

МЕЖДУНАРОДНАЯ ОБИТАЕМАЯ ЛУННАЯ БАЗА: НАЧАЛО XXI ВЕКА В КОСМОСЕ

Харлан Д.Смит, Александр А.Гурштейн, Уэнделл Менделл

Следующее поколение космических кораблей позволит человеку выйти далеко за пределы земного гравитационного поля. Честолюбивые предприятия, такие как поселения на Луне, должны значительно увеличить масштабы и важность конструктивного международного сотрудничества. В настоящее время наиболее приоритетной областью для длительной кооперации в космосе являются научные исследования. Достижение высокого уровня кооперации в главных областях будущей деятельности человечества, таких, как реализация постоянного присутствия человека на Марсе, будет требовать построения схем взаимодействия и мер доверия через серию программ увеличивающейся сложности.

В данной статье мы представляем часть аргументов в пользу развития лунных баз с детальным рассмотрением астрономических возможностей, которые они представляют. Обсуждаются аргументы в пользу международной кооперации и предлагаются шаги, которые следовало бы предпринять в ближайшие годы для того, чтобы заложить исходный уровень крупномасштабного сотрудничества в космосе.

Харлан Дж. Смит работает на астрономическом факультете Техасского университета в Остине и в Институте лунно-планетных исследований в Хьюстоне, Александр Гурштейн работает в Российской академии Наук в Москве, а Уэнделл Менделл - в Джонстоновском центре космических полетов в Хьюстоне.

ВВЕДЕНИЕ

После трех десятилетий пилотируемых космических полетов не вызывает серьезных сомнений ответ на основной вопрос: смогут ли люди находиться в космосе. Реальные вопросы таковы: кто, когда, почему, сколько это будет стоить, и каково будет продвижение вперед в этом направлении.

Сейчас существуют достаточно надежные транспортные системы. Следующим логическим шагом в расширении человеческих возможностей следует назвать несколько типов орбитальных станций. Советский Союз лидирует в этом направлении благодаря станции "Мир", и есть основания полагать, что к концу этого века будет, наконец, построена еще одна дополнительная станция при участии США, Европейского Космического Агенства (ЕКА) и Японии.

Уже начато планирование дальнейшего развития пилотируемых космических полетов. Для первой половины следующего века остаются только две серьезных возможности - Луна или Марс.

Уже более века мечтатели обсуждали полеты к Луне. Мечта стала реальностью с использованием Королевым советских баллистических ракет для первого беспилотного полета автоматических станций к Луне и

с практически одновременным развитием аналогичных программ в США. Эти исследования были с энтузиазмом встречены международной научной общественностью и достигли кульминации после шести полетов пилотируемых космических кораблей "Аполлон" к Луне в период между 1969 и 1972 годами. Однако, даже во время выполнения программы "Аполлон", ее оппоненты стали ставить под сомнение целесообразность пилотируемых полетов к Луне, и даже выбор Луны как цели дальнейших научных исследований. Так, например, астрофизик Фред Хойл в своей книге "Галактики, Ядра и Квазары" выразил сомнения в разумности расхода больших сумм на изучение "груды камней, которую представляет собой Луна".

В начале 80-х годов интерес к Луне несомненно ослаб как в США, так и в Советском Союзе. Недавние усилия и достижения в космосе были связаны с Венерой, Марсом, кометой Галлея, внешними планетами-гигантами, а также их спутниками. В частности, исследование кометы Галлея стимулировало плодотворное взаимодействие в рамках крупномасштабного международного космического сотрудничества.

Совсем недавно, однако, из-за заметного прогресса в продолжительных орбитальных пилотируемых полетах Советского Сою-

за и возобновления американской космической программы "Шаттл" возобновились обсуждения, которые привлекали большое внимание десятилетия назад, перед принятием в США космической программы "Шаттл". В те времена посещаемая лунная база и/или пилотируемый полет к Марсу рассматривались как разумные преемники программы "Аполлон".

Аргументы в пользу изучения Марса очень серьезны. Такая программа представляет очень серьезный вызов. Марс - это планета с множеством загадочных тайн. Марс представляет собой наиболее простое, но, тем не менее, весьма необычное место для человека, на котором можно будет создать крупные поселения, и в котором имеется полный набор сырьевых материалов, необходимых для создания долговременных поселений. Благодаря эффективной поддержке, инициированной главным образом американским планетарным обществом, и поддерживаемой в других странах, идея скорой международной пилотируемой экспедиции к Марсу приобрела значительный импульс и определенный политический отклик. Внимание к этому предложению было привлечено на встрече Генерального секретаря Горбачева и Президента Рейгана в Москве летом 1988 года.

Однако, проблемы пилотируемых экспедиций на Марс даже в пределах ближайшего десятилетия будут весьма серьезными. Они связаны с такими вопросами, как большие расстояния до Марса, сравнительно примитивное состояние космической технологии, крайний риск данного предприятия, ограниченное научное значение первоначальных полетов (по сравнению с богатой глобальной и локальной научной информацией, уже полученной автоматическими спутниками Марса, посадочными станциями и той, которая может быть получена на проектируемых аппаратах для возврата образцов грунта), а также исключительно высокую стоимость вместе с необходимостью создания новых дорогостоящих типов оборудования, расходы на которые окупятся очень скоро. Следует напомнить также, что Марс даже на наименьшем расстоянии находится в 100 раз дальше Луны. Из этого сразу же вытекают требования к продолжительности полета. Луны можно достичь за несколько дней, тогда как экспедиция к Марсу может занять от одного года до нескольких лет. Несмотря на небольшую разницу в энергетических затратах, поскольку любое космическое путешествие сводится к простому перемещению по орбите, стоимость полета к Марсу будет в несколько раз больше, чем для полета к Луне, а затраты на жизнеобеспечение и обе-

спечение надежности и безопасности будут по крайней мере на порядок выше. Даже средства связи резко отличны. Распространение сигнала к Луне приведет к задержке только на три секунды; для Марса промежуток времени между вопросом и ответом будет лежать в пределах от пяти минут до получаса. Медицинские или другие нештатные ситуации, с которыми легко можно справиться на Луне, могут оказаться трагическими на Марсе, где астронавты будут предоставлены самим себе в течение примерно трех лет. Многие из представленных выше соображений были представлены в отчете С.Райд¹.

