

ОБ ОСВОЕНИИ ЛУНЫ. ПЛАНЫ И БЛИЖАЙШИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ



И.Г. МИТРОФАНОВ,

доктор физико-математических наук
Институт космических исследований РАН



Л.М. ЗЕЛЁНЫЙ,

академик
Институт космических исследований РАН

DOI: 10.7868/50044394819040029

«...Теперь уже никто не сомневается, что человек сможет достигнуть других миров. Это позволит не только радикально умножить богатство наших знаний о Вселенной, но даст возможность использовать сокровища других миров для улучшения жизни на Земле. На повестке дня – освоение ближайшей к нам планеты – загадочной Луны».

Академик М.В. Келдыш

В предлагаемой публикации мы продолжаем обсуждение темы освоения Луны, начатое в первой части статьи “Об освоении Луны” (ЗиВ, 2019, № 4). В статье обсуждаются научные и технологические исследования, которые будут проведены на первом этапе российской лунной программы, основанной на использовании автоматических космических аппаратов, и представлено их краткое описание.

ЛУНА ВНОВЬ НА ПОВЕСТКЕ ДНЯ

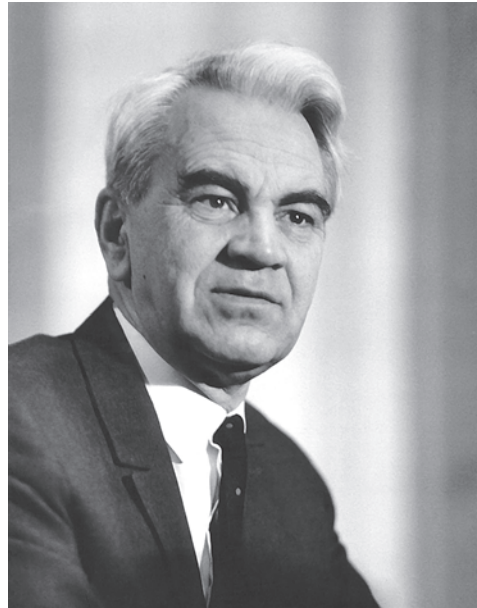
Вынесенные в эпиграф слова академика М.В. Келдыша – одного из основателей отечественной космонавтики (ЗиВ, 1991, № 3; 2011, № 1) – были написаны

более 50 лет тому назад: в год, когда страна отмечала десятилетие со дня запуска первого искусственного спутника Земли, ознаменовавшего начало космической эры. Оптимизм президента Академии наук был вполне обоснован: 7 октября 1959 г. с помощью

автоматической межпланетной станции (АМС) “Луна-3” впервые было получено изображение обратной стороны Луны, 3 февраля 1966 г. АМС “Луна-9” впервые совершила мягкую посадку на лунную поверхность, а на 1969 год был намечен первый экспериментальный пуск отечественной сверхтяжелой ракеты “Н-1”, предназначенной для будущей лунной пилотируемой экспедиции (ЗиВ, 1993, №№ 4, 5).

Но в последующие десятилетия ожидания главного ученого страны не оправдались. Несмотря на успешную реализацию исследований в 1970–1976 гг. с помощью автоматических самоходных аппаратов “Луноход-1” и “Луноход-2”, доставку на Землю лунного грунта тремя космическими комплексами “Луна-16”, “Луна-20” и “Луна-24”, реализация отечественной лунной программы была остановлена. После успешных высадок в 1969–1972 гг. на Луну американских астронавтов (ЗиВ, 2009, № 4) “политический стимул” был утрачен, а результаты выполненных научных исследований в то время не оказались достаточно весомыми для ее продолжения.

