

Колонизация Луны невозможна без укрытий и временных жилищ, необходимых для защиты поселенцев от радиации, низких (до минус 170 градусов ночью) и высоких (до плюс 130 градусов днем) температур. В отличие от Земли, ее спутник лишен плотной атмосферы и магнитного поля, которые служат щитом для нашей планеты.

Чтобы на Луне возвести дома и другие постройки, нужны строительные компоненты, которые с Земли завозить сложно и дорого. Поэтому ученые предложили строить лунные базы из местного материала — реголита, которого там в достатке.

Лунный реголит отдаленно напоминает земной песок: он состоит из обломков лунных пород и минералов размером от нескольких микрометров до нескольких миллиметров в диаметре, стекол, фрагментов метеоритов. Реголит образовался из-за нескольких факторов: резких перепадов температуры, выветривания, извержений, метеоритной бомбардировки. Метеориты врезались в лунную поверхность на протяжении миллиардов лет и разбивали минеральные породы в мельчайшие частицы или зернышки.

В химический состав реголита в основном входят оксид кремния ( $\text{SiO}$ ), оксид железа ( $\text{FeO}$ ), оксид алюминия ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) и некоторые другие вещества. Считается, что он уходит вглубь поверхности на 5-10 метров (кроме некоторых базальтовых равнин, где его толщина ниже).

Исследователи давно доказали, что реголит можно применять как строительный материал для возведения крупномасштабных сооружений. Для производства «кирпичей и досок» из реголита ученые разработали порядка 20 методов, которые имеют свои особенности и недостатки. Во всех этих методах используют различные источники энергии и добавки, разные условия, в которых происходят «приготовления», а также разную продолжительность. Но у них общая цель — добиться затвердевания реголита, то есть на выходе получить прочный и твердый материал.

Команда китайских инженеров под руководством Пенг Фенга (Peng Feng) из Университета Цинхуа изучила все доступные на сегодня способы получения строительных материалов из реголита, описала их минусы и плюсы, а также выявила наиболее эффективные из них. Результаты работы опубликованы в журнале Engineering.

В зависимости от технических особенностей каждого метода, химических процессов, участвующих в получении готового продукта, Фенг и его коллеги разделили все имеющиеся методы на четыре категории:

— Метод реакционного затвердевания (reaction solidification). Процесс чем-то напоминает получение бетона. Частицы реголита соединяются друг с другом посредством реакции с добавками — другими химическими соединениями. Эти соединения нужно будет доставить на Луну. В результате такого процесса образуется твердый материал, в котором реголит составляет 60-95 процентов от общей смеси.

— Метод спекания/плавления (sintering/melting). Предполагает плавление реголита под воздействием высоких температур. Этот способ позволяет получить твердый материал, состоящий полностью из реголита. Однако для его получения потребуется температура свыше 1000 градусов Цельсия, что само по себе может создать трудности и проблемы с энергоснабжением и эксплуатацией оборудования на поверхности Луны.

— Метод связующего затвердевания (bonding solidification). Процесс предполагает использование связующего вещества для «склеивания» частиц реголита. Как и в первом случае (реакционное затвердевание), на выходе получается продукт, содержащий от 65 до 95 процентов реголита. Такой метод требует более низких температур, чем плавление, что делает его безопаснее.

Кроме того, производство реголита этим способом занимает гораздо меньше времени, чем при реакционном затвердевании.

— Метод удержания (confinement). Используется специальная ткань для «удержания» частиц реголита, которая их «скрепляет», при этом какие-либо дополнительные химические связи между частицами не образуются, в отличие от других методов. В результате появляется «реголитовый мешок», который на 99 процентов состоит из реголита. Этот метод требует относительно низких температур и времени, а сформированные компоненты обладают преимуществами при растяжении. Однако такой материал может быть недостаточно прочным.

Фенг и его коллеги разработали количественный метод оценки 8IMEM, основанный на восьми показателях и системе баллов, чтобы понять, какой из четырех способов получения реголита наиболее эффективный. Исследователи учитывали стоимость каждого способа, производительность, безопасность, энергопотребление и потребность в ресурсах.

Метод изоляции («реголитовый мешок») получил наибольшее количество баллов по системе команды Фенга. То есть, по мнению специалистов, из всех четырех способов он оказался самым лучшим — не только наиболее эффективным, но более безопасным и экономически выгодным. Эта технология требует меньшего количества материалов,

оборудования и энергии, а также позволяет получить достаточно крупные строительные компоненты, необходимые для возведения помещений на Луне.

По мнению ученых, результаты их исследования помогут в будущем подобрать правильный метод строительства лунных баз и станут практическим пособием для первых колонистов.