

Луна — от исследований к освоению

Л.М.Зеленый, И.Г.Митрофанов

Можно ли представить себе будущее развитие земной цивилизации без освоения и использования Луны? Как мы писали еще три года назад, безусловно, нет*. Система Земля—Луна уникальный астрономический объект, в котором небольшая по массе планета обладает удивительно массивным спутником на относительно небольшом расстоянии от нее. Скорее всего, гигантские приливы, вызываемые Луной, которая 4 млрд лет назад находилась к Земле гораздо ближе, сыграли важную роль в зарождении земной жизни. Сравнительно недавно установили, что в реголите лунных полюсов присутствуют лед воды и другие летучие соединения, попавшие туда из самых далеких областей Солнечной системы, а возможно — из галактической межзвездной среды. В современной астрофизике накопилось большое число вопросов о происхождении и эволюции Луны. Космические инженеры рассматривают наш естественный спутник в качестве будущего космического континента земной цивилизации. Данная статья посвящена описанию начальной фазы лунной программы нашей страны, кото-

* Зеленый Л.М., Хартов В.В., Митрофанов И.Г., Долгополов В.П. Луна: исследование и освоение вчера, сегодня, завтра, послезавтра // Природа. 2012. №1. С.23—29.



Лев Матвеевич Зеленый, вице-президент РАН, академик, доктор физико-математических наук, директор ИКИ РАН, профессор Московского физико-технического института. Научные интересы связаны с плазменными процессами в космической среде, физикой и эволюцией Солнечной системы. Член ряда международных научных организаций. Член редколлегии «Природы».



Игорь Георгиевич Митрофанов, доктор физико-математических наук, заведующий отделом ядерной планетологии ИКИ РАН. Область научных интересов — астрофизика высоких энергий и ядерная планетология. Руководитель четырех российских экспериментов на борту Международной космической станции и на автоматических межпланетных аппаратах НАСА «Mars Odyssey», LRO и «Curiosity».

рая создаст условия для последующих этапов планомерного освоения лунного континента.

За три года после публикации упомянутой статьи на близкую тему многое изменилось. Во-первых, появились новые научные результаты о природной среде Луны. Во-вторых, в конце 2011 г. произошла трагическая неудача при запуске марсианского исследовательского проекта «Фобос-грунт». Космический аппарат из-за сбоя на борту при первом включении маршевого двигателя остался на низкой околоземной орбите и сгорел в атмосфере после нескольких месяцев бесплодных попыток установить с ним радиосвязь. Эта авария потребовала пересмотра планов и сроков проведения всех проектов по освоению дальнего космоса (включая и лунные), что заставило на основе уроков от неудавшегося пуска разработать новую концепцию реализации лунных проектов. В-третьих, претерпе-

вает значительные изменения общая политика России в освоении дальнего космоса, который вновь (как это было в середине прошлого века) становится одной из важнейших областей технологического развития нашей страны. Главным направлением на ближайшие десятилетия при этом признается освоение Луны путем интеграции пилотируемых и автоматических средств.

Почему Луна?

Напомним читателям «Природы» основные причины привлекательности нашего спутника.

Во-первых, несмотря на то что на Луне нет атмосферы, она, как ни парадоксально, пожалуй, единственное более или менее комфортное место в Солнечной системе для будущих космонавтов с Земли, гораздо более удобное, чем орбитальные станции. Хотя поток солнечной энергии на Луне почти равен тому, который получает Земля, в окрестности ее полюсов есть районы, где температура не поднимается выше минус 200°C. Там в течение сотен миллионов лет откладывались слои испарившегося вещества падавших на Луну комет и астероидов. Для космонавтики важно то, что полярная вечная мерзлота содержит и обычный (водяной) лед, который исключительно важен для создания обитаемых баз с полностью автономным циклом жизнеобеспечения. Во-вторых, гравитация Луны гораздо меньше земной, но ее вполне хватит, чтобы поддерживать физиологический тонус участников продолжительных экспедиций. Наконец, размещение обитаемых комплексов под поверхностью на глубине всего около двух метров полностью решит самую сложную проблему дальних космических полетов за пределами земной атмосферы и магнитосферы — защиту экипажа от космических лучей и солнечной радиации.

Если стратегическим рубежом освоения Солнечной системы в обозримой перспективе станет Марс, то Луна представляет собой тактический плацдарм на пути к красной планете (в том числе для отработки важнейших элементов марсианских экспедиций). В ближайшие десятилетия исследования Марса будут проводиться только с помощью автоматических станций. Многие научные и инженерные проблемы будущей марсианской космической программы (например, защита от радиации и обеспечение среды обитания экипажа) могут решаться и технически отработываться при освоении Луны. Кроме того, Луна все еще интересна и для фундаментальной науки. До сих пор нет единой общепризнанной модели ее образования.

