

ОСВОЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ЛУНЫ – ОТ ФАНТАСТИКИ К РЕАЛЬНОСТИ (ПО МАТЕРИАЛАМ ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСОВ)

*С.Н. Гапеев, Н.В. Хозяйкина, А.В. Скобенко, Национальный технический университет
«Днепровская политехника», Украина*

Показаны факторы, которые делают колонизацию поверхности Луны важным этапом экспансии человечества в космическое пространство. Рассмотрены условия, которые придется учитывать колонистам при проектировании, развертывании и эксплуатации лунной базы. Делается вывод о том, какие первоочередные задачи должны быть решены учеными и инженерами для реализации концепции лунной базы. При подготовке статьи использованы материалы интернет-ресурсов.

Как указывает [1], Луна – ближайший к нам естественный спутник и наиболее подходящая стартовая площадка для дальнейшей экспансии человечества в пределах Солнечной системы. В настоящее время интерес к ее изучению снова усилился.

Развитие космической техники неизбежно приведет человечество к тому, что через несколько десятилетий понятие «ближний космос» будет включать и Луну. Вначале пилотируемые космические корабли и орбитальные станции перейдут на более высокие геостационарные орбиты и в окололунное пространство. Следующим шагом будет начало освоения Луны - создание на ее поверхности постоянно действующей обитаемой базы [2].

Уже сегодня уже не стоит вопрос о том, как человеку добраться до Луны, актуальнее ответить на вопрос – как освоить ее поверхность. Разумеется, пока рано говорить о коммерческой выгоды лунных программ, однако, без сомнения, они могут стать хорошим стимулом для развития других космических направлений. Но перед тем, как создавать долгосрочную базу на Луне, необходимо в подробностях изучить лунную «действительность». Сюда входит выбор места поселения (с учетом перепадов температур и работы солнечных панелей), изучение возможности добычи ресурсов, в частности – кислорода, «на месте», решение проблемы лунной пыли и многое другое [1].

Освоение любой экстремальной среды имеет общий сценарий. У человечества уже есть опыт освоения надводной, подводной, полярной, пустынной, подземной и высокогорной сред. Сейчас пришло время всерьез обратить внимание на среду космическую. Как указывает [3], тактика освоения неизведанных пространств складывается из трех этапов:

1. Осторожное изучение и использование уже имеющегося опыта, его пошаговое обновление. То есть до освоения любой среды, в том числе и космической, нужно провести ряд экспериментов.

2. Закрепление в среде путем использования местных ресурсов и строительных материалов вместе с применением актуальных достижений науки и техники.

3. Взаимодействие с осваиваемой средой, то есть обмен ресурсами.

По мнению [3], с чем можно вполне согласиться, сейчас человечество в плане освоения Луны переходит от первого этапа ко второму – созданию первых искусственных сооружений. Такие работы уже велись (лунные программы СССР и США, ряда других стран), и если бы не серия резких исторических трансформаций конца XX – начала XXI века, база на Луне уже могла бы быть реальностью. На данном же этапе программа колонизации отложена до 2025 года [3].

Как указывает [3], для действительного перехода на второй этап освоения Луны необходимо начать строительство. Тема постоянно действующей базы не утрачивает своей популярности, получая свое развитие как в виде сугубо фантастических идей, так и в разработке вполне реализуемых концепций лунной базы.

Авторы [2] задаются вопросами: зачем же людям нужна Луна? Какая от нее может быть польза? Как может помочь нам Луна, если на ней нет ни атмосферы, ни даже маленького озера?

Современная стадия развития человечества сопровождается рядом неблагоприятных

антропогенных воздействий на земную среду. В первую очередь это касается истощения материальных и энергетических запасов. При определенных условиях увеличение производства энергии и добычи полезных ископаемых может нанести непоправимый вред сегодняшней среде обитания человечества. С учетом этих глобальных процессов неизбежно возникнет потребность в исследованиях, связанных с добычей и переработкой лунных ресурсов.

Прежде чем устраивать на Луне поселения, необходимо подумать: как обеспечить ее жителей кислородом и водой? Как наладить добычу жизненно необходимых веществ на месте? [2].