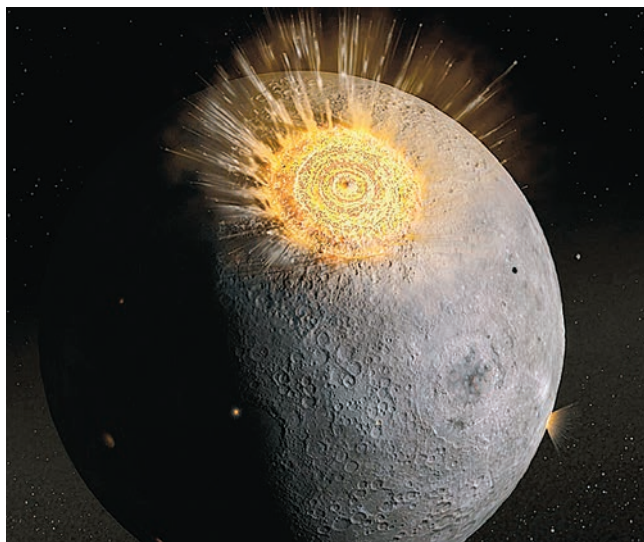
Однако в прошедшие с той поры годы ситуация существенно изменилась. В первой части статьи были приведены результаты исследований, выполненных за это время; они помогли открыть облик “новой Луны” – Луны XXI века. Пророческое высказывание М.В. Келдыша, пусть и с задержкой на 50 лет, начинает сбываться. Тогда, в 1967 году, оно было основано на провидческой интуиции выдающегося ученого. Сегодня необходимость освоения Луны обосновывается накопленными научными знаниями о нашем естествен-



ном спутнике и оценками потенциальной практической пользы от его освоения. Именно поэтому предсказание Келдыша выбрано в качестве эпиграфа к этой части статьи. Во втором десятилетии XXI века Луна вновь оказалась “на повестке дня”.

НАУКА – О ЛУНЕ, НА ЛУНЕ И С ЛУНЫ

Наука о Луне. Основными задачами в научных исследованиях на полюсах Луны станут вечная мерзлота и полярная экзосфера. Самым актуальным вопросом является происхождение воды в полярных районах: либо эта вода образовалась в реголите из водорода солнечного ветра (солнечная вода), либо эта вода была доставлена на Луну кометами (кометная вода; ЗиВ, 2019, № 1). Известно, что отношение долей дейтерия и водорода (D/H) в солнечном ветре составляет менее 7×10^{-6} . В кометах различных семейств наблюдаются разные величины для этого соотношения $(1,4-6,5) \times 10^{-4}$, поэтому прямые



Воображаемая картина столкновения малого небесного тела с Луной, произошедшего около 4 млрд лет тому назад. Испарившиеся при ударе летучие соединения образовали временную атмосферу Луны, которая частично сконденсировалась на холодной поверхности в окрестности лунных полюсов, а частично испарилась в открытый космос. Рисунок Daniel D. Durda (<https://www.lpi.usra.edu/exploration/multimedia/EarthMoonBasinForming.pdf>)

измерения содержания доли дейтерия в лунной полярной воде позволят установить ее кометное или солнечное происхождение, или оценить процентное соотношение первой и второй. Также следует учесть, что при столкновениях с кометой иней от короткоживущей атмосферы должен откладываться в “холодных ловушках” отдельными слоями, поэтому анализ состава воды на разной глубине позволит определить изотопный состав воды небесных тел, упавших на Луну за сотни миллионов лет. Можно надеяться, что изучение слоистого характера лунной “вечной мерзлоты” также позволит восстановить хронологию бомбардировок кометами и астероидами двойной планетной системы Земля–Луна, оценить их масштаб и интенсивность. С другой стороны, изучение доли льдов “солнечной воды” в приповерхностных слоях реголита позволит определить интенсивность потока солнечного ветра в прошлом, обнаружить признаки и хронологию возможных гигантских эруптивных событий на Солнце.

Лунная летопись солнечной активности важна для понимания эволюции природной среды на Земле, так как

два небесных тела в двойной планетной системе Земля–Луна в равной степени подвергались воздействию потоков солнечного излучения и ветра, одновременно испытывали интенсивные бомбардировки кометами и астероидами. На Земле следы космических катастроф не могли сохраниться вследствие протекания активных геологических процессов. На Луне “летопись” о них хранится на полюсах.

Лунная вечная мерзлота представляет собой естественный депозитарий, где в реголите могут храниться органические соединения. Они образовались в межзвездных газопылевых и молекулярных облаках, попали в вещество комет и астероидов и были доставлены на Луну этими небесными телами. Учитывая тот факт, что Земля также подвергалась аналогичной бомбардировке, состав космического вещества в лунных льдах подобен составу вещества, когда-то доставленного из космоса на Землю.