Этого, на наш взгляд, вполне достаточно, чтобы лунные исследования в следующие 10—15 лет стали центральными в отечественной космической программе. В лунных проектах наилучшим образом сочетаются пилотируемая космонавтика

и работа автоматических аппаратов, что принципиально важно для российской программы космических исследований.

«Новая Луна» XXI века

Как известно, первый период космических исследований Луны связан с лунной гонкой СССР и США в 60—70-х годах прошлого века. Благодаря этому сейчас мы располагаем пилотируемым космическим кораблем «Союз» (созданным в качестве лунного перелетного модуля) и тяжелой ракетой-носителем «Протон». Двигатели, которые были сконструированы для лунного ракетносителя Н-1, остаются востребованными как для современных, так и для перспективных ракет.

Второй период лунной космонавтики начался в 90-х годах прошлого века и продолжается сейчас. Важнейшим событием стало обнаружение признаков летучих веществ (в том числе и водяного льда) в окрестности постоянно затененных областей (находящихся, как правило, в кратерах) в приполярных частях Луны, где солнечные лучи падают на поверхность почти по касательной. Вначале казалось, что этот научный результат не имеет прямого практического выхода, поскольку посадить аппарат в место, лишенное потока солнечной энергии, представлялось затруднительным. Ситуация в корне изменилась в 2009 г., когда российский нейтронный прибор LEND («Lunar Exploration Neutron Detector» — Лунный исследовательский нейтронный детектор), и поныне работающий на борту американского космического аппарата LRO («Lunar Reconnaissance Orbiter» — Лунный разведывательный спутник), провел первые измерения содержания водяного льда в приповерхностном слое реголита с высоким пространственным разрешением около 10 км. Оказалось, что летучие вещества (в том числе и водяной лед) находятся в небольших полярных областях вечной мерзлоты как внутри, так и вне постоянно затененных областей вблизи полюсов Луны (рис. 1).

Продолжение исследований Луны с применением телескопа LEND в течение более пяти лет (с 2009 по 2015 г.) позволило накопить огромный объем данных о нейтронном излучении и на основе его анализа получить новые знания о процессах переноса и распространенности воды на естественном спутнике Земли (рис. 2, 3). Оказалось, что в высокоширотных областях Луны среднее содержание воды в реголите на склонах, которые обращены в сторону полюсов, больше, чем на склонах, расположенных на той же широте, но обращенных на запад, на восток или в сторону экватора. Наиболее вероятная причина этого эффекта — относительно более низкие средние температуры реголита на полярных склонах вследствие меньшего потока солнечного излучения по сравнению с другими участками поверхности на аналогичной