Авторы [2] указывают, что проблема заселения Луны людьми – это, прежде всего, проблема строительства таких лунных жилищ, внутри которых были бы созданы земные условия. Они должны надежно изолировать людей от безвоздушного космического пространства, препятствовать резким колебаниям температуры, защищать от метеоритов и опасных излучений. Для этого отсеки лучше всего помещать в специальные углубления, а сверху засыпать толстым слоем лунного грунта. Упрятанное от враждебной человеку космической среды, лунное жилище будет связано воздухопроводами с оранжереей, расположенной на поверхности Луны. Оранжерея тоже должна быть герметично изолирована от окружающего ее безвоздушного пространства. Она обильно облучается солнечными лучами, и произрастающие в ней растения очищают искусственную атмосферу от углекислоты и насыщают ее кислородом. Со временем на Луне будет налажено производство своих продуктов питания.

Надо подумать и об источниках энергии для лунной базы. Есть источники энергии, действие которых не зависит от времени суток, например ядерные энергоустановки. Решение энергетической проблемы человечество возлагает также на управляемые термоядерные реакции. Одна из таких реакций – слияние ядер дейтерия (тяжелого водорода) и изотопа гелия (гелий-3). Эта реакция совершается при малых затратах и почти полном отсутствии радиоактивных отходов, что исключает опасность радиоактивного заражения окружающей среды [2].

На Земле этот изотоп гелия встречается очень редко. Зато на Луне, приносимый солнечным ветром, он в течение 4 млрд. лет впитывался в лунный грунт. Результаты лабораторного анализа лунного грунта показывают, что в поверхностном слое реголита накопилось порядка 1 млн. т запасов гелия-3. Такого количества ядерного топлива хватило бы на десятки тысяч лет не только для лунных поселений, но и для всего человечества [2].

Луна может стать одним из первых потенциальных источников внеземных природных ресурсов [4]. Она обладает ресурсами полезных ископаемых, достаточными для развертывания и функционирования инфраструктуры лунного производства. Анализ образцов лунной породы показал большое содержание в них кислорода, кремния, железа, титана, алюминия. Практически весь спектр элементов таблицы Менделеева, имеющийся на Земле, присутствует и на Луне, но в разных количественных пропорциях [5].

Авторы [4] отмечают, что самые общие подсчеты показывают, что в лунном карьере размером 100×100 м и глубиной 10 м (объем рыхлого вещества в естественном залегании) содержится значительное количество различных материалов. Не останавливаясь на вопросах технологии извлечения из лунного грунта определенных материалов, можно сказать [4], что такой карьер обеспечит получение до 40 тыс. т кремния, пригодного, например, для изготовления ячеек солнечных батарей, и 9 тыс. т титана для изготовления несущих конструкций высокой прочности и долговечности. Для производства электроарматуры или других элементов космических сооружений на Луне и в окружающем космосе можно получить 15-30 тыс. т алюминия, 5-25 тыс. т железа и некоторое количество магния, кальция, хрома и других химических элементов. Наконец, из того же объема лунного реголита (глобального слоя раздробленных пород) можно экстрагировать 8-90 тыс. т кислорода. Другими газами, необходимыми для осуществления определенных технологических процессов, могут быть имплантированные летучие элементы солнечного ветра (водород, гелий). Приведенные оценки основывались на средних значениях химического состава поверхностных пород Луны. В настоящее время появилась более

современная и более детальная информация о химическом составе лунных образцов, доставленных на Землю [6]. Неожиданным результатом оказалось распространение поверхностных пород с повышенным содержанием титана.

В то время, как на Земле породы содержат в лучшем случае около 1% титана, содержание этого металла в лунных породах варьировалось в пределах от 1 до 10% [4]. Для исследователей до сих пор остается необъяснимым подобное повышенное его содержание в лунных породах. Предполагается, что источником такого химического состава реголитовых пород могут быть процессы, происходившие на ранних стадиях формирования Луны, при этом наличие титана характерно для минерала ильменит, который способствует эффективному поглощению реголитом (лунным грунтом) таких компонентов солнечного ветра, как гелий-3 и водород [4]. Сам же лунный грунт в целом может послужить отличным материалом для получения различных строительных материалов, например, лучших марок бетона, стекла, керамики, волокнистых и кристаллических композитных материалов [4].