Несмотря на то, что мы поддерживаем активность человека на Марсе как долговременную задачу, мы считаем, что выбор пилотируемой марсианской программы в качестве непосредственной цели не только преждевременен, но и может привести к созданию ситуации, в которой высокие расходы, всегда возможные неудачи, отсутствие экономического эффекта и способный возникнуть даже при возможном успехе законный вопрос "Что делать дальше?" вызовут положение дел, сходного с возникшей после выполнения американской программы "Аполлон". Установление такого положения может значительно ослабить долговременную космическую активность, особенно, если не будет создана соответствующая инфраструктура для обеспечения широкого ряда космических функций. Несмотря на то, что такое развитие событий наиболее вероятно для США, то же самое может происходить и в СССР под влиянием общественного мнения и желания потратить как можно больше денег на земные проблемы, которое может усиливаться в течение нескольких следующих десятилетий. Решение Президента Кеннеди о проведении пилотируемого полета к Луне было не более чем политическим шагом, не имеющим отношения к оптимальным техническим разработкам и экономичному подходу к освоению человеком космоса. За такой подход пришлось дорого заплатить, и мы не должны способствовать повторению такой ситуации с Марсом.

Поэтому мы считаем, что обитаемые лунные базы должны стать центром нового международного сотрудничества в космосе. Такой подход будет иметь определенный смысл, даже если полет к Марсу останется одной из главных задач. Необходимо очень много дополнительных усилий для того, чтобы понять, каким образом можно будет создать эффективные или даже прибыльные долговременные системы жизнеобеспечения при условиях относительной низкой гравитации и фактического отсутствия атмосферы.

ры. Луна - это наиболее подходящее место для того, чтобы приобрести необходимый опыт перед отправкой человека на Марс, где они должны использовать свои навыки для выживания на поверхности в течение значительного времени перед осуществлением длительного полета. Мы утверждаем, что такой опыт можно будет приобрести только на лунной поверхности.

Кроме того, есть много причин, по которым исследование Луны будет иметь самостоятельный интерес.

ФУНКЦИИ ОБИТАЕМЫХ ЛУННЫХ БАЗ

Исследование Луны. Изучение поверхности Луны, которая не была подвержена разрушающему воздействию атмосферы, гидросферы и биосферы, важны для нашего понимания происхождения и развития солнечной системы. Геологи, редко получающие возможность изучения древних земных горных пород, могут с трудом проследить за эволюционным развитием Земли в период ранее одного или двух последних миллиардов лет, после получения первых образцов лунных пород смогли получить информацию о событиях, которые имели место в солнечной системе три-четыре миллиарда лет тому назад. Некоторые лунные области с достаточно усложненной геологией могут хорошо представлять, согласно современным теориям, период формирования сегодняшней земной коры.

Последние три десятилетия лунные исследования, включающие важные астрономические, геохимические и геофизические измерения, привели к важным научным результатам; среди них можно выделить доказательство того, что возраст Земли и Луны примерно одинаков; открытие асимметрии между ближней и дальней стороной Луны; отсутствие общего двухполюсного магнитного поля; отождествление базальтовых пород в морских и поверхностных горных участках; обнаружение больших областей концентрации масс ("масконов") и проявление следов древнего магнетизма в лунных горных породах.

Сейчас известно, что раннее развитие Луны было схоже с земным, и этот ключевой факт лежит в основе современной космогонической модели происхождения и развития всей солнечной системы. В течение тысячелетий истории человечества единственным объектом приложения наук о планетах была только сама Земля. Отсутствие перспектив исследования других планет не позволяло ученым создать общую теорию Земли, которая могла бы быть проверена на других объектах. Но сегодня ситуация решительно

изменилась. Современная информация по Луне, соединенная с результатами по исследованию других планет, способствует развитию дисциплин сравнительной планетологии, которые должны помочь нам обнаружить и использовать природные ресурсы Земли, поддерживая состояние существующей окружающей среды.

Научные установки на поверхности Луны, управляемые автоматически, или астронавтами на лунных базах, представят нам первую возможность для обобщения наших идей о планетных явлениях посредством длительного наблюдения, дополняемого уникальной возможностью человека реагировать на неожиданные результаты и явления. Эти научные установки могут быть использованы также для изучения Земли, Солнца, других объектов солнечной системы и межпланетной среды; анализа космологических проблем и проведения других астрофизических наблюдений, и, кроме того, зондирования лунной поверхности.

Первоначальное исследование Луны должно способствовать лучшему пониманию относительной роли эндогенных и экзогенных факторов в последовательных этапах формирования и развития тела планеты. Оно позволит применить к решению селенологических проблем те же исследовательские методы, которые используются в полевых геологических, геофизических и геохимических исследованиях. Информация, полученная в данной области, может затем быть экстраполирована на большую часть лунной поверхности с помощью орбитальных съемок, методов электромагнитного и гамма-лучевого дистанционного зондирования, геофизических измерений и картографирования других локальных особенностей.

Образцы лунного грунта с глубины, полученные посредством глубокого бурения, должны стать одной из главных задач научного исследования Луны. Возможной целью такой работы может стать извлечение образцов с глубины в один-два километра на нескольких участках. Это потребует развития новых технологий для сухого бурения в вакууме и извлечения срезов, некоторые из которых могут найти применение и на Земле.

Многие из представленных технологий будут играть решающую роль в освоении лунных ресурсов для возможного коммерческого применения. Среди тех направлений, которые смогут иметь долговременный потенциал развития, следует отметить извлечение кислорода из лунных пород для использования его в качестве ракетного топлива, производство металлов для космических конструкций, а также извлечение ге-

лия-3 для применения в качестве топлива для термоядерных реакторов на Земле с низким уровнем вредного влияния на окружающую среду. Слабое гравитационное притяжение Луны и отсутствие атмосферы в принципе облегчают вывод вещества в космос по сравнению с его выводом с земной поверхности.