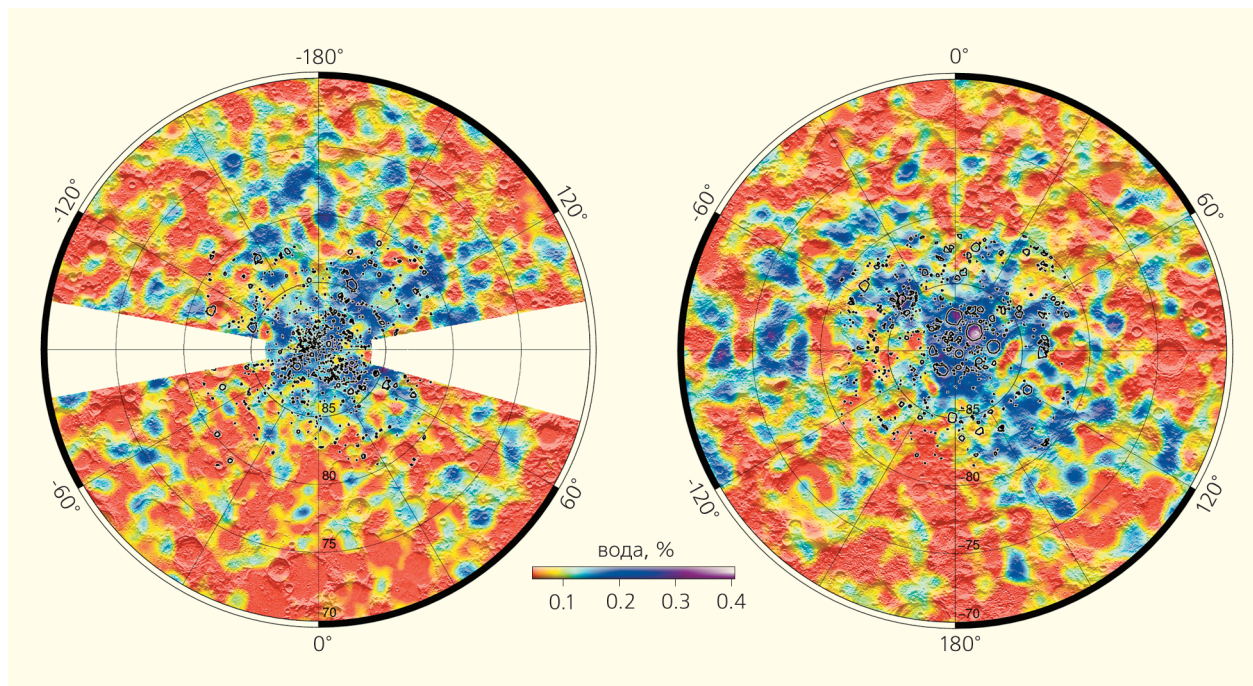


Рис.1. Карты распространности водяного льда в реголите на Северном (слева) и Южном полюсах Луны, по данным российского нейтронного телескопа LEND на борту лунного спутника НАСА LRO. Белые сегменты на карте северного полюса связаны с отсутствием статистически обеспеченных данных из-за особенностей измерений на борту спутника. Оттенками серого цвета на картах показан лунный рельеф, черными контурами обозначены границы областей постоянного затенения.

широте, и, как следствие, повышенное содержание в нем конденсированных молекул воды.

Второй новый эффект, обнаруженный в эксперименте LEND, — переменность нейтронного потока с поверхности в зависимости от локального времени лунных суток (лунаций). Эта переменность, вероятно, связана с вариациями содержания воды в реголите в течение лунации. Максимальная концентрация воды наблюдается утром, в 6 ч 35 мин, а минимальная — днем, в 14 ч 35 мин. Эффект утренней конденсации воды в грунте Луны напоминает эффект утренней росы на Земле и указывает на то, что лунная экзосфера постоянно содержит значительную концентрацию водяного пара. Последний утром конденсируется в порах реголита и в течение дня испаряется обратно в экзосферу.

Открытие в эксперименте LEND эффектов полярных склонов и утренней конденсации ставит перед исследователями вопрос о происхождении и переносе воды в экзосфере современной Луны. Ранее предполагалось, что основной источник воды на Луне — эпизодические столкновения с кометами и астероидами. Но под воздействием ультрафиолетового излучения Солнца молекулы воды в лунной экзосфере должны распадаться примерно за такое же короткое время, как и на Земле, — несколько десятков часов, и потому их присутствие в экзосфере современной Луны нельзя объяснить столкновением Луны с малым небес-

ным телом несколько миллионов лет тому назад. Наличие молекул воды в экзосфере современной Луны означает наличие стационарного источника воды. Их может быть два: внешний (производство молекул воды в верхнем слое поверхности из ионов водорода солнечного ветра) и внутренний (диффузия на поверхность собственной воды из лунных недр). Вопрос о природе лунной воды — ключевой для будущих исследований нашего естественного спутника.

Поверхность Луны подвержена не только действию плазмы солнечного ветра, но также солнечному ультрафиолетовому и рентгеновскому излучениям. Она, подобно любому объекту, находящемуся в плазме, заряжается, приобретая электростатический потенциал, который минимизирует полный ток поступающих межпланетных протонов, ионов и электронов. Зарядка поверхности происходит также при взаимодействии Луны с плазмой магнитосферного хвоста, когда она проходит сквозь него раз в 28 дней. Напряженность электрического поля при этом может достигать ~1 кВ/м.

Аналогичным образом заряжаются и частицы лунной пыли. Особенность плазменно-пылевой экзосферы состоит в том, что пылевые частицы приобретают заряд при контакте друг с другом и с поверхностью Луны. Электрические заряды для частиц с размерами 50—200 мкм могут достигать значений 10^5 — 10^6 зарядов электрона. На ос-

вещенной стороне Луны заряд, как правило, положительный, а на ночной — отрицательный. Потенциал в переходной области терминатора (линии, разделяющей день и ночь) близок к нулю. По данным с борта спускаемых космических аппаратов НАСА «Surveyor», пылевые частицы размером около 5 мкм «левитировали» в электростатическом поле поверхности на высоте приблизительно 10 см. В миссиях «Apollo» также проводились наблюдения субмикронной пыли в экзосфере на высотах вплоть до 100 км. Экспериментальные исследования пылевой экзосферы осуществлялись и орбитальным аппаратом НАСА LADEE («Lunar Atmosphere and Dust Environment Explorer»).