Одним из важнейших ресурсов Луны являются открытые в XXI веке залежи водяного льда, который присутствует в полярных областях на дне вечно затененных кратеров. Присутствие на Луне воды облегчает создание системы обеспечения жизнедеятельности обитаемой лунной базы с постоянным присутствием на ней человека. Наличие воды позволяет производить на лунной поверхности компоненты ракетного топлива (кислород и водород) для заправки элементов транспортной системы, что позволит использовать в ее составе многоразовые корабли и комплексы и таким образом существенно повысить ее рентабельность [4].

Естественным источником энергии на лунной орбите является солнечное излучение, максимум мощности которого приходится на видимую часть спектра. Поэтому для его сбора и направления на преобразователь-электрогенератор можно использовать оптические зеркала-концентраторы, отражатели различного типа и др. [4]. Преобразование солнечной световой энергии в электрическую могут обеспечить фотоэлектрические батареи, производство которых станет возможным на Луне из ее ископаемых. Такая энергетика может стать основной для космических объектов, развертываемых и функционирующих на поверхности Луны и в окололунном пространстве [7, 8].

Последние исследования, проведенные учеными из разных стран, позволяют также взглянуть по-новому на концепции лунной колонии. Так, например, как указывают новостные ресурсы [9, 10], на Луне обнаружены тоннели, в которых может разместиться цивилизация. В сообщениях отмечается, что по мнению исследователей, под поверхностью Луны существуют глубокие тоннели, протянувшиеся на десятки километров. К такому выводу пришла группа специалистов из Японии, изучив загадочные крупные дыры, обнаруженные на поверхности спутника Земли еще в 2009 году (рис. 1) [9, 10].

Исследователи проанализировали данные, полученные с помощью японского космического аппарата Kaguya, а также в ходе американской космической программы GRAIL (Gravity Recovery and Interior Laboratory), направленной на изучение гравитационного поля и внутреннего строения Луны. Как оказалось, отверстия представляют собой «входы» в подземные тоннели. Эти пустоты, по всей вероятности, сформировались в далеком прошлом под влиянием неких естественных процессов, природа которых ученым до сих пор ясна не до конца. На Земле подобное чаще всего происходит, если лава, первоначально занимающая большое пространство, остывает и «сжимается», оставляя свободное пространство.

Авторы заметок [9 и 10] указывают, что на Земле тоже существуют аналогичные подземные образования, которые возникают, когда магма охлаждается и постепенно сжимается, в итоге образуя пустое пространство. Сегодня, конечно, нельзя быть на 100% уверенным, что те пустоты, которые астрономы нашли на Луне – это именно лавовые образования. Как бы то ни было, если разведывательные миссии подтвердят, что на спутнике Земли и в самом деле есть глубокие подземные туннели, то в будущем они могут стать основой для создания первых лунных колониальных поселений и научно-исследовательских центров.

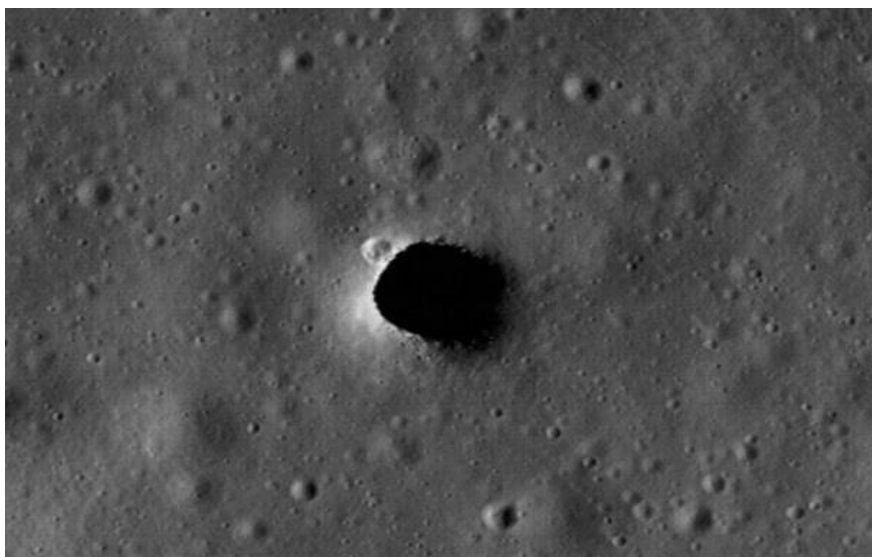


Рис. 1. «Дыра» на лунной поверхности, которая может вести к лунным тоннелям [10]

Специалисты даже не исключают, что в будущем обнаруженные тоннели можно было бы использовать при строительстве первых поселений человека на Луне. Многие вполне допускают, что однажды подобные «лунные базы» имеют все шансы стать реальностью.

