

КЛОНДАЙК НА ПОВЕРХНОСТИ

АСТЕРОИДЫ, ПАДАЮЩИЕ НА ЛУНУ
МОГУТ ПОСЛУЖИТЬ ИСТОЧНИКОМ
СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
НА ЗЕМЛЕ

Лев ЗЕЛЁНЫЙ
Владислав ШЕВЧЕНКО

ОСВОЕНИЕ ЗЕМЛИ ИДЕТ ПОЛНЫМ ХОДОМ, И НЕДАЛЕК ТОТ ЧАС, КОГДА ЧЕЛОВЕЧЕСТВО СТОЛКНЕТСЯ С НЕХВАТКОЙ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ, ПРЕЖДЕ ВСЕГО МЕТАЛЛОВ. К ЭТОМУ ВРЕМЕНИ НЕОБХОДИМО РАЗРАБОТАТЬ И ОСВОИТЬ ТЕХНОЛОГИИ ДОСТАВКИ ДЕФИЦИТНЫХ И РЕДКИХ МАТЕРИАЛОВ С НАШЕГО ЕСТЕСТВЕННОГО СПУТНИКА. ПОТЕНЦИАЛ ЛУНЫ В КАЧЕСТВЕ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ЗЕМЛИ ОГРОМЕН – ТАК СЧИТАЮТ УЧЕНЫЕ.

Одним из важнейших практических мотивов, побуждавших людей изучать небесные тела, была вполне повседневная необходимость – измерение времени. Древнейшие письменные источники многих народов свидетельствуют, что для определения времени служила Луна. А в одном из таких документов прямо сказано: «Луна создана для счета дней». Позднее, когда началась эпоха великих географических открытий, Христофор Колумб и Америго Веспуччи, открывая Америку, определяли по Луне географическую долготу своего местоположения.

Прошли века... В наше время Луну все чаще рассматривают как часть космической инфраструктуры Земли, и в некотором будущем она может оказаться поставщиком дефицитных природных ресурсов для своего небесного покровителя.



МЕТАЛЛ В КОСМОСЕ

Металлы платиновой группы – коллективное обозначение шести переходных металлических элементов (рутений, родий, палладий, осмий, иридий, платина), имеющих схожие физические и химические свойства и, как правило, встречающихся в одних и тех же месторождениях.

Современные исследования показали: около четверти всех лунных кратеров содержат раздробленные фрагменты упавших астероидов так называемого М-класса, содержащие в своем составе никель, кобальт, элементы платиновой группы, редкие и редкоземельные металлы. Эти астероиды, вероятно, являются остатками металлических ядер планетезималей (небесных тел на орбите вокруг молодой звезды, образовавшихся в результате постепенного приращения более мелких объектов. – *Ред.*), которые были разрушены в результате взаимных столкновений на ранних стадиях формирования Солнечной системы.

По расчетам специалистов, упавший на Луну металлический астероид диаметром 1.5 км может содержать различных элементов на сумму до 1.2 квадриллиона рублей, по современной рыночной оценке. Даже если в результате столкновения с Луной останется всего лишь один процент массы астероида, стоимость сохранившегося груза составит примерно 12 триллионов рублей.

При этом следует учесть, что ценное сырье лежит на поверхности уже в раздробленном состоянии и не требует шахт и других горнорудных методов добычи. Регулярные перевозки этих богатств с Луны на Землю могли бы оказаться довольно прибыльным коммерческим предприятием.

ДЕФИЦИТ НЕ ЗА ГОРАМИ

Возьмем, к примеру, оксид индия-олова (ИТО), который обнаружен на Луне. Этот прозрачный полупроводник широко используется при изготовлении дисплеев и сенсорных экранов. В 2000-х годах в связи с увеличившимся спросом на мировом рынке цены на индий стали расти. Из-за этого стоимость экранов сегодня доходит до 40% от цены всего электронного устройства. Инженеры давно пытаются найти адекватную замену этому материалу, но пока все альтернативы, такие как оксид алюминия-цинка, оксид олова, легированный фтором или сурьмой, проигрывают по параметрам. Это один из примеров назревающего дефицита в одной, довольно узкой, технологической области. Есть и другие, более глобальные, вызовы.