Окружающая среда Луны с точки зрения астрономии. Обсуждавшимся выше вопросам и связанным с ним проблемам посвящена обширная литература (см., например^{2,3}). Однако, главное применение лунных баз – их использование в качестве астрономических обсерваторий – все еще не нашло достаточно широкого отражения. Из-за наших собственных научных интересов и из-за большого потенциального значения для развития науки в двадцать первом столетии мы решили рассмотреть этот вопрос в качестве иллюстрации возможной эволюции науки и техники в обозримом будущем. Преимущества лунных обсерваторий рассматривались также в статье Бернса с соавторами в журнале "Scientific American"⁴.

Наиболее важные характеристики лунной среды с точки зрения астрономии таковы:

Сверхвысокий вакуум. Общая масса лунной атмосферы примерно сравнима с массой воздуха в среднем кинотеатре⁵. Если распределить эту массу над всей лунной поверхностью, то плотность атмосферы окажется сравнимой с наилучшим вакуумом, достижимым в земных лабораториях. Такая величина плотности означает, что для всех практических целей лунная поверхность находится в свободном пространстве, что позволяет проводить беспрепятственные наблюдения на всех длинах волн, кроме, может быть, самых низких используемых в радиоастрономии частот. Телескопы смогут работать с полной пространственной разрешающей способностью. Можно будет создать радио, инфракрасные и оптические интерферометры с длиной базы до десяти или даже до ста километров. Отсутствие атмосферы приводит к тому, что экспонируемые оптические поверхности будут сохранять свою полную эффективность в течение длительного времени, ограниченного только воздействием микрометеоритов.

Устойчивая сплошная поверхность. Приборы в свободном пространстве можно ориентировать с очень высокой точностью, но сделать это довольно трудно. Это один из принципиальных факторов, делающий столь дорогими создание и эксплуатацию космических телескопов, и существенно сокращающий эффективное время наблюдений, воздействие которого будет возрастать при

увеличении размеров инструментов. Напротив, Луна представляет сплошную жесткую платформу с эффективной безграничной инерцией, позволяющей использовать обычные и сравнительно дешевые установки земного типа. Их жесткость и низкая сейсмическая активность Луны (10^{-8} от земной) сравнительно дешево обеспечит стабильность элементов интерферометров даже при максимальной длине базы.

Темное небо. Луна быть должна практически свободна от свечения атмосферы (включая аналоги полярных сияний), которое устанавливает предел минимальной яркости земного неба в самые темные ночи. Отсутствие атмосферного рассеяния означает, что наблюдения с максимальной чувствительностью могут выполняться даже в периоды "полной Земли", которая в 100 раз ярче полной Луны на земном небе. Более того, при достаточно эффективной защите телескопа от боковой засветки наблюдения с максимальной чувствительностью можно будет проводить и в дневное время. При наилучших условиях земные и орбитальные околоземные телескопы могут проводить наблюдения лишь в течение 25 процентов всего времени, тогда как их лунные аналоги редко будут прекращать работу.

Холодное небо. Диапазон теплового инфракрасного излучения, только сейчас серьезно осваиваемый астрономами, представляет собой одну из наиболее важных областей спектра. Инфракрасное излучение с большой длиной волны генерируется каждым объектом, температура которого отличается от абсолютного нуля, и интенсивность этого излучения очень быстро увеличивается с ростом температуры. Наблюдения на таких длинах волн похожи на попытку выполнить наблюдения в видимом диапазоне с телескопом, каждый элемент которого будет излучать яркий свет, на фоне яркого дневного неба. До сих пор наилучшее решение было связано с применением жидкого гелия для охлаждения каждой части телескопа до температур, близких к абсолютному нулю, и с размещением систем в самых верхних слоях атмосферы на высотных аэростатах или на искусственных спутниках Земли. Этот подход исключительно дорогостоящ даже для малых телескопов, и, кроме того, зависит от ограниченного времени хранения жидкого гелия или от сложного и дорогого процесса перезаправки криостатов. С другой стороны, температура небесной сферы, наблюдаемой из космоса или с поверхности Луны всего лишь на несколько градусов превышает температуру абсолютного нуля. Телескоп на Луне – аккуратно изолированный от поверхности и защищенный от любых прямых или

отраженных лучей, не исходящих непосредственно от темного неба - будет охлаждаться и оставаться при чрезвычайно низкой температуре, примерно равной 73 К. Это позволит значительно снизить требования к криогенным установкам и даже в некоторой степени исключить их применение, а также позволит использовать телескопы больших размеров.

Нижкая гравитация. В условиях силы гравитационного притяжения, в шесть раз меньшей земной, лунные сооружения любого размера должны быть значительно легче и дешевле их земных аналогов. Кроме того, наличие слабого притяжения будет приводить к тому, что мусор и загрязнения будут падать на поверхность Луны вместо того, чтобы в течение длительного времени находиться рядом с аппаратом, как в открытом космосе.

Отсутствие ветра. Мы часто забываем, в какой степени прочность земных построек обусловлена простой страховкой от угрозы чрезмерных ветровых нагрузок вне зависимости от вероятности их появления. На Луне же строительные конструкции могут быть рассчитаны только на воздействие статических и тепловых нагрузок. Например, куполы телескопов могут представлять достаточно простые системы из экранов от излучения Земли и Солнца и защиты от пыли, построенные из нескольких слоев практически невесомой алюминиевой фольги, закрепленной на очень легких, но жестких структурах. Сами по себе телескопы, которые в земных условиях должны быть тщательно защищены от низкочастотной вибрации и порывов ветра, на Луне должны конструироваться с учетом одного лишь воздействия статических нагрузок при разных углах поворота.