Постройки баз внутри тоннелей помогла бы решить ряд вопросов, стоящих на пути воплощения подобных проектов - в частности, под поверхностью космонавтов было бы проще защитить от космической радиации и резких перепадов температуры. Достичь того же на поверхности весьма затруднительно, поскольку у Луны, в отличие от Земли, отсутствует магнитное поле и почти нет атмосферы.

Свой доклад ученые представили в ходе конференции Lunar and Planetary Science, проходящей в Техасе. По их словам, протяженность обнаруженных тоннелей может исчисляться в десятках километров. В дальнейшем специалисты планируют продолжить собирать информацию о том, куда ведут «лунные дыры».

По мнению ряда исследователей, подземные города на Луне могут стать реальностью в будущем, как указывают авторы статьи [11].

В 2012 году на орбите Луны работала американская миссия GRAIL, состоящая из двух орбитальных зондов. Работа этих аппаратов позволила ученым построить высококачественную подробную гравитационную карту Луны. Последний анализ данных, собранных зондами-близнецами, позволяет предположить, что на небольшой глубине под поверхностью Луны сохранились полые герметичные лавовые трубки, диаметр которых может достигать одного километра и более. В этих полостях люди могли бы создать атмосферу и разместить целые города, защищенные вышележащими породами от радиации, метеоритной угрозы и резких перепадов температур.

Исследование было проведено учеными из Университета Пердью и представлено на Конференции по лунным и планетарным исследованиям, проходившей 16-20 марта. Как известно, в прошлом спутник Земли проявлял тектоническую активность. На Луне существовали не только землетрясения, но и вулканы, из которых на поверхность извергалась лава. Заслуженный профессор Университета Пердью Джей Мелош утверждает, что по краям лавовых потоков горячее вещество, взаимодействуя с холодными породами, застывало и превращалось в твердую корку. Когда извержение вулкана прекращалось, оставшаяся лава постепенно высыхалась, стягиваясь к внешним краям потока и образуя в его центре тоннель.

Еще одно исследование, проведенное в том же университете аспирантом Дэвидом Блэром, утверждает, что полые лавовые тоннели диаметром до пяти километров способны сохранять свою структуру в лунных условиях. «Это было бы невозможно на Земле, но лунная гравитация значительно ниже. Кроме того, лунные породы, в отличие от земных, не подвержены эрозии».

– заявляет Блэр. – «Теоретически, большие лавовые трубки – достаточно крупные, чтобы вместить целый город – могут сохраняться на Луне» (рис. 2) [12].

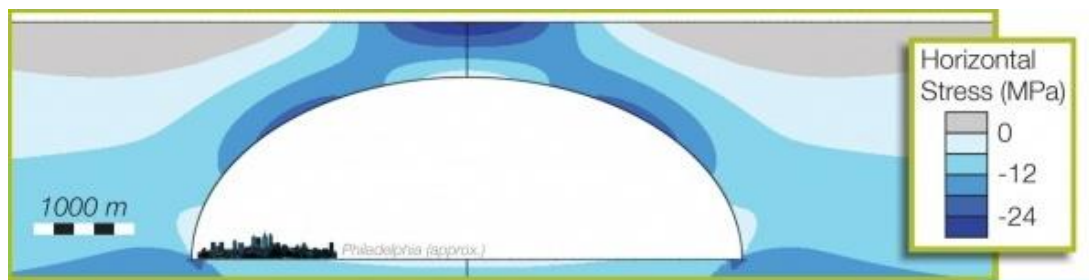


Рис. 2. Город Филадельфия, расположенный внутри лунной лавовой трубки, иллюстрирует, насколько огромны эти подповерхностные объекты [12-14]

Авторы [15] также поддерживают идею о том, что лунная колония должна быть подземной. Правда, здесь лунную колонию предлагают засыпать размещать либо в искусственных полостях (если удастся решить техническую проблему создания способных на строительство таких котлованов роботизированных горных машин), либо попросту засыпая некие конструкции, из которых будут построены здания и модули колонии, реголитом для создания тепловой и радиационной защиты. Правда, и в этом случае без строительных роботов не обойтись, а их на сегодняшний день пока нет.