В области терминатора отрицательно заряженная пыль (бывшая ранее в освещенной области) взаимодействует с отрицательно заряженной поверхностью Луны. В результате происходит резкое ускорение пылевых частиц и их подъем. Данный эффект может приводить к формированию над терминатором пылевых бурь. В полярных областях граница тени и света определяется локальными условиями освещенности и структурой рельефа. На дне полярных кратеров существуют постоянно затемненные районы. Там границы тени и света могут быть более резкими, чем в области терминатора. Градиенты всех параметров плазмы (в том числе электрического потенциала) на этих границах могут оказаться более значительными, чем на терминаторе, и вблизи полюсов можно ожидать более сильные электрические поля. Из-за различия в обтекании электронами и протонами рельефных структур Луны электрические поля могут иметь достаточно сложную конфигурацию, что также должно оказывать существенное влияние на поведение пылевых частиц и приводить к усилению эффектов, связанных с их переносом.

Для выяснения природы физико-химических процессов на лунной полярной поверхности требуется провести детальные исследования свойств нейтральной и плазменной экзосфе-

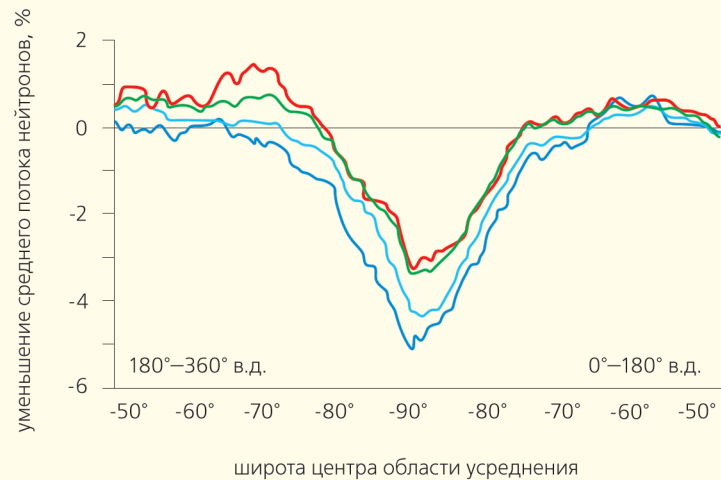


Рис.2. Уменьшение среднего потока тепловых нейтронов (в процентах от среднего значения на умеренных широтах) от поверхности склонов в окрестности Южного полюса Луны (полюс соответствует широте 90°) по данным коллимированных детекторов телескопа LEND. Голубая и зеленая кривые отвечают склонам, обращенным к полюсу и к экватору соответственно. Синяя и красная кривые отвечают склонам размером более 15 км, обращенным к полюсу и к экватору соответственно. Левая и правая половины профиля для интервалов [–50, –90] и [–90, –50] соответствуют усреднению потока нейтронов по долготным интервалам [180–360] и [0–180] восточной долготы.

ры, а также пылевой атмосферы в окрестности полюсов. Лунные пылинки обладают уникальными свойствами химической активности и высокой абразивностью, что связано со сложной микроструктурой их поверхности и наличием на ней химических элементов со свободными валентными связями. Сейчас, в эпоху начала практического освоения нашего спутника, становится акту-

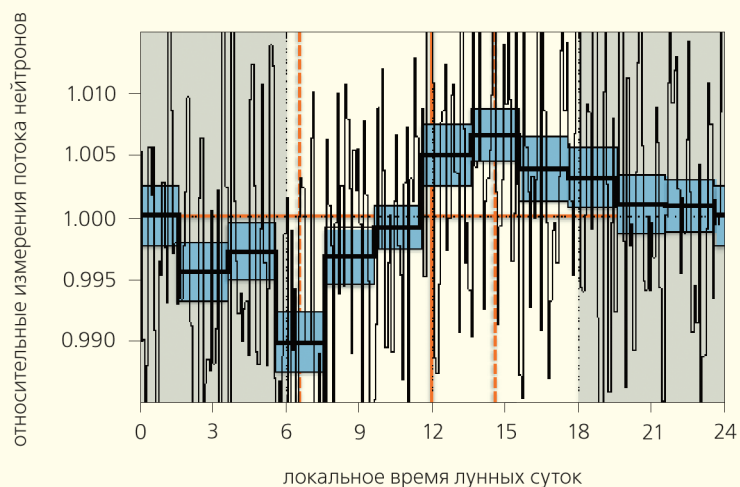


Рис.3. Относительные суточные изменения среднего потока тепловых нейтронов, зарегистрированных прибором LEND в полосе широт ±30° вдоль экватора.