В последние годы все острее ощущается нехватка редких и редкоземельных металлов. Рост потребности в них накладывает на снижающиеся темпы добычи. Согласно прогнозам аналитиков инвестиционного банка Goldman Sachs, разведанных на Земле запасов платины, меди и никеля осталось не более чем на 40 лет. В то же время, по оценкам консалтинговой компании Industrial Mineral Company of Australia Pty Ltd., спрос на эти ресурсы растет: если в 2016 г. он оценивался в 160 тыс тонн, то к 2020 г. достиг уже 200–240 тыс тонн. И, по прогнозам, потребности будут только увеличиваться.

Ограничения в поставках могут привести к замедлению роста высокотехнологичных отраслей промышленности. Известно, что около 90% редкоземельных металлов, широко использу-



щихся в авиационно-космической и оборонной сферах, поступает на мировой рынок из Китая. По некоторым данным, китайские рудники находятся на поздних стадиях жизненного цикла. Ряд экспертов полагает, что их истощение может произойти уже в ближайшие 15–20 лет.

Очевидно, что и другие ценные ресурсы на Земле рано или поздно подойдут к исчерпанию. Так что детальное изучение богатств Луны имеет перспективы не только с научной точки зрения, но и с самой, что называется, прикладной.

ГОНКА ЗА РЕСУРСАМИ

Интересно, что Китай, в последние годы резко активизировавшийся на лунном направлении, серьезный акцент делает на геологических исследованиях. Вполне возможно, что такой интерес связан с желанием сохранить за собой роль ведущего поставщика редкоземельных металлов.

Действительно, среди целей миссии автоматической межпланетной станции «Чанъэ-1», ставшей в 2007 г. первым аппаратом из Поднебесной, отправленным к спутнику, значилось построение карт залегания химических элементов типа титана и железа, а также оценка возможности промышленной разработки месторождений. Затем последовали другие орбитальные и посадочные миссии, в том числе еще никем не повторенная посадка лунохода на невидимой с Земли стороне Луны в 2019 г. Венцом программы на сегодняшний день является операция по доставке на Землю образцов лунного грунта, успешно осу-