Авторы [16] анализируют плюсы и минусы колонизации Луны. Они справедливо утверждают, что размещение колонии на космическом объекте дело чрезвычайно сложное (рис. 3). Специалисты должны учесть огромное количество самых разных факторов. Наиболее важный из них – защита от космического излучения. Нельзя сбрасывать со счётов и силу притяжения, которая на планетах и спутниках кардинально отличается от земной. Так, на Луне она равна 1/6 Земли. Скажется ли такое различие на здоровье человека, если он проживёт годы на лунной поверхности? Ответа на этот вопрос пока нет.

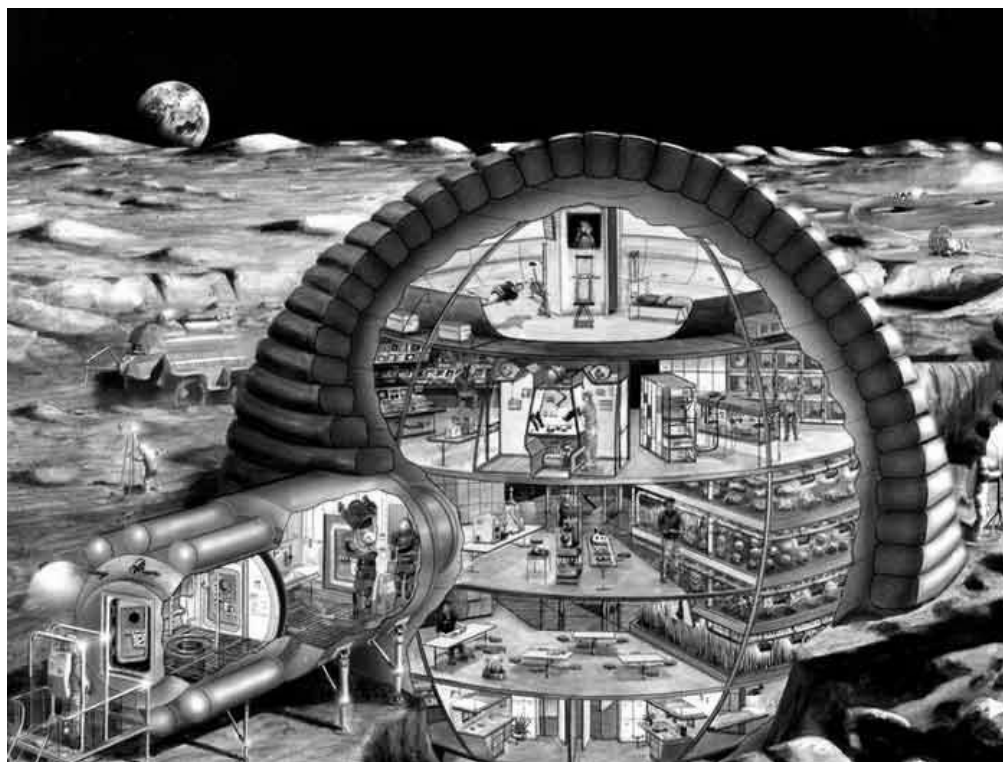


Рис. 3. Производственный и жилой модуль на Луне, разделенный на уровни и отсеки [16]

Авторы [16] указывают на следующие плюсы колонизации: «Если разместить на ней колонию, то она может стать местом для запуска ракет с местным топливом. Запускать ракеты с Луны гораздо удобнее, чем с Земли из-за низкой гравитации и, следовательно, более низкой скорости вылета.

Луна находится рядом с Землёй, поэтому время транзита короткое. Это позволит быстро доставлять запасные части в колонию и позволит людям быстро переместиться на Землю, если возникнет чрезвычайная ситуация.

Живя на спутнике, можно проверить состояние здоровья людей, существующих в условиях низкой гравитации. Данные результаты будут использованы впоследствии при заселении более отдалённых космических тел.

Большое значение имеет и психологический фактор. В небе Луны Земля выглядит большим шаром, который по яркости в 60 раз превышает яркость Луны, когда смотришь на неё с Земли. Это создаст у людей чувство уверенности. Они будут осознавать, что не брошены в космосе, так как их родная голубая планета находится совсем рядом».