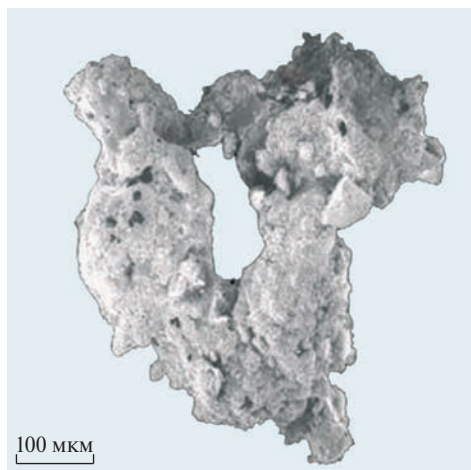
Главный вопрос современного естествознания – происхождение земной жизни. Если в веществе на полюсах Луны будут обнаружены предбиологические соединения, то аналогичные

должны были попасть в первичный океан ранней Земли; они могли дать старт процессу возникновения первичных форм земной жизни¹. Наиболее интригующей возможностью является обнаружение в лунной вечной мерзлоте космических “спор” жизни – в этом случае гипотеза панспермии станет экспериментально подтвержденной.

На первом этапе исследования полярного реголита будут проводиться в ходе экспериментов на борту автоматических посадочных аппаратов: они позволят определить основные породообразующие элементы полярного вещества, содержание в нем воды и летучих. В дальнейшем образцы будут доставлены на Землю для детального анализа, так как современные лаборатории обладают гораздо большим набором инструментов и методов изучения состава вещества, поиска и отождествления содержащихся в нем в минимальных концентрациях сложных молекул и соединений, нежели любой прибор на борту космического аппарата. На этом этапе планируется изучить компоненты космического вещества с предельно низкими концентрациями, выполнить поиск и отождествление сложных высокомолекулярных структур и предбиологических соединений.

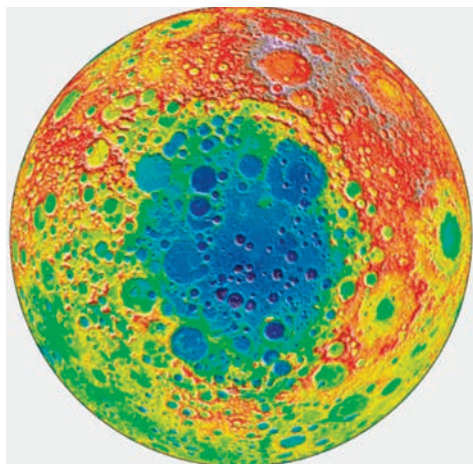
Важным объектом исследований на первом этапе также станет полярная экзосфера. Термин “экзосфера” означает тонкую оболочку плазмы, нейтральных атомов и пылинок над лунной поверхностью. Эта оболочка возникает вследствие взаимодействия поверхности Луны с потоком солнечного ветра, с галактическими космическими лучами и энергичными частица-

ми от взрывных процессов в активных областях на нашем светиле. Свойства экзосферы на полюсах должны существенно отличаться от ее свойств в окрестности лунного экватора и на умеренных широтах. На полюсах потоки плазмы и частиц от Солнца двигаются практически по касательной к поверхности, и характер их взаимодействия с реголитом меняется при разных условиях освещенности. Нагретое солнечными лучами вещество реголита может быть местом образования молекул “солнечной воды” и локальным источником пылевых частиц экзосферы (ЗиВ, 2019, № 4). Напротив, в реголите затененных районов может происходить конденсация частиц экзосферы. В полярных районах нагретые и холодные участки располагаются на небольшом удалении друг от друга, и в течение лунного дня условия их освещенности и затенения существенно меняются; поэтому процессы взаимодействия полярной экзосферы с ее поверхностью должны носить сложный локальный характер, изучение которого важно как для понимания процессов образования вечной мерзлоты



Фотография частицы лунной пыли с микронным разрешением. NASA

¹Митрофанов И.Г. Поиски внеземной жизни в Солнечной системе: статус и перспективы // *Астрономический журнал*, 2017. Т. 4 (94). С. 315–322.