Вращение. Период вращения Луны, приблизительно равный одному месяцу, гарантирует доступ ко всему небу, видимому с высоты расположения обсерватории, и при этом даже медленного вращения достаточно для получения очень длительных экспозиций при наблюдении очень слабых астрономических объектов. Многие наиболее важные наблюдения могут потребовать очень продолжительных непрерывных экспозиций, длительностью в неделю или даже дольше, чего практически невозможно добиться при наблюдениях с земной поверхности или из какого-либо другого места, за исключением дальнего космоса. Использование вращения позволит также естественно проводить сканирование протяженных участков небесной сферы очень большими телескопами и использовать принцип апертурного синтеза для интерферометров.

Близость к Земле. Поскольку Луна расположена сравнительно близко от Земли, то задержка сообщений на трассе "Земля-Луна-Земля" не будет превышать трех секунд, что позволяет реализовать определенный уровень наземного контроля автоматических систем на поверхности Луны. Такое время запаздывания позволяет для всех работающих астрономов на Земле обеспечить управление программами наблюдений в реальном времени. Кроме того, можно будет обеспечить непрерывную передачу больших информационных потоков на Землю для анализа. Другими словами, на Луне потребуются присутствие сравнительно малого количества астрономов, даже в том случае, когда число функционирующих телескопов будет велико.

Удаленность от Земли. Деятельность человека и естественные процессы на Земле будут создавать шум и помехи практически для всех возможных видов наблюдений. Удаленность Луны на 400 тысяч километров будет достаточно хорошей гарантией от таких помех, обеспечив снижение уровня шума в сто раз даже по сравнению с геосинхронной орбитой на высоте в 40 тысяч километров. За исключением отдельных диапазонов радиоволн, наблюдения с Луны практически не будут зависеть от присутствия Земли на небе.

Обратная сторона Луны. Некоторые типы оптических наблюдений достигли такого уровня совершенства, при котором можно обнаружить и использовать значительную часть всей информации, попавшей в телескоп на интересующих длинах волн. Однако, такая ситуация невозможна для радиоастрономов, чьи наблюдения подвержены влиянию излучения земных радиопередатчиков и других помех. Это неприятно, поскольку радиоастрономия является основной астрофизических исследований и, кроме того, она занимается исследованием той части электромагнитного спектра, в котором наиболее вероятно появление сигналов от деятельности внеземных цивилизаций. При ограниченной чувствительности радиоастрономам нужно место, с которого Земля никогда не будет видна. Реально отвечает данному условию единственное место в мире - обратная сторона Луны. При освоении Луны необходимо будет обеспечить уникальность этого радиоспокойного региона.

Сырьевые материалы. Луна представляет практически неограниченный источник снабжения многими важными видами сырьевых материалов. На начальной стадии переработанный лунный реголит может использоваться как материал для защиты персонала лунных баз от солнечных и галакти-

ческих космических лучей или как прекрасный теплоизолирующий материал. По мере создания производственных мощностей из реголита можно будет изготавливать цемент и строительные блоки, а затем и керамику, стекло, волокна и металлы. Важность этого источника сырья будет увеличиваться с началом использования астрономических приборов больших размеров.

Использование естественных образований. Скорее всего, самым эффективным в стоимостном выражении радиотелескопом является самый большой в мире 300-метровый радиотелескоп, построенный в круглом полусферическом кратере вблизи Аресибо (Пуэрто Рико), облицованном металлическими панелями. На лунной поверхности имеются прекрасные симметричные кратеры, достигающие очень больших размеров. Естественно предположить, что в условиях низкой гравитации, отсутствия ветра и зависимости от погодных условий, на Луне можно будет построить сплошные радиотелескопы с диаметром в несколько километров.

Свободное пространство. Луна располагает практически неограниченной площадью для размещения систем приборов, которые могут быть расширены в любое время. Такие системы могут быть удобно расположены на одной или нескольких обычных лунных базах для снабжения расходными материалами, запасными частями, электропитанием и вычислительными мощностями и так далее.

Доступ. Последнее, и может быть наиболее важное, преимущество Луны, по сравнению с другими базами космических астрономических наблюдений является непосредственная близость к людям и вспомогательным установкам. На первом этапе это позволит строить крупные космические телескопы высокой сложности и приборы на предельно простых и низких по стоимости платформах и помещениях, и фактически все компоненты этих телескопов будут легко доступны для ремонта или модернизации квалифицированным персоналом, расположенным в непосредственной близости от них. Почти все наблюдения могут быть сделаны астрономами, находящимися на Земле, но постоянная доступность обслуживания квалифицированным персоналом в реальном масштабе времени представит собой революционное изменение в возможностях развития эффективной по стоимости космической астрономии.

Каждый год в мире тратятся многие сотни миллионов долларов для создания телескопов все больших размеров в местах с лучшими возможностями для наблюдений. Такая деятельность широко развернулась в

прошлом веке со строительством все более крупных телескопов и их постепенным выводом сначала в окрестности городов, а затем на высокие холмы, на изолированные горные вершины в пустынях или на островах, и, наконец, в околоземное космическое пространство. Совершенно независимо от многих других факторов, двигающих человечество в этом направлении, устойчивое развитие этой традиции вскоре приведет нас к Луне - лучшему месту в солнечной системе, с которого можно провести так много различных астрономических наблюдений.

РАСПОЛОЖЕНИЕ И СОЗДАНИЕ ЛУННОЙ БАЗЫ С ОСНОВНЫМ ПРЕДНАЗНАЧЕНИЕМ ДЛЯ АСТРОНОМИИ

Расположение лунной базы. В конце концов лунных баз будет много. Однако, в течение ближайших двух десятилетий, представляющих наибольший интерес для авторов данной статьи, мы можем ожидать создания одной или самое большее двух баз. Поэтому необходимо принимать во внимание ряд противоречивых факторов, влияющих на расположение первых лунных баз. Очевидно, что Земля должна быть видна с лунной базы, и что с базой должна поддерживаться эффективная связь; по этой причине база должна находиться на видимой с Земли стороне Луны. С другой стороны, для наблюдения очень слабых астрономических объектов в радиодиапазоне желательна размещение радиотелескопов на обратной стороне Луны, на которой никогда не видна Земля. Возможно поэтому, что с точки зрения астрономии наилучшим местом для размещения лунной базы был бы район между видимой и обратной сторонами Луны, там, где Земля могла бы быть всегда видна со станции, но где расположенные относительно близко оптические и инфракрасные телескопы могли бы работать в земной тени возвышенностей или быстро изменяющегося лунного горизонта. Однако, из-за эффектов диффракции на горизонте и эффектов либрации, незначительно изменяющих позицию Земли на небе Луны, работающие на очень низких частотах радиоастрономические телескопы должны располагаться на обратной стороне Луны за несколько градусов от ее границы.