Рассматривая минусы присутствия человека на Луне, авторы [16] отмечают: «Сразу надо отметить длинную лунную ночь. Она будет препятствовать использованию солнечной энергии. Не надо также забывать про экстремальные температуры от минус 178 градусов по Цельсию до плюс 127 градусов по Цельсию. В то же время на спутнике есть пики вечного света, находящиеся на лунном северном полюсе. Он постоянно купается в солнечном свете. Области вблизи полюсов светятся большую часть времени. Это потребует создания единой энергосистемы.

На Луне мало азота и водорода, также истощается углерод, образуя летучие оксиды. В то же время водород содержится в коре спутника. Летучие вещества, содержащие углерод и азот, находятся во льду. Нужно разрабатывать технологии по добыванию этих веществ или импортировать их из какого-либо стороннего источника для поддержания жизни и промышленных процессов. Переработка летучих веществ ограничит темпы роста колонии и поставит её в зависимость от импорта.

Людам, живущим на Луне, придётся защищать себя от космических лучей и протонного воздействия солнечного ветра. Жилые и промышленные помещения защитит лунный щебень, а вот работа вне помещений будет сопряжена с большим риском.

На спутнике Земли нет атмосферы, а поэтому нет никакой защиты от метеоритов. Даже мелкие камушки и пыль попадают на лунную поверхность. Они могут повредить недостаточно защищённые конструкции. Что касается лунной пыли, то она может оказаться токсичной.

Колонизация Луны предусматривает выращивание на ней собственных урожаев. Но здесь придётся столкнуться с длинной лунной ночью, которая длится 354 часа, экстремальными изменениями температур, солнечными вспышками, плохой почвой и отсутствием насекомых для опыления. Растения придётся выращивать в закрытых камерах с 354-часовым светом и 354-часовым тёмным циклом. То есть можно утверждать, что у лунного сельского хозяйства будет много проблем».

В этой же статье [16] дается краткий анализ условий жизни и деятельности будущей лунной колонии, также рассматривая подповерхностную лунную базу как один из наиболее рациональных вариантов: «Средняя температура на поверхности равна минус 5 градусам по Цельсию. Дневной период (около 354 часов) имеет среднюю температуру плюс 107 градусов по Цельсию. Ночной период (354 часа) характеризуется средней температурой минус 153 градуса по Цельсию. А вот под землёй температура держится на отметке минус 23 градуса по Цельсию.

С учётом всего этого возникает вопрос: где люди будут жить и работать на Луне? Тут существует несколько вариантов. Имеют право на жизнь проекты по задействованию лунных лавовых трубок. Любая такая неповреждённая трубка может стать надёжной защитой от окружающей среды, ведь она выдерживает испытания миллиардами лет.

Предлагается также построить подземную лунную колонию. Она будет полностью закрытой, за исключением нескольких выходов на поверхность. В идеале можно построить целый подземный город с искусственным солнечным светом и надёжной изоляцией от

радиационного облучения. Такая колонизация Луны кажется наиболее перспективной.

Есть варианты о возведении на поверхности специальных модулей, покрытых лунным реголитом. Это уникальная смесь кремнезёма и железосодержащих соединений, которые можно слить при высокой температуре в стеклообразное твёрдое вещество. В результате получится лунное стекло. Из него можно изготавливать лунные кирпичи, а из них делать жёсткие конструкции и покрывать их металлом для удержания влаги. Базу на поверхности лучше всего строить в кратере, что обеспечит частичную защиту от солнечного излучения и микрометеоритов».

В качестве наиболее рациональных источников энергии в [16] также называется ядерная энергия и энергия Солнца. В конце статьи авторы, на наш взгляд, делают очень важный вывод: «Чтобы колонизация Луны не давала сбой, она должна стремиться к самодостаточности. Именно на земном спутнике нужно добывать и перерабатывать необходимые для жизнедеятельности лунные породы. Оборудование, продукты питания, одежду и другие необходимые для жизни вещи тоже следует производить на Луне.

Но самое главное, спутник Земли в перспективе должен стать базой для межпланетных исследований. С него чрезвычайно удобно наблюдать за космосом и запускать звёздные корабли к планетам Солнечной системы. Вполне возможно, что именно на Луне будут созданы тренировочные и образовательные центры для астронавтов. Получив необходимые знания и навыки, те отправятся на Марс и к спутникам газовых гигантов. А дальше наступит черёд покорения бескрайних космических пространств и далёких галактик, которые сейчас мы видим с Земли лишь в виде крошечных туманностей».