Гигантский ударный кратер «Южный полюс–Эйткин» на южной области обратной стороны Луны. Синий и красный цвета соответствуют понижению (и повышению) поверхности относительно идеальной сферы. Центральная область кратера имеет средний уровень глубины – около 13 км. Фото NASA

и экзосферы, так и для проектирования элементов инфраструктуры на лунной поверхности.

Особое место в исследованиях лунной экзосферы займет изучение ее пылевой компоненты. Лунная пыль состоит из частиц лунного реголита, отколовшихся вследствие его бомбардировки энергичными заряженными частицами космического происхождения (ЗиВ, 2017, № 3). Под воздействием ультрафиолетового излучения Солнца пылинки приобретают электрический заряд и вследствие электростатических сил могут «левитировать» (парить) над заряженной освещенной поверхностью. Так как вблизи полюсов условия освещенности могут меняться, на близких расстояниях потоки «левитирующей» пыли в полярной экзосфере Луны должны иметь быстропеременный характер. Известно, что поверхности пылинок имеют очень сложную форму и высокую химическую активность,

поэтому изучение свойств лунной пыли и ее поведения в экзосфере необходимо для обеспечения безопасности будущих пилотируемых экспедиций.

Южный полюс Луны находится на границе гигантского ударного кратера Южный полюс–Эйткин² (диаметр – около 2500 км, глубина – около 13 км). Этот кратер образовался вследствие столкновения молодой Луны с крупным небесным телом около 4 млрд лет назад, в период гигантской космической бомбардировки внутренней области ранней Солнечной системы. На поверхности этого кратера может присутствовать древнее вещество лунной мантии³. Исследование состава вещества Луны на границе кратера, вблизи Южного полюса, позволит построить модель гигантского столкновения астероида с лунной поверхностью и выяснить особенности изотопного и элементного состава вещества в лунной мантии.

Особый интерес представляют измерения локальной намагниченности. Известно, что на современной Луне отсутствует дипольное магнитное поле, подобное земному. Однако локальные магнитные поля наблюдаются во многих районах на нашем естественном спутнике, таким районом – с самой большой намагниченностью – является кольцевая граница кратера Южный полюс–Эйткин (ЗиВ, 2014, № 2). Эти измерения позволят выяснить связь намагниченности с процессом образования

² Garrick-Bethell I., Zuber M.T. Elliptical structure of the lunar South Pole-Aitken basin // *Icarus*. 2009, V. 2 (204). P. 399–408.

³ О характере и составе поверхностного и приповерхностного слоя пород кратера Южный полюс – Эйткин см. подробнее: Moriarty D.P., Pieters C.M. The Character of South Pole-Aitken Basin: Patterns of Surface and Subsurface Composition // *Journal of Geophysical Research: Planets*, 2018. V. 3 (123). P. 729–774 (doi: 10.1002/2017JE005364).

ударного кратера и также проследить характер взаимодействия магнитных неоднородностей лунного поля с собственным магнитным полем натекающей плазмы солнечного ветра.

Луна обладает сейсмической активностью, и природа этой активности пока не ясна. Сейсмические волны могут возбуждаться столкновениями с астероидами, они также могут быть связаны с потрескиванием внутренних слоев вследствие лунных приливов и/или разрядки внутренних напряжений. На Луне происходят относительно сильные “лунотрясения” силой до 5 баллов⁴. Изучение сейсмических явлений с помощью приборов, установленных вблизи полюсов, также позволит “просветить” сейсмическими волнами внутренние слои и выяснить характер их неоднородностей и разрывов.

На полюсах присутствуют постоянно затененные участки поверхности. Измерения теплового потока через поверхность этих участков позволит оценить мощность внутренних источников энергии Луны, уточнить состав и строение нашего естественного спутника.

Дополнительно к основному, орбитальному и вращательному движению, наш естественный спутник, являясь компонентом двойной планетной системы Земля–Луна, также совершает прецессию и нутацию в условиях

Лунная сила тяжести в 6 раз меньше земной, на Луне отсутствует сильное магнитное поле и велика радиация. Вопросы рождения, развития и жизнедеятельности земных организмов и растений на Луне будут основополагающими в этих исследованиях

регулярных приливных возмущений, под воздействием взаимной гравитации. Характер этих движений отражает особенности внутреннего строения Луны. Размещение на лунных полюсах лазерных отражателей позволит измерить вариации расстояния между отражателями и наземной лазерной установкой с высокой точностью (до миллиметров) и на основе анализа полученных данных построить динамическую модель собственного движения Земли и Луны. Анализ этих параметров, в свою очередь, позволит уточнить внутреннее строение и характер эволюции двойной планетной системы Земля–Луна.