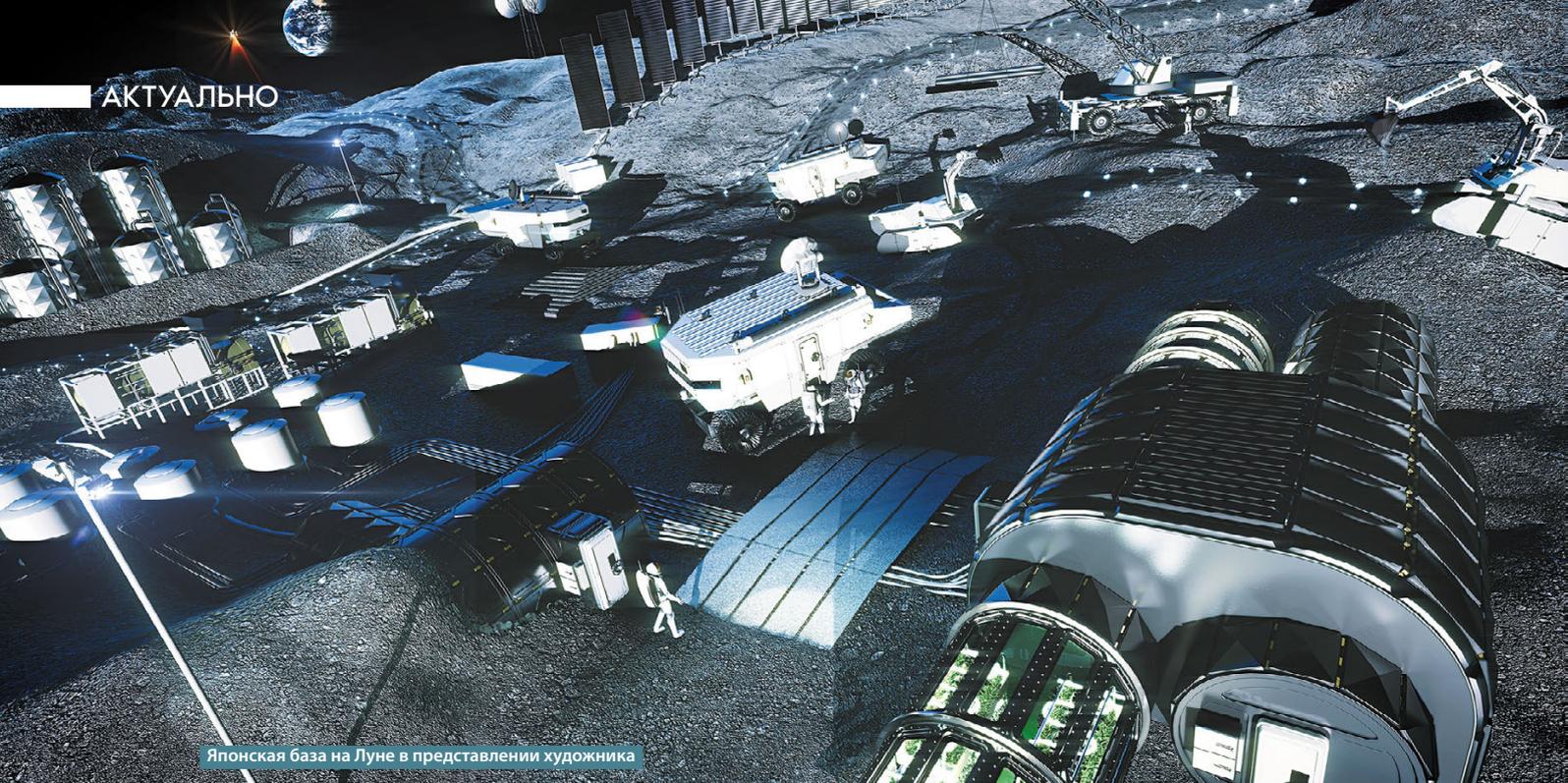
ществленная в рамках миссии автоматической станции «Чанъэ-5» в 2020 г.

Уже в период 2030–2035 гг. КНР рассчитывает приступить к промышленной добыче на земном спутнике редкоземельных металлов, включая и платиновую группу. В лунной программе «Чанъэ» (богиня Луны в китайской мифологии), разработанной Китайским национальным космическим управлением CNSA в 2004 г., отмечается, что осмия, платины и палладия на Луне в тысячу раз больше, чем доступно на Земле.

В отличие от земных природных ресурсов, лунные постоянно пополняются за счет выпадения метеоритного и астероидного вещества.

Другие страны тоже кропотливо трудятся над лунными картами. Как следует из материалов программы Chandrayaan, Индия также предполагает заняться промышленной добычей различных ресурсов на ближайшем к нам небесном теле.

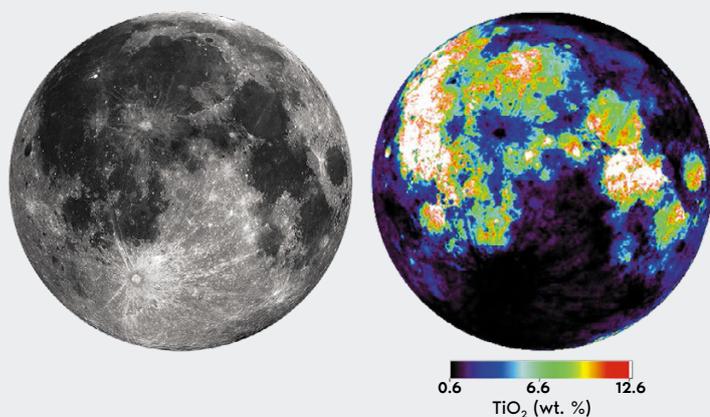
О начале исследований, согласно которым в 2024 г. планируется доставить на поверхность спутника луноход, сообщило руководство Объединенных Арабских Эмиратов. Аппарат будет оснащен двумя камерами высокого разрешения, тепловизором, камерой-микроскопом и другими научными инструментами для изучения свойств и состава лунного реголита. Место посадки будет