Если астрономы будут иметь доступ только к одному месту, то его было бы желательно расположить недалеко от лунного экватора, чтобы можно было наблюдать максимумальную часть всей небесной сфере.

Исследования самой Луны было бы целесообразно проводить недалеко от геологически (селенологически) усложненной области, типичной для лунной поверхности.

Однако, для упрощения конструкции космических посадочных кораблей и управления ими желательно, чтобы место посадки располагалось на равнине. Лучшим выбором могут быть края лунных морей, где морские базальты соприкасаются с породами лунных гор, что обеспечит доступ к разнообразным минеральным ресурсам. Конечно, при принятии решений будут приниматься в расчет и другие предположения, но следует отметить, что окрестности моря Mare Orientale удовлетворяют всем вышеизложенным критериям, и, несомненно, будут одним из основных претендентов на размещение первой лунной базы.

Фазы развития. Этапы развития лунных баз в XXI веке будут включать три различных фазы, типичных для освоения любого совершенно нового региона.

Первоначальная фаза. Во время этой фазы основное внимание уделяется закреплению на новом месте и выживанию. Вряд ли в это время относительно малый грузооборот и привлеченное к другим проблемам внимание позволят выделить заметные ресурсы для науки. Однако, даже сам факт возвращения на Луну позволит продолжить геологические и космогонические исследования, а также начать активную программу по физиологии человека, и, возможно, по экспериментальному разведению растений и животных, с долговременной целью возможного частичного самообеспечения пищевых потребностей.

С самого начала астрономия должна играть важную роль. Вероятный сценарий (хотя, конечно, далеко не единственный), по крайней мере, в начальной стадии развития, может выглядеть следующим образом: уже при первой посадке на Луну могут быть доставлены два очень небольших телескопа. Один из них может быть фиксированным транзитным телескопом с апертурой радиусом в один-два метра, расположенным под поверхностью Луны и проводящим наблюдения через хорошо защищенную апертуру с использованием широкоугольных ПЗС-матриц, аналогичных тем, которые используются в современных телевизионных камерах. В течение нескольких лет можно будет провести уникальный и очень ценный обзор небесной сферы в ультрафиолетовом и оптическом диапазонах. Второй телескоп может быть обычным легким и небольшим инструментом с высококачественным полностью автоматическим многоканальным фотометром. Будет вполне достаточно установить этот телескоп на поверхности Луны поблизости от места посадки, ориентировать его на полюс, установить подходящую защиту от солнечного излучения, и затем

оставить его работать по командам с Земли на неопределенный период времени до тех пор, пока не понадобится какой-либо ремонт или модификация регистрирующей аппаратуры. Такая система позволит проводить длительные непрерывные наблюдения внезапной непредсказуемой переменности огромных потоков информации от такого телескопа дадут богатую информацию о звездной сейсмологии, звездной структуре, эволюции звезд, и даже сведения о возрасте Галактики.

Вся система должна быть приспособлена к низкой лунной гравитации и полному отсутствию ветра, с модульным построением микроэлектроники, позволяющим производить простую замену блоков при неисправности. Собранный телескоп такого типа должен весить всего лишь несколько десятков килограммов, но, тем не менее, он будет достаточно большим для того, чтобы с его помощью можно было проводить важные научные исследования в течение нескольких десятилетий. Кроме того, такая система станет крайне важным испытательным полигоном, на котором будут проверены принципы проектирования следующего поколения более важных оптических и инфракрасных телескопов, которые будут размещены на Луне.

Этот прототип телескопа должен быть снабжен также специальной аппаратурой для измерения влияния сильных вариаций температуры между лунным днем и ночью, возможности использования холода ночного времени для работы с инфракрасными телескопами без криогенных устройств, эффективности защиты от солнечного света, отраженного от лунной поверхности во время лунного дня, скорости накопления пыли в критических деталях телескопа, а также влиянием микрометеоритов на незащищенные оптические поверхности. Вполне возможно ожидать, что при каждой посадке для обеспечения деятельности лунной базы можно будет привозить дополнительный дешевый легкий телескоп, что в конце концов должно привести к созданию большой обсерватории из этих простых, но ценных телескопов, позволяющих получить важную и обширную информацию в быстро развивающейся звездной сейсмологии и в других отраслях астрономии.

При начальной организации первой лунной базы ее окрестности будут исследоваться при помощи луноходов более сложного класса, чем применявшиеся в программе "Аполлон" простые "песчаные вездеходы", или советские автоматические станции "Луноход". Как только будет доказана спо-

способность таких аппаратов к проведению длительных перемещений, можно будет приступить к установке элементов системы очень низкочастотных радиоастрономических телескопов. Такой телескоп может быть установлен на Луне при сравнительно небольших грузовых потребностях и примечательно малой стоимости. Это позволит приступить к изучению сравнительно малоизвестной области спектра в диапазоне от 1 до 10 мегагерц (на длинах волн от 30 до 300 метров) при помощи наблюдений структуры Галактики с относительно высоким спектральным разрешением, низкочастотных особенностей внегалактических радиосточников, и, кроме того, позволит обнаружить похожие на Юпитер радиоизлучающие объекты в других солнечных системах. Такая система, предложенная Дугласом и Смитом⁶ в 1987 году, и изученная более детально на тематическом семинаре 1988 года в г. Альбукерке (Бернс и др.⁷), также может стать начальным прибором для получения опыта в разработке крупномасштабных низкочастотных радиоастрономических инструментов на обратной стороне Луны.