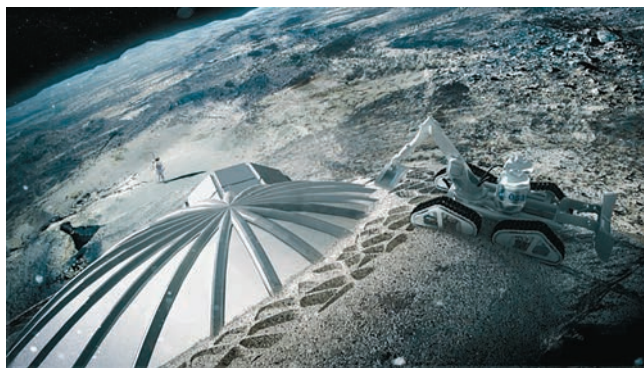
Наука на Луне. Важнейшей частью исследований на Луне станут биологические исследования. Лунная сила тяжести в 6 раз меньше земной, на Луне отсутствует сильное магнитное поле и велика

радиация. Вопросы рождения, развития и жизнедеятельности земных организмов и растений на Луне будут основополагающими в этих исследованиях. Лунная биология, ботаника и зоология станут источником фундаментальных знаний по астробиологии. Будет выяснено, в какой мере земная форма жизни связана с физическими условиями нашей планеты и какие изменения могут

произойти в пониженной гравитации и в отсутствие магнетизма. Примитивные бактерии, растения и сложные живые организмы после продолжительного пребывания в лунных условиях будут возвращаться на Землю для детальных исследований на микромолекулярном и генетическом уровнях.

Безусловно, важнейшей частью науки на Луне станут медико-биологические исследования человека. Без этих знаний невозможно конструировать

⁴*Khan A., Pommier A. et al. The lunar moho and the internal structure of the Moon: A geophysical perspective // Tectonophysics, 2013. V. 609. P. 331–352 (doi: 10.1016/j.tecto.2013.02.024); Goins N.R., Dainty A.M. et al. Seismic energy release of the Moon // Journal of Geophysical Research, 1981. V. B1 (86). P. 378–388 (doi: 10.1029/JB086iB01p00378).*



“Воображаемая” картина строительства обитаемого лунного модуля в верхнем слое из лунного реголита для защиты от космической радиации. Рисунок ESA

и разрабатывать космические комплексы для марсианских экспедиций, осуществлять пилотируемые полеты к астероидам и к дальним рубежам Солнечной системы. В лунных экспедициях будут испытаны средства защиты человеческого организма от эффектов продолжительного пребывания в дальнем космосе. В целом можно утверждать, что в процессе исследований на Луне будет выяснен фундаментальный вопрос о принципиальной возможности существования внеземных колоний человеческой цивилизации.