Японская база на Луне в представлении художника

БОГАТЫЙ ТИТАНОМ

Снимки поверхности Луны, полученные лунным орбитальным аппаратом Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO), позволили обнаружить чрезвычайно богатые титаном области. Анализ полученных изображений в Гавайском университете (США) показал, что концентрация титана в отдельных областях лунной поверхности морского типа достигает 18%, что на 3% выше, чем в самых богатых титановой рудой земных месторождениях. Следует отметить, что титаном на Луне наиболее обогащен минерал ильменит. Поэтому области лунных морей с распространением ильменитовых пород могут представлять интерес для получения титана в промышленных масштабах. Этот металл может быть использован при строительстве лунных баз.



Слева – снимок Луны в фазе полнолуния, справа – карта распространения двуокиси титана TiO_2 в территориях морского типа видимого полушария Луны (указаны весовые проценты в поверхностных породах), построенная по данным китайского геостационарного спутника Gaofen-4 (2020 г.)

выбрано в области, еще не обследованной аппаратами других стран.

А Японское агентство аэрокосмических исследований объявило о планах к 2035 г. начать на Луне производство водородного топлива. Завод намечено разместить в районе южного полюса, где предположительно находятся значительные залежи льда. Из него будут получать воду, кислород и водород. Последний компонент можно будет использовать в качестве топлива.

Из документов и заявлений руководства США хорошо известно, что NASA планирует освоение отдельных территорий Луны с перспективой добычи и использования природных ресурсов. В марте 2018 г. агентство утвердило программу Commercial Lunar Payload Services по отправке небольших роботизированных посадочных устройств и вездеходов на южный полюс Луны. На первом этапе предусмотрена доставка на Землю не менее 10 кг лунного грунта, на втором – от 500 кг до 1000 кг.

Таким образом, промышленное освоение Луны выдвигается на первый план среди первоочередных задач космических исследований Солнечной системы, ведущихся в экономически развитых мировых державах.

КЛАД ИЗ КОСМОСА

По своему происхождению лунные природные ресурсы можно разделить на три основные категории. В первую попадают те, которые сформировались в лунных недрах в процессе эволюции. Ко второй относятся вырвавшиеся на поверхность в процессе вулканической активности.

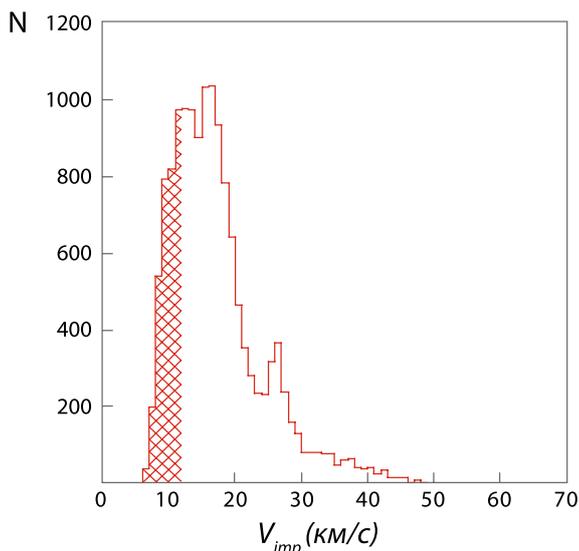


Рис. 1. Статистика распределения скоростей падения астероидов на лунную поверхность

К третьей – ресурсы, занесенные извне в результате выпадения метеороидного вещества, комет и крупных астероидов.