альным вопросом о том, что лунная пылевая плазма может отрицательно влиять как на работу космической техники, так и на здоровье людей. Астронавты, побывавшие на Луне, выяснили, что слой пыли на поверхности составляет несколько сантиметров. Она прилипает к скафандрам, к поверхности космических аппаратов, к приборам и т.д. Это может отрицательно сказаться на работе многих систем. Так, в частности, на покрытых пылью поверхностях приборов резко возрастает поглощение солнечного излучения, и они перегреваются. Пыль, прилипая к скафандрам, попала внутрь лунного модуля «Apollo» после возвращения в него астронавтов. Таким образом, лунная пыль представляет собой существенный фактор риска. В связи с этим особенно важно выяснить физические процессы полярной пылевой экзосферы, построить инженерную модель этого уникального природного явления полярной Луны.

Актуальные цели исследования Луны

Полярные районы Луны за последние годы стали одной из основных стратегических целей космических исследований. Это способствовало включению Советом по космосу РАН серии лунных проектов в Федеральную космическую программу 2016—2025 гг. Главная задача этих проектов — создать научную основу для будущего практического освоения нашего естественного спутника.

С учетом прежних и новых результатов можно сформулировать три наиболее актуальные цели лунных проектов. Во-первых, как уже говорилось, необходимо детально изучить лунный полярный реголит, измерить изотопный состав атомов летучих соединений и основных породообразующих соединений, а также сравнить его свойства со свойствами грунта на умеренных широтах. При подтверждении гипотезы, согласно которой летучие компоненты попали на Луну в кометах и астероидах, мы получим доступ к «естественной хронике» глобальных процессов эволюции солнечной системы за все время ее существования. Если споры простейших организмов внеземного происхождения действительно переносятся между звездными системами под ледяными панцирями межзвездных комет, то их можно обнаружить в веществе лунных полюсов. Помимо научных исследований полярного реголита, необходимо разрабатывать технологии добычи и переработки грунта непосредственно на Луне, чтобы в будущем использовать летучие соединения на борту лунных станций и транспортных средств.

Во-вторых, необходимо знать, отличаются ли физические условия на поверхности полярной Луны и процессы, происходящие в полярной экзосфере, от тех, что наблюдаются на умеренных широтах. На Луне, где нет атмосферы, немалую

роль играет солнечный ветер, прямо взаимодействующий с грунтом и экзосферой. На умеренных широтах плазма солнечного ветра «падает» на грунт «сверху», а в окрестности полюсов она приближается к поверхности почти по касательной. Это формирует сложную картину электрического поля, которое влияет на свойства и поведение лунной пыли.

В-третьих, необходимо обследовать с орбиты и непосредственно с поверхности наиболее благоприятные районы возможного размещения Лунного полярного полигона и в перспективе — постоянно действующей Лунной базы. В ближайшее десятилетие следует приступить и к созданию космической инфраструктуры Лунного полигона, обеспечивающей транспортные операции, энергоснабжение обитаемого комплекса и связь. Вероятно, районы начального освоения должны располагаться в окрестности лунных полюсов, поскольку именно там период освещенности Солнцем максимален, а лунный реголит имеет относительно высокое содержание водяного льда. Большую часть времени размещенные в полярных районах солнечные геофизические и астрономические обсерватории будут работать в автоматическом режиме, но космонавты должны иметь возможность проводить их сборку, наладку, техническое обслуживание и в случае необходимости — ремонт приборов.

Для организации Лунной базы надо выбирать место, где удовлетворяются сразу три условия:

- продолжительный период освещения Солнцем в течение одних лунных суток (одной лунации);

- постоянная радиовидимость Земли для взаимодействия с экипажем базы, для управления аппаратурой и для передачи собранной информации;

- присутствие реголита с заметными включениями водяного льда и других летучих соединений, которые в перспективе станут природными ресурсами для системы жизнеобеспечения базы, выработки ракетного топлива и разработки строительных материалов *in situ*.

Такая совокупность требований к району размещения Лунной базы уменьшает число потенциально интересных областей до нескольких единиц. Именно они и станут объектами особого внимания для будущих покорителей Луны, и участие нашей страны в данных изысканиях, безусловно, отвечает национальным интересам.

Освоение Луны начинается

Лунные проекты ведущих космических агентств, которые начались в первом десятилетии текущего века, практически все нацелены на переход от исследовательских задач к освоению. Программу НАСА в 2009 г. начал исследовательский спутник

LRO, в 2012-м гравитационное поле Луны изучали спутники-близнецы проекта GRAIL («Gravity Recovery and Interior Laboratory»). В 2013—2014 г. агентство успешно провело научно-технологический проект LADEE, в котором с орбиты 20—60 км изучался состав лунной экзосферы. Изюминкой этого проекта стал успешный эксперимент по лазерной связи между станцией на Земле и бортом космического аппарата на расстоянии 385 тыс. км. Скорость передачи данных по каналам низко- и высокоскоростной связи составила 20 и 622 Мбит/с соответственно.