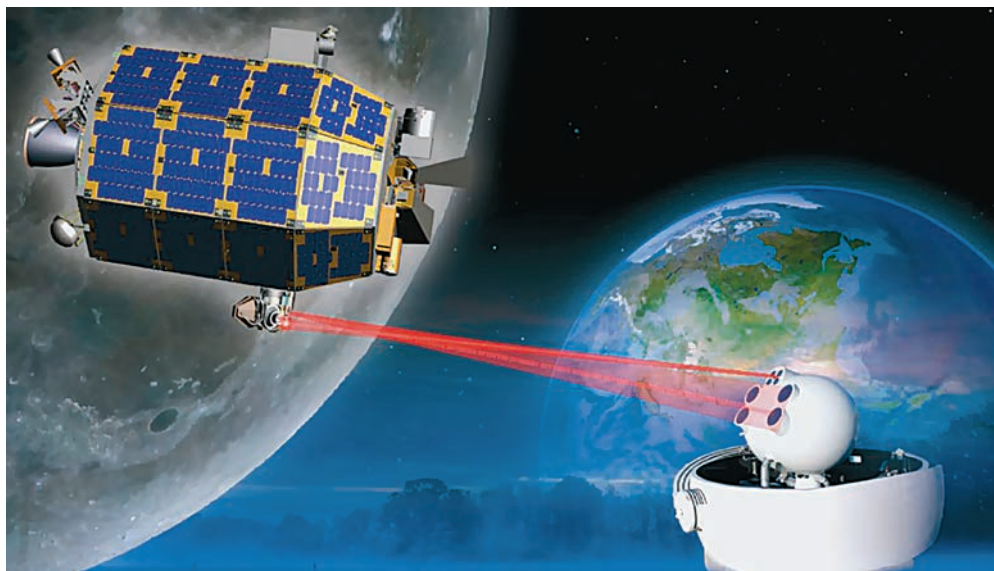
К медико-биологическим исследованиям непосредственно примыкает изучение лунного радиационного фона и защиты от него. Известно, что космическая радиация оказывает отрицательное воздействие на здоровье, физическое состояние и работоспособность человека – при том, что многие конкретные проявления воздействия радиации до сих пор остаются недостаточно изученными или даже неизвестными (ЗиВ, 2019, № 3). Так, относительно недавно было установлено, что продолжительное воздействие энергичных тяжелых заряженных частиц на животных может привести к ухудшению

памяти и понижению способностей приобретения навыков и знаний⁵. Наиболее эффективным способом защиты обитаемых модулей от космических лучей является их покрытие толстым слоем лунного реголита. Однако кроме потоков галактических космических лучей и энергичных частиц от солнеч-

ных протонных событий в приповерхностном слое Луны также возникает вторичное нейтронное и гамма-излучение от воздействия энергичных частиц указанных потоков на вещество. Поэтому детальные радиационные исследования (наряду с численным моделированием конкретных вариантов радиационной защиты) станут научной основой для создания на Луне радиационно безопасных обитаемых модулей для пилотируемых экспедиций.

Значительная часть исследований на Луне будет связана с инженерными науками. Во-первых, будут разрабатываться технологии использования лунных ресурсов для создания лунной космической инфраструктуры, производства воды, кислорода и водорода для систем жизнеобеспечения обитаемых модулей и лунной базы и для заправки реактивных двигателей космических аппаратов.

⁵ Красавин Е.А. С новой концепцией риска // Еженедельник Объединенного института ядерных исследований. Дубна. 25 декабря 2017 г. <http://jinrmag.jinr.ru/2017/51/kr51.htm> (дата обращения 28.06.2018); см. также: видео доклада члена-корреспондента РАН директора Лаборатории радиационной биологии ОИЯИ Е.А. Красавина “Радиационный риск при пилотируемых полетах в дальний космос” на заседании Совета РАН по космосу. URL: https://www.youtube.com/watch?time_continue=23&v=hxn055ZhnOo (дата обращения 28 июня 2018 г.).



Эксперимент NASA по лазерному каналу связи с Луной, проведенный 18 октября 2013 г. с борта искусственного спутника Луны "LADEE". Фото NASA

Во-вторых, обсуждается возможность изготовления конструктивных элементов лунной инфраструктуры или деталей космических аппаратов на основе 3D-печати. Успешные эксперименты в этих двух направлениях смогут обеспечить технологический прорыв в космонавтике – пропадет необходимость в доставке с Земли на Луну значительных грузов, что, в свою очередь, приведет к уменьшению затрат на освоение нашего естественного спутника.

В-третьих, важной областью лунных научно-инженерных исследований станут вопросы защиты космонавтов и лунной техники от воздействия лунной пыли. Под влиянием тяжелых заряженных частиц космических лучей лунные пылинки приобретают сложную микроскопическую структуру поверхности, на которой присутствуют химически активные свободные радикалы. Вследствие этого пылинки имеют высокую абразивность (разрушают поверхности, с которыми они взаимодейст-

вуют – складки скафандров, детали механизмов) и химическую активность. Они обладают сильной токсичностью, налипают на скафандр и элементы конструкции. Проблему защиты усложняет электростатическая левитация пылинок – даже при искусственной фиксации частиц верхнего слоя поверхности в районе размещения лунной базы пылинки будут осаждаться на ней.