Основные элементы, входящие в состав пород лунной поверхности и представляющие интерес для землян: железо, титан, магний, алюминий, кальций и кремний. Эти элементы играют существенную роль в понимании происхождения и эволюции Луны, а их сочетание может служить указанием на залежи определенных минеральных ресурсов.

Наиболее широким набором минеральных ресурсов на лунной поверхности отличаются места падения астероидов. Чем больше скорость столкновения астероида с Луной, тем больше его вещества поднимается над поверхностью и исчезает в окружающем космическом пространстве (рис. 1). Современные научные данные показывают, что при «медленных» столкновениях вещество астероидов в значительной степени (до 50% массы) остается на лунной поверхности. Таких «медленных» столкновений (со скоростью менее 12 км/с) около четверти.

Снимки лунной поверхности с высоким разрешением, полученные в последние годы, показали реальные примеры таких случаев. На рисунке 2 показан фрагмент кратера, образованного падением «медленного» астероида.

ПОЧЕМ АСТЕРОИД?

По современным данным, 90% от общего числа астероидов являются каменными, и только несколько процентов приходится

на металлические (железо-никелевые) объекты. Но даже в небольшом (диаметром около 1 км и массой 2 млрд тонн) каменном астероиде металлическая фракция составляет примерно 200 млн тонн. Основная часть этой фракции приходится на железо. Малыми составляющими в этом случае являются никель – 30 млн тонн, кобальт – 1.5 млн тонн, а также серебро, золото и платина (всего 7500 т). Рыночная стоимость только этой небольшой части астероида может составить более 150 млрд долл.

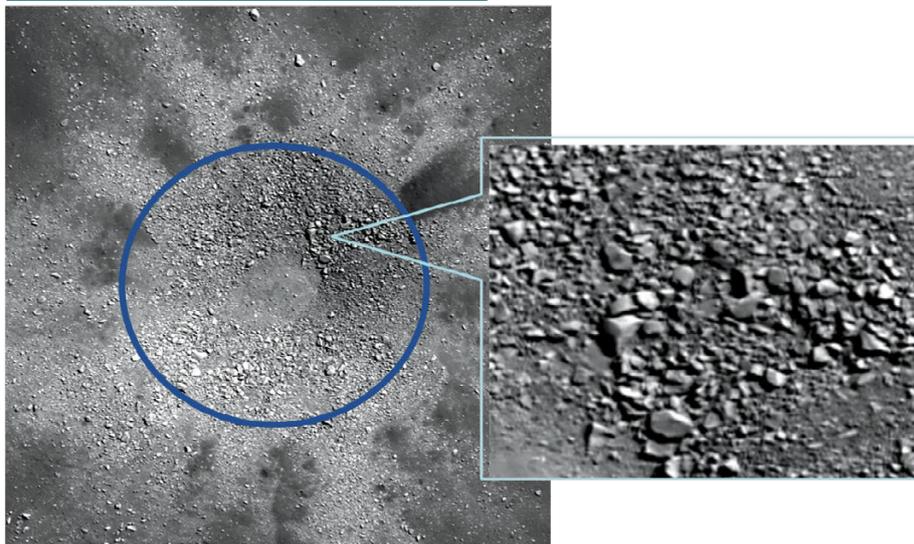
Особое внимание следует обратить на содержание кобальта. На Земле этот металл используется в основном для получения специальных сплавов, обладающих высокой жаропрочностью, сверхтвердостью, устойчивостью перед коррозией и т.д. Промышленное содержание кобальта в земных рудах составляет от долей процента до 4%. Мировые запасы кобальта на сегодня оцениваются величиной около 3 млн тонн. Следовательно, только один каменный астероид километрового диаметра содержит в себе половину всех ресурсов этого металла на Земле.

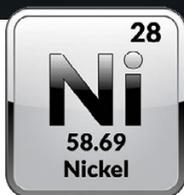
МЕТАЛЛИЧЕСКИЙ ДОРОЖЕ

Еще более перспективным может оказаться освоение металлических астероидов.