Другим прибором начальной стадии может стать рефлекторная камера Шмидта размером около одного метра, разработанная для создания изображений высокого разрешения с широким полем зрения на всех длинах волн, которые могут отражать такие зеркала, но, в первую очередь, в диапазоне ультрафиолетового излучения, которое не доходит до поверхности Земли из-за поглощения в озоновом слое.

Относительно большой проект создания астрономических установок, который может быть реализован на более поздних стадиях, может быть связан с установкой телескопа, регистрирующего тепловое инфракрасное излучение, оптимизированного для уменьшения массы, и, в особенности, для максимальной изоляции от источников тепла. Такой телескоп, по крайней мере трехметрового класса, будет требовать криогенного охлаждения детекторов жидким гелием, и проведения возможных экспериментов с рециркуляцией гелия через критические в тепловом отношении части телескопа или окружающий его кожух. При низких температурах, автоматически достигаемых телескопом, потеря гелия будет мала и перезарядка криогенных устройств может быть проведена персоналом близлежащей лунной базы.

Следующим наиболее важным прибором, который может быть окончательно спроектирован после экспериментов с первоначальным телескопом (или телескопами), может стать первый лунный оптический и инфракрасный интерферометр (см. работу

Берка⁸). Он должен включать по крайней мере два (но предпочтительнее несколько) тщательно спроектированных телескопов, которые должны быть размещены на расстоянии от десяти до сотни метров и связаны с фазокорректирующей оптической системой. Эта система не только принесет уникальную информацию, но и сможет также послужить прототипом для проектирования аналога наземной системы радиотелескопов VLA (очень большая антенная решетка), которая, вероятно, станет наиболее важной астрономической системой из всех, что могут быть построены на Луне. Без сомнения, такие системы в конце концов - может быть, через 50 лет - позволят нам изучить детали структуры астрономических объектов с разрешением, в 10 - 100 раз меньшим, чем достигнутое в космическом телескопе "Хаббл". Скорее всего, что приборы с такой удивительной разрешающей способностью могут быть практически построены и задействованы только на Луне.

Мероприятия, подобные описанным выше, могут привести к созданию первой реальной лунной обсерватории. На больших наземных обсерваториях устанавливается много телескопов различных размеров и назначения. Небеса так неопределимо богаты объектами и явлениями, которые интересно исследовать, что даже небольшие телескопы продолжают играть значительную роль, например, при изучении вариаций излучения ярких звезд. Можно ожидать, что на лунной обсерватории с ее исключительно благоприятными условиями для астрономических наблюдений эта тенденция проявится очень ярко; на ней наряду с продолжением использования старых приборов будет происходить постоянное пополнение новыми инструментами, поначалу скромных размеров, но с постоянно возрастающим уровнем специализации, которые будут управляться с Земли дистанционным способом.

Фаза укрепления. Первоначальная фаза, включающая создание многоцелевой лунной обсерватории, должна быть завершена в первом десятилетии освоения Луны. Следует ожидать, что будет происходить плавный переход в фазу укрепления, характеризующуюся устойчивым ростом численности персонала до нескольких десятков человек, созданием надежных систем жизнеобеспечения и лунных транспортных средств, увеличением мощности электропотребления, с привлечением большого количества роботов для эффективной работы на лунной поверхности, управляемых экспертами-операторами на расстоянии, но в непосредственной близости, и переходом к серьезному использованию лунных ресурсов.

Во время фазы установления возможно, будет создана большая (с размером в несколько километров) интерферометрическая система инфракрасного и оптического диапазонов, которая станет основой новой лунной обсерватории. До этого момента лунные телескопы могли только дополнять другие исследования на наземных и космических телескопах или использоваться для накопления опыта, необходимого для конструирования приборов, лучше адаптированных к лунным условиям. Новая интерферометрическая система позволит выйти на совершенно иной уровень, разрешая детали внутренней структуры квазаров или даже детали планетных систем других звезд.

На этой стадии станет возможной и установка очень больших (10-метрового класса) телескопов. И в этом случае их характеристики (в особенности пространственное разрешение и ширина рабочего диапазона) будут намного лучше, чем у их аналогов на поверхности Земли, что также приведет к подлинному научному прорыву. В этой фазе, вероятно, могут быть развернуты и другие большие приборы для радиоастрономии и астрономии высоких энергий, также как и для других областей космической физики. В частности, обратная сторона Луны станет доступной для установки первых больших радиотелескопов в этой ценной зоне радиоспокойствия.

Фаза заселения. Фаза укрепления, которая может растянуться на несколько десятилетий, постепенно перейдет в третью стадию освоения Луны, которую можно назвать фазой заселения. Этот этап будет характеризоваться легким и дешевым доступом, относительно большой численностью персонала, почти неограниченной мощностью энергетических установок, и крупномасштабным использованием лунных ресурсов. После этого можно будет создать действительно гигантские астрономические установки, построенные в основном трудом роботов. Несмотря на то, что будут продолжать действовать наземные и специальные космические обсерватории, вполне вероятно, что к середине следующего века Луна, скорее всего, станет основным астрономическим ресурсом человечества. Два недавних семинара в НАСА нашли свое отражение в сборниках, в которых подробно обсуждаются потенциально возможные исследования (Поттер и Морган⁹, Мумма и Смит¹⁰).

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОСМИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

В принципе и США, и СССР могут в одиночку реализовать программу создания лун-

ных баз. Требуемые расходы будут составлять лишь несколько процентов от тех, что каждая из этих стран тратит сейчас на свои военные программы. Тем не менее, маловероятно, что любая из них будет пытаться сделать такую программу в одиночку. Такая попытка может даже стать помехой для дальнейшего развития лунной программы.

В пользу интернационализации усилий по освоению Луны можно привести по крайней мере пять различных аргументов:

1. Многие другие страны, включая Европу (в целом), Китай, Японию, Индию, Израиль и Бразилию, уже участвуют или вскоре будут участвовать в крупномасштабной космической деятельности.

2. Какой бы ни была стоимость лунных баз, финансовые органы любой страны будут предпочитать разделить эти расходы с другими государствами.