Большое внимание в физико-технических лунных исследованиях будет уделено разработке межпланетной лазерной связи. Активная лунная деятельность потребует использования высокоинформативного канала связи между Землей и Луной, реализация которого на основе радиоволн потребует использования антенн большого диаметра и значительных энергетических затрат. Первые опыты по устройству лунного канала лазерной связи были проведены учеными NASA 18 октября 2013 г. в рамках проекта "LLCD": скорость передачи данных по лазерно-

му лучу с борта искусственного спутника Луны “LADEE” (Lunar Atmosphere and Dust Environment Explorer – Исследователь лунной атмосферы и пылевого окружения) составила 622 Мбит/с (ЗиВ, 2014, № 1, с. 106–107)⁶. В перспективе планируется провести летные испытания лазерного канала передачи в межпланетном проекте NASA “Psyche” (“Психея”; запуск АМС к астероиду Психея запланирован на октябрь 2023 г.). Предполагается достичь скорости передачи информации на Землю около 260 Мбит/с на расстояниях от 0,1 до 2,5 а.е. Эта величина превышает информативность каналов цифрового телевидения. Очевидно, что создание лазерного канала связи Земля–Луна обеспечит практические потребности лунных пилотируемых экспедиций, создаст условия для использования на Луне телеуправляемых автоматов.

Наука с Луны. Окрестность полюсов Луны представляется идеальной внеземной площадкой для размещения астрономической обсерватории. Известно, что установка астрономических телескопов на космические аппараты привела в середине прошлого века, по образному выражению члена-корреспондента АН СССР И.С. Шкловского⁷, ко “второй революции в астрономии”.

⁶NASA Laser Communication System Sets Record with Data Transmissions to and from Moon. URL: <https://www.nasa.gov/press/2013/october/nasa-laser-communication-system-sets-record-with-data-transmissions-to-and-from/#.XOgYYxYzapo> (дата обращения 14.06.2019).

⁷Шкловский И.С. Вторая революция в астрономии подходит к концу // Вопросы философии, 1979. № 9. С. 54–69.

Внеатмосферные астрономические наблюдения позволили открыть и провести исследования прежде неизвестных космических объектов, и также изучить ранее известные астрономические источники в прежде недоступных диапазонах электромагнитного излучения (ИК-, УФ-рентгеновские и гамма-лучи).

Значительный прогресс был также достигнут в таких традиционных для астрономии спектральных диапазонах, как видимый свет и радиоволны. В первом случае вывод телескопа в космос “снимает” проблему рассеяния света в атмосфере, во втором – позволяет создать космический интерферометр с рекордным угловым разрешением благодаря базе космического масштаба. Однако обсерватории на

космических аппаратах обладают существенным недостатком – они имеют ограниченное время функционирования и практически не допускают ремонт или дооснащение. Космический аппарат расходует топливо на поддержание орбиты и ориентации, его бортовые системы имеют конечное время жизни. Так, например, уникальная американская космическая гамма-обсерватория NASA им. А. Комптона (“Compton”, CGRO; ЗиВ, 1991, № 6, с. 60) была в 2000 г. вынуждено “снята” с околоземной орбиты вследствие вполне банальной неисправности – отключения одного из бортовых гироскопов⁸. Начальная стоимость уникальной космической оптической обсерватории

⁸Compton Gamma Ray Observatory safely returns to Earth. 4 June 2000. URL: <https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/cgro/deorbit/return.html> (дата обращения 14.06.2019).

Окрестность полюсов Луны представляется идеальной внеземной площадкой для размещения астрономической обсерватории. Установка астрономических телескопов на космические аппараты привела в середине прошлого века ко “второй революции в астрономии”

NASA им. Э. Хаббла (“Хаббл”, ЗиВ, 1990, № 4, с. 46; 1992, № 1; 2005, № 6; 2010, № 6) была равна 4,7 млрд долларов, последующие затраты на пять пилотируемых экспедиций кораблей “Спейс Шаттл” (“Space Shuttle”) для ее ремонта и дооснащения (ЗиВ, 1994, № 4; 2000, № 5, с. 62–64; 2002, № 4, с. 37) составили 5,8 млрд долларов⁹. Размещение космических астрономических телескопов на лунной поверхности предоставит возможности их регулярного обслуживания и дооснащения и сделает время существования лунной астрономической обсерватории практически неограниченным.