На примере Сихоте-Алиньского метеорита (упал на территории Приморского края в СССР в 1947 г.), представлявшего собой 60-тонный осколок металлического астероида, можно судить о природных ресурсах этого типа тел. Метеорит на 94% состоял из железа с незначительными примесями: никеля – 5.4% и кобальта – 0.38%.

Рис. 2. Кратер, образованный падением «медленного» ударника. На врезке показан характер остатков упавшего тела – вещество, раздробленное на мелкие фрагменты. Фото NASA, LRO





Успешное промышленное освоение всего лишь одного небольшого астероида на месте падения на Луну позволит практически полностью отказаться от рудных разработок и мощностей по производству никеля и кобальта на Земле.

Если же металлический астероид имеет поперечник 1 км, то его ресурсы составят: железо – 7 млрд тонн, никель – 1 млрд тонн, кобальт – 500 млн тонн.

При современном уровне добычи руды и производства никеля масса этого металла, содержащаяся в одном относительно небольшом астероиде, соответствует потребностям всего человечества в течение 2000 лет.

То же относится и к кобальту. При сохранении существующего уровня его производства (около 50 000 т в год) естественные запасы кобальта будут исчерпаны за ближайшие 60 лет. Вместе с тем содержание кобальта в одном относительно небольшом километровом металлическом астероиде обеспечит все земные потребности в этом металле на 10 000 лет.

ЛУННЫЙ КАМЕНЬ – МНОГО ПОЛЕЗНОГО!

Наиболее показательным примером попадания на Луну редких и редкоземельных металлов в результате выпадения астероидного вещества являются результаты исследования образца №12013, привезенного в 1969 г. на Землю экипажем «Аполлона-12». На рисунке 3 показан этот фрагмент после лабораторных исследований.

Данный камень лучше всего интерпретировать как сложную породу из угловатых обломков метеоритов двух различных групп (смесь двух полимиктовых брекчий), спекшихся между собой. Одна фракция является черно-однородной без видимых кристаллов, другая – пестрой, серо-белой.

В результате анализа химического состава черного фрагмента выяснилось, что, помимо типичных для лунного вещества элементов, в данном образце обнаружены редкоземельные



Рис. 3. Образец №12013 массой 82,3 г имеет размер около 5 см. Фото из коллекции образцов NASA



Рис. 4. Сравнение снимков одного и того же района лунной поверхности. На снимке, сделанном спустя восемь месяцев (справа), появился ударный кратер диаметром 18 м

составляющие: барий – до 2% веса, ниобий – до 2% веса, цирконий – до 0.22%, хром – до 0.23%, германий – до 0.05%. Наличие подобных включений является однозначным свидетельством привнесения в лунный грунт астероидных составляющих.

Особо следует обратить внимание на относительно высокое содержание ниобия. Он широко применяется для изготовления сверхпроводящих магнитов и сплавов с высокой жароустойчивостью для реактивной авиации и ракетной техники, а также в производстве контейнеров для хранения радиоактивных отходов или установок по их использованию. Из содержащих ниобий сплавов и чистого ниобия сделаны некоторые детали ракет и бортовой аппаратуры искусственных спутников Земли.

Обычное содержание ниобия в земных рудах промышленного значения составляет 2–4%.

НЕИСЧЕРПАЕМЫЕ РЕЗЕРВЫ

Следует отметить, что, в отличие от земных природных запасов, лунные ресурсы постоянно пополняются за счет выпадения метеоритного и астероидного вещества.

На крупномасштабных изображениях, получаемых длиннофокусной камерой искусственного спутника Луны LRO, регулярно обнаруживаются новые ударные кратеры различных размеров. В качестве примера приведено сравнение снимков (рис. 4), полученных 2 декабря 2012 г. (левый) и 27 июля 2013 г. (правый).

Исследователи проанализировали более 14 000 подобных пар изображений. В результате обнаружено 222 новых кратера диаметром от 3 м до 43 м, сформировавшихся за последние семь лет. ■

Окончание следует