3. Несмотря на то, что крупномасштабное международное сотрудничество всегда приводит к многочисленным трениям между участниками, при конструктивном подходе оно приводит к впечатляющим результатам; в качестве примеров можно привести программы организации CERN и ESO (Европейской Южной Обсерватории).

4. Очевидно, что в настоящее время ни одно изолированное мероприятие не сможет исправить настоящих и воображаемых взаимных подозрений и противоречий между главными политическими блоками в мире. Однако, будущее станет менее опасным, если эти противостоящие блоки будут участвовать в крупных совместных мероприятиях, не представляющих взаимной угрозы.

5. Как уже часто отмечалось, Луна есть и должна оставаться достоянием всего человечества, и развиваться и использоваться различными способами многими группами в духе открытого сотрудничества.

Что могло бы быть включено в предлагаемое сотрудничество? Согласно большинству словарей, глагол "сотрудничать" в английском языке имеет, по крайней мере, три значения. Каждое значение вносит отличный нюанс в возможное выражение международной сотрудничества, как мы обсудим ниже.

Первое значение, "работать совместно", является наиболее буквальным определением этого слова. Эту идею можно использовать, например, для возможных совместных пилотируемых полетов к Марсу, где транспортные элементы и экипаж могут быть полностью интегрированы. Следующее значение, "действовать вместе", подразумевает наличие отдельных элементов, чье назначение может дополнять и поддерживать друг друга. Прекрасный пример - это совместные исследования кометы Галлея рядом косми-

ческих кораблей (советских, европейских и японских), дополненных международным объединением наземных наблюдателей. Последнее значение имеет смысл "связи с другими для взаимной выгоды". В эту категорию попадают согласованные договоры или правовые режимы, которая включает также научные или профессиональные ассоциации, в которых производится свободный обмен информацией.

Эти определения расположены в порядке уменьшения сложности организации, требуемой для обеспечения сотрудничества. Указанный порядок отвечает также увеличению независимости выбора объектов и образа действий сотрудничающими сторонами. Несмотря на некоторую педантичность, эти определения важны для четкой идентификации, поскольку фраза "международное сотрудничество" может быть использована в различных языках и культурах со значениями, не так легко переводимыми.

Очевидно, различные формы сотрудничества соответствуют различным обстоятельствам. Вопрос в том, какие формы международного сотрудничества должны проводиться на самых высоких уровнях для гарантии быстрейшего и наиболее совершенного доступа к космическим границам для пользы всего человечества, поначалу, в частности, к созданию обитаемых лунных баз.

СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ

Сотрудничество в самом полном смысле должно включать в себя формирование всемирной международной организации, аналогичной организации по исследованию элементарных частиц CERN, задачи которой будут связаны с созданием и эксплуатацией лунных баз. Такая организация будет требовать бюджета, выделяемого странами-участницами, и будет иметь право вести переговоры по необходимым услугам по крайней мере с непосредственно участвующими (а, может быть, и со всеми) странами. Хотя мы считаем, что этот подход обеспечит лучшее разделение стоимости, и, что более важно, снимет синдром зависимости от лидеров, но он вряд ли станет самым быстрым или самым дешевым способом освоения Луны. Кроме того, даже при сегодняшних сниженных уровнях взаимного недоверия, этот подход вряд ли будет выполнен за короткий период времени.

С другой стороны, наиболее низкий уровень кооперации аналогичен используемому в настоящее время в Антарктиде, где действуют американские, советские и другие станции с более или менее постоянным составом исследователей. Научные и ис-

следовательские задачи при этом подходе выполняются более или менее удовлетворительно. Информация и технология является сравнительно общей, а редкие посещения станций одной страны иностранными исследователями позволяют нарушить монотонность существования в замкнутых малых группах, а иногда и необходимы для оказания помощи одной станции другой. Этот путь приемлем также и для Луны. В дальнейшем, когда космические путешествия станут менее трудными и когда освоение Луны расширится, вполне вероятно, что количество отдельных станций и поселений будет увеличиваться, но возникает вопрос, будет ли такой подход лучшим сейчас, когда проблемы стоимости, технологии, времени и безопасности так серьезны.

Сегодня пилотируемые космические программы сосредоточены на низкоорбитальных околоземных станциях - советской станции "Мир" и проектируемой международной станции "Фридом". Транспортные системы вывода на орбиту, которыми обеспечиваются эти станции, используют химические ракетные двигатели, в то время как перспективные технологии, такие как электрореактивные двигатели, используются только в межпланетных полетах. Поэтому, мы можем предположить, что в ранних пилотируемых полетах к Луне также будут использоваться химические двигатели, построенные на базе тех, которые применяются сегодня. Подобные полеты, которые могут произойти в следующем десятилетии, будут конечно связаны с низкими околоземными орбитами, и, скорее всего, будут проводиться национальными космическими агентствами как экспедиционные полеты. Такая структура будет наиболее вероятна, и, скорее всего, в ней придется работать.

Какой специфический промежуточный уровень сотрудничества между обсуждавшимися выше крайними вариантами будет наиболее удобен для первоначального и наиболее вероятного развития лунных баз? Детали этого процесса, конечно, должны быть проработаны соответствующими организациями, но мы можем предположить следующий возможный вариант:

1. Первоначальные усилия могут проводиться двумя приблизительно одинаковыми независимыми, но координируемыми консорциумами, один из которых будет возглавляться США и включать главных участников Европейского Космического Агентства, Японии, и, возможно, другие страны; а другой будет возглавляться СССР.

2. Необходимо как можно скорее выбрать базовый район для размещения первоначальной лунной базы, основываясь на те-

кущей информации, дополняемой данными от, по крайней мере, одного лунного спутника, запущенного в пределах следующих пяти-шести лет.

