для кого не секрет, что после ряда последних событий авторитет ООН сведен до минимума, а ранее действовавшие международные соглашения при желании подвергаются одностороннему пересмотру, как это было в случае с американской программой противоракетной обороны. В сложившихся геополитических условиях наличие базы, которая в короткое время может быть перепрофилирована на военные цели, включая возможность размещения труднодоступных с земли ядерных ракет стратегического назначения выступит дополнительным фактором сдерживания. Лунная база может рассматриваться также в качестве места размещения «запасных» систем связи и навигации на случай

вывода из строя, по тем или иным причинам, орбитальных спутников связи.

В целом следует отметить, что вопросы «космического» недропользования имеют целый ряд специфических особенностей и не всегда могут быть решены исходя из земного опыта. Учитывая абсолютную неподготовленность к «космическому» недропользованию горной науки, данные вопросы должны быть подняты для обсуждения уже в настоящий момент, чтобы отставание в отдельно взятом направлении науки не стало преградой к прогрессу в целом и экспансии человека в космос. Россия традиционно является пионером в идеях и стремлении к освоению новых пространств, в том числе и космоса, таким образом, совершенно ожидаемым будет открытие нового направления горной науки именно в России. ■

**Литература**

1. Россия собралась строить атомную электростанцию на Марсе. <http://pda.lenta.ru/russia/2003/08/18/marsstation/>.
2. Д. Озол. Солнечный ветер сдует энергетический кризис // «За науку» №6-7, 2006



# IMC Montan

Компания имеет штат международных и российских экспертов в области добычи и переработки полезных ископаемых, инфраструктуры горнодобывающих предприятий и пр. IEEC (группа IMC Montan) выполняет проекты по следующим направлениям:

- Оценка запасов и отчет компетентного лица
- Комплексные обследования горнодобывающих компаний
- Финансовый анализ
- Обоснование инвестиций
- Инженерное сопровождение инвестиционных проектов
- Техническая поддержка
- Разработка проектов и программ развития компаний

С 1992 года компанией IEEC (группа IMC Montan) реализовано множество проектов для крупных российских горнодобывающих компаний, банков, инвесторов. IEEC (группа IMC Montan) обладает особым профессиональным опытом, который базируется на сочетании оптимальной международной практики и понимании специфики российской горнодобывающей отрасли. Компании, входящие в группу IEEC (группа IMC Montan), имеют опыт выполнения работ практически со всеми видами минерального сырья во многих странах мира.

Компания имеет офисы в Великобритании, Германии, Южной Африке, Индии, Китае, России (Москва и Екатеринбург), Канаде, Чехии и др.

IEEC офис в г. Москва  
125047 Москва, Россия  
Чаянова 22, стр. 4  
Тел: +7 499 250 6717  
Факс: +7 499 251 5962  
[www.imcmontan.ru](http://www.imcmontan.ru)  
E-mail: [consulting@imgroup.ru](mailto:consulting@imgroup.ru)

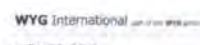
реклама

IMC Montan является международной консалтинговой компанией в горнодобывающей промышленности и объединяет группу компаний:

 **IEEC Mining**  
IEEC (ООО "Ай.И.И.Си")  
Россия

 **IMC**  
IMC (IMCGCL)  
Великобритания

 **DMT**  
(DMT GmbH & Co. KG)  
Германия

 **WYG International**  
Инженерная группа (WYG Plc)  
Великобритания