Сайт [17] рассматривает типовой проект лунной базы (рис 4), который, по мнению авторов следует рассматривать как «созданное герметичное углубление под поверхностью Луны размерами несколько десятков километров в длину и ширину и порядка 10 км в высоту (таким образом, у жителей такого пространства не будет поводов для клаустрофобии). Строить же нормальный город на самой поверхности Луны (с предварительным созданием на Луне атмосферы) невозможно – слабая сила тяжести Луны не удержит атмосферу.

Общим принципом при планировании строительства лунной базы есть смысл представлять ее как «большой наукоград» - во всех смыслах этого слова: с одной стороны, в понимании этого слова с точки зрения нынешнего законодательства как «инновационно-внедренческий комплекс» - то есть когда разрабатываются перспективные научные технологии и им на месте находится практическое применение. Лунная база создается для добычи гелия-3 для термоядерной энергетики, а также для отработки технологий, для которых нужны специфические лунные условия (вакуум и малая сила тяжести) – большой комплекс ускорительной техники, астрономические обсерватории и пр.».



Рис. 4. Типовой проект лунной базы [17]

Выводы. Естественные лунные условия позволяют на основе земных экосистем создавать не только оранжереи и другие биологические компоненты среды обитания, необходимые для

комфортной жизнедеятельности человека, но и проводить широкий спектр фундаментальных исследований по разработке и созданию искусственных экосистем. И, пожалуй, уже своевременна постановка вопроса о создании гарантий будущего существования человека как биологического вида и выживания привычных нам форм земной жизни. Представляется целесообразным проведение планомерной работы по накоплению опыта жизнедеятельности людей вне Земли, по созданию во внеземных условиях искусственных биосфер. Изучение среды обитания человека и функционирования технологических комплексов Луна, обладая массой, неспособной удерживать значительное количество газов, окружена сильно разреженной атмосферой. Поэтому для обеспечения жизнедеятельности экипажей лунных баз и для организации ряда технологических производств необходимо изучение состава атмосферы и процессов дегазации как лунных пород, так и материалов искусственных сооружений как на поверхности Луны, так и под поверхностью [4].

Украина как космическая держава не остается в стороне от решения озвученных перспективных задач. Украинская космическая отрасль имеет полный комплекс технологий для обеспечения длительных космических экспедиций по освоению тел Солнечной системы и может занять лидирующие позиции в организации полетов на Луну.

«Украина владеет сегодня достаточными технологиями, которые позволяют изготовить все компоненты для такого проекта (полета на Марс – ред.). Но мы предложили полгода-год тому назад проект создания экспериментальной базы на Луне», – так по словам собственного корреспондента Укринформ [18] высказался генеральный директор Конструкторского бюро «Южное» Александр Дегтярев, находясь на космодроме NASA, где состоялся запуск ракетносителя Antares. Он назвал проект полета на Луну более реалистичным для воплощения в близком будущем, чем далекая экспедиция на Марс. По мнению А. Дегтярева, результатов, получение которых закладывается в марсианский проект, значительно быстрее и дешевле можно достичь на Луне, решая задачи жизне-, ресурс- и энергообеспечения, характерные и для других планет Солнечной системы. Именно с Луны, по мнению генерального конструктора КБ «Южное», человечеству следует начинать учиться осваивать другие планеты.

Список литературы

1. [Исследования Луны // Веб-портал «GALSPACE» \[Электронный ресурс\].– Режим доступа: http://galspace.spb.ru/nature.file/luna.html \(дата обращения 15.08.2018\).](http://galspace.spb.ru/nature.file/luna.html)– Название с экрана.
2. [Проблемы освоения Луны // Веб-портал «Просто о сложном» \[Электронный ресурс\].– Режим доступа: http://prosto-o-slognom.ru/astronomia/24.html \(дата обращения 15.08.2018\).](http://prosto-o-slognom.ru/astronomia/24.html)– Название с экрана.
3. [Освоение Луны: от фантастических сценариев к реальным проектам // Рамблер-новости \[Интернет-портал\] \[Электронный ресурс\].– Режим доступа: https://news.rambler.ru/scitech/36764036-osvoenie-luny-ot-fantasticheskikh-stsenariiev-k-realnym-proektam/ \(дата обращения 15.08.2018\).](https://news.rambler.ru/scitech/36764036-osvoenie-luny-ot-fantasticheskikh-stsenariiev-k-realnym-proektam/)– Название с экрана.
4. Использование ресурсов луны для исследования и освоения солнечной системы в XXI веке / Брюханов Н.А., Легостаев В.П., Лобыкин А.А., Лопота В.А., Сизенцев Г.А., Синявский В.В., и др. // Космическая техника и технологии.– №1(4).– 2014.– С.3-14. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.energia.ru/ktt/archive/2014/01-2014/01-01.pdf> . (дата обращения 15.08.2018).
5. Шевченко В.В. Лунная база / В.В. Шевченко // Новое в жизни, науке, технике. Сер. Космонавтика и астрономия.– М.: Знание, 1991. – № 6.
6. Moon Packed with Precious Titanium, NASA Probe Finds // Веб-портал «Space.com» [Электронный ресурс].– Режим доступа: <https://www.space.com/13247-moon-map-lunar-titanium.html> (дата обращения 15.08.2018).– Название с экрана.