3. Несмотря на то, что по мере развития программ будет увеличиваться уровень общности, различия в материальной части, методике управления и эксплуатационных процедурах, вместе с нежеланием военных организаций каждой стороны разрешить полный доступ к закрытой информации по деталям по некоторым из наиболее сложных технологий, по-видимому, останутся слишком сильными в течение следующих одного или двух десятилетий для перехода к полному слиянию программ. В соответствии с этим, следует разделять обязанности между участниками, учитывая желания и возможности каждой из сторон. Например, хотя каждая страна с заметными возможностями по выводу полезных грузов на орбиту сможет внести свой вклад в доставку тысяч тонн грузов на лунную поверхность, но, если советская программа сохранит свою способность к самому дешевому выводу полезных грузов, было бы целесообразно возложить на СССР основную долю работ по выводу полезной нагрузки на околоземную орбиту. США могли бы сосредоточить свои усилия на межорбитальных буксирах и посадочных аппаратах. Европейское космическое агентство и Япония, помимо участия в указанных выше операциях, могли бы взять на себя разработку обитаемых помещений на поверхности Луны. Специальной задачей, особо привлекательной для японских участников, могла бы стать разработка транспортных средств для перемещения по Луне и механизмов для работы на лунных базах. Даже на первоначальной базе могут и, скорее всего, будут созданы несколько отдельных строений и служб, одна или несколько из которых могут эксплуатироваться какой-либо страной или группой стран как для своих собственных задач, так и для общих целей. Полезная параллель представлена Европейской Южной Обсерваторией, где ресурсы многих стран были собраны для создания одной из самых крупных и, может быть, самых лучших в мире обсерваторий, на которой, тем не менее, отдельные страны или группы стран эксплуатируют отдельные телескопы, установки или строения, и только самые сложные задачи решаются всеми странами совместно.

4. Ожидается, что расширение лунной деятельности будет сопровождаться развитием специальных подразделений с постоянно увеличивающейся специализацией, например, для строительства обсерватории, землеустройства, добычи и производства

кислорода, металлов, или других материалов из лунных пород, строительства специальных установок для перемещения масс, организации удаленных баз и, может быть, даже строительства и эксплуатации туристических баз, которые могут быть предложены любым международным, национальным или коммерческим заинтересованным группам, для осуществления вложений капитала или людских ресурсов.

ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сейчас существуют надежные транспортные системы большой грузоподъемности (в особенности, советские). Следующий этап в деятельности человечества должен включать несколько видов космических станций. Здесь также лидирует СССР, хотя имеются основания для надежды, что к концу века появится еще одна или несколько дополнительных станций, построенных в США, Европейском Космическом Агентстве или в Японии. Логические задачи дальнейшего освоения космоса человечеством должны быть связаны с пилотируемыми полетами к Марсу и с основанием лунных баз.

К началу следующего века, пути к полету человека на Марс и к возможному созданию марсианских поселений станут более ясными. Однако, мы делаем вывод, что создание обитаемой лунной базы представляется разумной альтернативой, имеющей преимущества по сравнению с немедленной организацией экспедиции к Марсу.

Очевидно, что как Луна, так и Марс, будут освоены, развиты и обжиты. Решение, что выбрать первым, не будет всецело зависеть от научных аргументов. Действительно, с самого начала это скорее всего станет политическим выбором. Однако, лунная база - это наиболее корректный выбор следующего шага по принципиальным причинам близости, доступности, наименьшего риска для астронавтов, того факта, что она станет следующим шагом по линии изучения космоса и трамплином для будущего развития международного сотрудничества в космосе, действительной возможности относительно раннего экономического эффекта, высокой вероятности последующего прочного поселения людей, и значительных научных открытий, которые могут быть сделаны на лунной базе.

Эта точка зрения на будущее, несомненно, несколько мутна из-за того фактора, который астрономы часто называли "плохими условиями видимости". Но разве она неразумна? Является ли она наилучшей альтернативой? Не следует забывать, что одним из наиболее важных побочных продук-

ктов деятельности лунной базы будет развитие космического оснащения, топливного обеспечения, и опыта для разработки возможных серьезных экспедиций к Марсу и создания марсианских баз (а не только коротких остановок) в рамках практики сотрудничества, разумного бюджета, и с высокой вероятностью успеха. Будет создана необходимая инфраструктура, позволяющая человечеству начать крупномасштабное освоение космического пространства. Если такие мероприятия будут разумно направлены, то национальные и блоковые различия будут обогащать человечество, а не угрожать ему.

ССЫЛКИ И ПРИМЕЧАНИЯ

1. S. Ride, "NASA Leadership", A Report to the Administrator, 1987.
2. W.W. Mendell, ed., "Lunar Bases and Space Activities of the 21st Century", Houston, Texas, Lunar and Planetary Institute, 1985.
3. S.W. Johnson, J.P. Wetzel, eds., "Engineering, Construction and Operation in Space", New York, American Society of Civil Engineers, 1988.
4. J.O. Burns, N. Duric, G.J. Taylor, S.W. Johnson, "Observations on the Moon", *Scientific American*, v. 262, 3 March 1990, pp. 42 - 49.
5. C.D. Taylor, "Geological Considerations for Lunar Telescopes", in "Future Astronomical Observatories on the Moon", NASA Conference Publication, CP-2489, 1988.
6. J.N. Douglas, H.J. Smith, "A Very Low Frequency Radio Astronomy Observatory on the Moon", in W.W. Mendell, ed., "Lunar Bases and Space Activities of the 21st Century", Houston, Texas, Lunar and Planetary Institute, 1985, pp. 301 - 306.
7. J.O. Burns, N. Duric, S.W. Johnson, G.J. Taylor, "A Lunar Far-Side Low Frequency Array", NASA Conference Publication, CP-3039, 1988.
8. B.F. Burke, "Astrophysics from the Moon", *Science*, v. 250, 7 December 1990, pp. 1365 - 1370.
9. A.F. Potter, T.L. Wilson, eds., "Physics and Astrophysics from a Lunar Base", proceedings of the NASA workshop, Stanford, California, 1989, Conference Proceedings 202, New York, American Institute of Physics.
10. M.J. Mumma, H.J. Smith, eds., "Astrophysics from the Moon", proceedings of the NASA workshop, Annapolis, Maryland, 1990, Conference Proceedings 207, New York, American Institute of Physics.