На окололунной орбите успешно отработали индийский спутник «Chandrayan-1» и японский «Kaguya», а сейчас специалисты Японии создают интеллектуальный луноход для исследования поверхности. С 2007 по 2015 г. Китай реализовал четыре проекта «Chang'e». Европейское космическое агентство (ЕКА) в 2003—2006 г. осуществило лунный орбитальный проект SMART-1. Это 2010 г. оно также разрабатывало аппарат для высокоточной посадки в районе лунного полюса.

Последним лунным проектом СССР была автоматическая станция «Луна-24». В 1976 г. она доставила на Землю 170 г лунного грунта с глубины около 2 м. Сейчас Роскосмос и Российская академия наук с учетом новейших научных данных о полярных районах Луны разработали концепцию первого этапа российской программы «Луна-автоматы». До 2025 г. лунные исследования будут проводиться с применением только автоматических станций. Проекты первого этапа должны обеспечить решение двух практических задач для подготовки будущего освоения Луны: выбрать наиболее благоприятный район в окрестности Южного полюса для размещения там Лунного полигона с последующим строительством на нем посещаемой лунной базы и провести детальные физико-химические исследования полярного реголита (включая анализ содержащихся в нем летучих соединений, органических и, вероятно, предбиологических молекулярных соединений).

Изучение и освоение Луны российскими исследователями должно происходить как постепенное расширение лунной инфраструктуры вокруг одного или двух предварительно обследованных плацдармов. Первая посадка российского автоматического лунного аппарата «Луна-25» (рис.4) планируется в период с октября 2018 г. до января 2019 г. в южном приполярном районе. Для него сведения о наличии в реголите воды и других лунных ресурсов должны сопровождаться данными об относительной ровной и безопасной поверхности. Вероятно, в этом районе еще не будут размещаться Лунный полярный полигон и Лунная база. Наиболее подходящий район для них будет выбран в 2020 г., после исследований как непосредственно на поверхности Луны — автоматическим посадочным аппаратом «Луна-25», так и с орбиты — автоматическим

спутником «Луна-26» (рис.4). В реализации этих проектов в части наземного обеспечения связи и траекторных измерений планирует принять участие ЕКА.

В 2021 г. в выбранный район размещения Лунного полярного полигона предполагается направить автоматический аппарат «Луна-27», оснащенный приборами для безопасной и высокоточной посадки (рис.4), грунтозаборным устройством для криогенного забора образцов с глубины до 2 м и комплексом масс-спектрометров для изучения летучих соединений. Часть бортовой аппаратуры собирается предоставить ЕКА. Фактически, «Луна-27» должна стать первым элементом инфраструктуры Лунного полярного полигона. В 2023—2024 г. из района Лунного полигона на Землю на возвратной ракете автоматического аппарата «Луна-28» будет доставлено вещество полярного реголита для детальных исследований в земных лабораториях. Этот проект также может быть реализован совместно с ЕКА. Так должен закончиться первый этап программы «Луна-автоматы».

Что нас ждет впереди?

Реализация проектов первого этапа лунной программы позволит к 2025 г. восстановить технологии отечественных лунных автоматических станций, в том числе мягкую посадку на Луну, продолжительную работу аппарата в условиях длительной полярной ночи и возврат лунной ракеты на Землю. Проведенные научные эксперименты дадут возможность выяснить состав летучих соединений в полярном реголите и выбрать наиболее перспективные районы для следующих шагов в освоении Луны.

Затем лунную программу должны продолжить проекты второго этапа — «Луна-полигон», которые будут выполняться на основе интеграции автоматических и пилотируемых средств. Проекты второго этапа включают автоматическую экспедицию в район Лунного полярного полигона с использованием лунохода длительной (до пяти лет) эксплуатации и большого (до 50 км) радиуса действия (рис.4).

Основной задачей лунохода станет сбор наиболее интересных образцов вещества в окрестности Лунного полигона с глубины, достигающей по крайней мере 2 м, для последующей доставки на Землю. Добытые с помощью бурильной установки, разработанной и испытанной в рамках проекта «Луна-27», образцы будут предварительно сортироваться аналитическими приборами на борту. Из различных участков планируется отбирать не менее шести-семи образцов.