7. Крисвелл Д.Р. Доставка солнечной энергии с Луны как фактор устойчивого развития экономики двух планет / Д.Р. Крисвелл // *Астрономический вестник*. – 1999. – Т. 33. – № 5. – С.406–414.
8. Лобыкин А.А., Щукин А.Н. Мотивы пилотируемой космонавтики / А.А. Лобыкин, А.Н. Щукин // Сб. тезисов 1-й совместной конференции Международной академии астронавтики и Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского, Королев, 21-23 мая 2008 г. – Изд-во РАКЦ. –2008. – С.15–16.
9. На Луне обнаружены невероятные тоннели, в которых может разместиться цивилизация // «Сегодня» [Интернет-портал] [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.segodnya.ua/lifestyle/science/na-lune-obnaruzheny-neveroyatnye-tonneli-v-kotoryh-mozhet-razmestitsya-civilizaciya-1142957.html> (дата обращения 15.08.2018).– Название с экрана.
10. На Луне нашли туннели // «Корреспондент.net» [Интернет-портал] [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://korrespondent.net/tech/3832050-na-lune-nashly-tunnely> (дата обращения 15.08.2018).– Название с экрана.
11. На Луне могут существовать крупные подземные туннели // Портал «Космическая лента» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://kosmolenta.com/index.php/572-2015-04-03-lunar-tun> (дата обращения 15.08.2018).– Название с экрана.
12. Lunar Shelter: Moon Caves Could Protect Astronauts // Веб-портал «Space.com» [Электронный ресурс].– Режим доступа: <https://www.space.com/32795-moon-lava-tubes-protect-astronauts.html> (дата обращения 15.08.2018).– Название с экрана.
13. City-Size Lunar Lava Tube Could House Future Astronaut Residents// Веб-портал «Space.com» [Электронный ресурс].– Режим доступа: <https://www.space.com/38527-moon-lava-tube-could-shelter-astronauts.html> (дата обращения 15.08.2018).– Название с экрана.
14. Lunar Lava Tubes Might Make Underground Moon Cities Possible// Веб-портал «Space.com» [Электронный ресурс].– Режим доступа: <https://www.space.com/28894-moon-lava-tubes-underground-cities.html> (дата обращения 15.08.2018).– Название с экрана.
15. Лунная колония должна быть подземной // Hi-News.ru – Новости высоких технологий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://hi-news.ru/space/lunnaya-koloniya-dolzha-byt-podzemnoj.html> (дата обращения 15.08.2018).– Название с экрана.
16. Космос и его тайны. Колонизация Луны // Тайны. Загадки. Факты [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.factruz.ru/space_mistry-2/colonization-moon.htm (дата обращения 15.08.2018).– Название с экрана.
17. Типовой проект лунной базы [Электронный ресурс]: [Веб-сайт].– Электронные данные.– Режим доступа: <http://element114.narod.ru/Education/edu5astr/Luna/baza2.html> (дата обращения 15.08.2018).– Название с экрана.
18. У Украины есть все технологии, чтобы обеспечить полеты на Луну – Дегтярев // «Укринформ» [Интернет-портал] [Электронный ресурс].– Режим доступа: <https://www.ukrinform.ru/rubric-technology/2103319-u-ukrainy-est-vse-tehnologii-ctoby-obespecit-polety-na-lunu-degtarev.html> (дата обращения 15.08.2018).– Название с экрана.