На этапе «Луна-полигон» предполагается создать первую многомодульную исследовательскую станцию на поверхности Луны, которая бу-

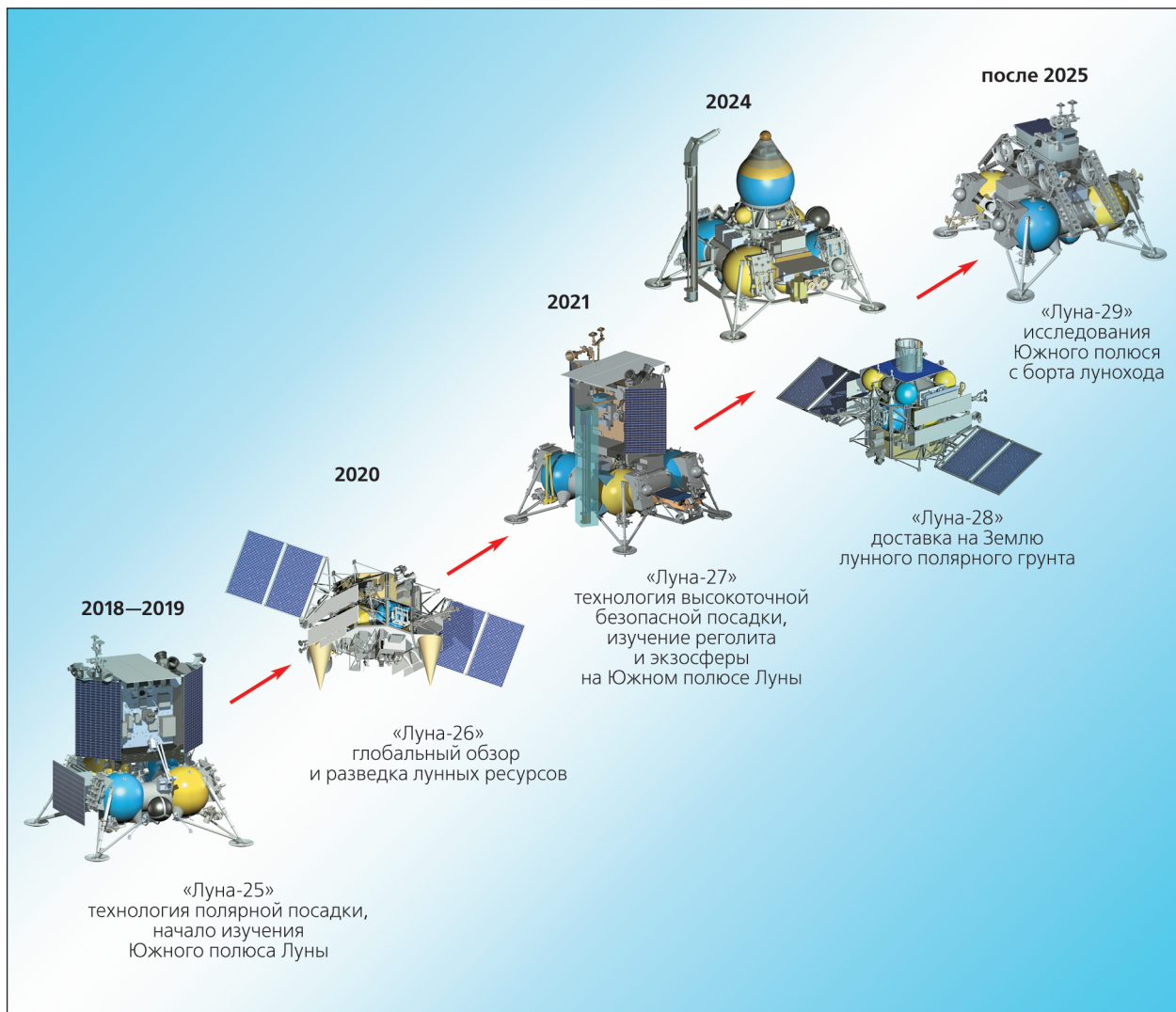


Рис.4. Линейка проектов на этапе «Луна-автоматы» и на начальной фазе этапа «Луна-полигон».

дет иметь общие систему энергопитания, связь с Землей и обеспечение теплового режима. На этой станции предполагается провести научные и технологические эксперименты с луноходом и другими автоматическими посадочными аппаратами при непосредственном участии экипажа пилотируемого аппарата на окололунной орбите: механическую и электрическую стыковку аппаратов на орбите и на поверхности, обследование отдельных участков Луны с использованием многоразового автоматического взлетно-посадочного аппарата, предварительный анализ большого числа образцов грунта и др.

Наиболее интересным на втором этапе представляется проект с применением пилотируемых и автоматических средств по доставке на Землю коллекции образцов лунного полярного грунта, отобранных автоматами из различных участков (как в окрестности полигона, так и в других районах). Пилотируемый корабль должен совершать

полет на низкой полярной окололунной орбите. С ним несколько раз в течение одной экспедиции будет стыковаться взлетно-посадочный аппарат, который доставит с поверхности на окололунную орбиту образцы (с возможной перегрузкой с борта лунохода) лунного реголита. После завершения орбитального полета продолжительностью около недели пилотируемый корабль с коллекцией лунного грунта возвратится на Землю.

К завершению этапа «Луна-полигон» должны быть изучены и решены две наиболее серьезные проблемы обеспечения безопасных пилотируемых экспедиций на Луну — токсичности и высокой абразивности лунной пыли и радиационной защиты людей и аппаратуры на поверхности нашего естественного спутника. Научные эксперименты по решению этих проблем будут проводиться практически на всех посадочных аппаратах — как первого, так и второго этапа. Затем последуют натурные отработки средств по защите

экипажей и техники от пылевой и радиационной опасности на Луне.

Ориентировочно в 2029—2030 гг. должен начаться третий этап российской лунной программы — «Луна-экспедиция». Тогда будут происходить регулярные пилотируемые экспедиции и полеты специализированных автоматических станций на Лунный полярный полигон, целью которых станет проведение научных исследований в рамках триады — «про Луну», «на Луне» и «с Луны». Продолжатся и научно-инженерные исследования по созданию технологий практического использования лунных природных ресурсов.

Ожидаемые результаты на этапе «Луна-автоматы»

Выполнение проектов первого этапа предложенной программы позволит:

- получить фундаментальные научные знания о полярных районах Луны, о процессах ее возникновения и эволюции, о ранних этапах образования и эволюции Солнечной системы (эти результаты дадут возможность планировать как дальнейшие научные космические исследования на лунных полярных полигонах и на окололунной орбите, так и будущие пилотируемые экспедиции);

- выяснить природу и происхождение воды и летучих соединений на современной Луне, изучить химический и изотопный состав летучих, провести поиск в образцах полярного реголита сложных молекулярных соединений, включая предбиологические молекулы и структуры (эти данные помогут существенно продвинуться в понимании космохимических процессов в протосолнечном облаке и в межзвездной среде, в решении фундаментальной проблемы происхождения жизни на Земле);

- построить научно-инженерную модель поверхности и экзосферы лунных полярных районов и исследовать наличие и распространенность летучих соединений в полярном реголите (эта информация станет научно-технической базой для освоения Луны человеком, для создания элементов лунной космической инфраструктуры);

- воссоздать в России на современном уровне технологии лунной посадки, продолжительной работы аппаратов на поверхности Луны, мобильных исследовательских экспедиций на автоматических долгоживущих луноходах большого радиуса действия и возврата космических аппаратов с Луны на Землю. Эти ключевые для освоения Луны технологии гарантируют доступ к лунным ресурсам, если такая задача будет поставлена перед космической отраслью; такой технологический задел необходим также для решения сходных задач изучения Марса, астероидов, спутников Юпитера и Сатурна;

- организовать сотрудничество с зарубежными странами, что позволит России сэкономить значительные средства и сосредоточить свои усилия на разработке наиболее перспективных космических технологий, в которых у нашей страны имеется опыт и немалый задел (бурение и добыча реголита, технологии лунохода, создание радиоизотопных источников энергии, возврат аппарата с Луны на Землю).

Проекты исследования Луны автоматическими космическими аппаратами на этапах «Луна-автомат» и «Луна-полигон» уже включены с разной степенью завершения в проект Федеральной космической программы на 2016—2025 гг. Они представляют, на наш взгляд, совершенно необходимую стадию государственной программы освоения Луны. Проекты следующего этапа «Луна-экспедиция» связаны уже с пилотируемыми полетами и должны обстоятельно обсуждаться в последующих публикациях. Как мы уже отмечали выше, именно при решении лунных задач наиболее эффективно объединяются самые сильные стороны отечественной пилотируемой космонавтики с громадным опытом исследований на автоматических космических аппаратах. Стратегический вектор развития российской дальней космонавтики задан: вначале — Лунный полярный полигон и Лунная база, затем — пилотируемая экспедиция на Марс. Наша ближайшая цель также ясна — посадка осенью 2018 г. «Луны-25» в неизведанный район в окрестности Южного полюса для пионерных исследований льдов, вмержших в реголит, и летучих соединений, принесенных кометами от самых далеких границ Солнечной системы. ■

В заключение мы выражаем благодарность сотрудникам Научно-производственного объединения им.С.А.Лавочкина В.В.Хартову, В.П.Долгополову и др., сотрудникам ИКИ РАН — участникам проектов «Луна-25», «Луна-26» и «Луна-27» и С.И.Попелю за продуктивное и полезное сотрудничество при подготовке данной статьи.