Размещение радиоантенн на постоянно затененной от Земли поверхности Луны впервые позволит провести исследования космических источников в сверхдлинноволновом диапазоне. Радиофон Земли в этом диапазоне превышает поток от всех источников космического происхождения¹⁰. Размещение радиоантенн на постоянно затененной от Земли поверхности Луны впервые позволит провести исследования космических источников в длинноволновом диапазоне.

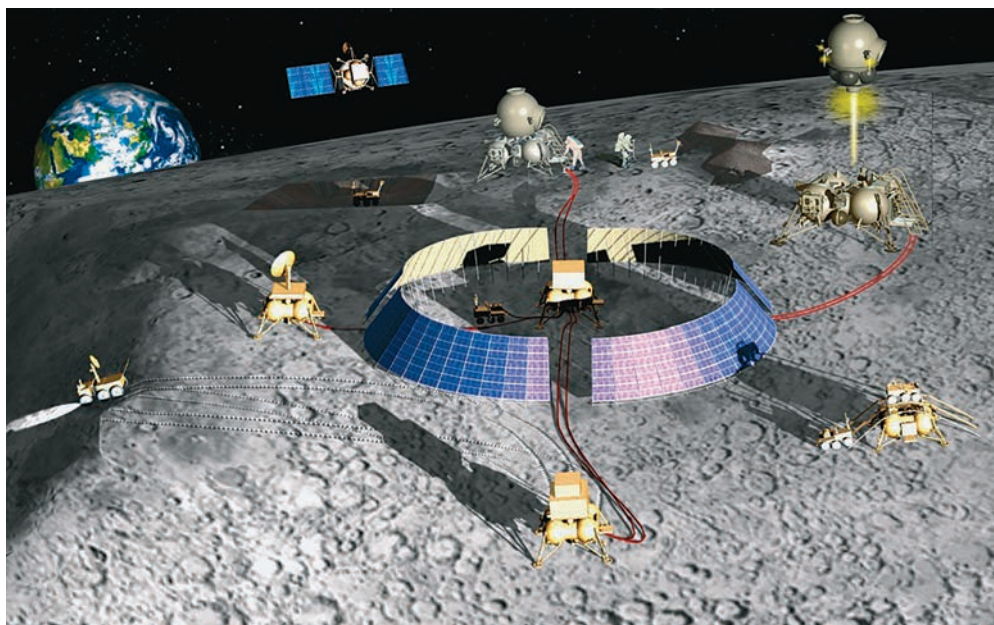
Первая попытка зарегистрировать радиофон космоса с обратной стороны Луны была предпринята в январе 2019 г. в рамках лунного проекта Китая “Чанъе-4” (ЗиВ, 2019, № 1, с. 86–88).

⁹James Webb Space Telescope (JWST) Independent Comprehensive Review Panel (ICRP). Final Report. 29 October 2010. URL: https://www.nasa.gov/pdf/499224main_JWST-ICRP_Report-FINAL.pdf (дата обращения 28.06.2018); *Overbye D.* Refurbishments Complete, Astronauts Let Go of Hubble // The New York Times 19 may 2009. URL: https://www.nytimes.com/2009/05/20/science/space/20hubble.html?_r=2&ref=science (дата обращения 28.06.2018).

¹⁰*Silk J.* Put telescopes on the far side of the Moon // Nature, 2018. V. 553(7686). P. 6 (doi: 10.1038/d41586-017-08941-8).



Предполагаемый проект радиотелескопа, работающего на обратной стороне Луны. Рисунок NASA



Проект лунного полигона, который предполагается создать в приполярном районе Луны на основе взаимодействия автоматических космических аппаратов. Рисунок "НПО им. С.А. Лавочкина"

Результаты этих исследований пока не известны, однако очевидно, что исследователям еще предстоит пройти долгий и сложный путь – от измерения фона до изучения отдельных астрономических радиисточников.

Наконец, в состав полярной обсерватории могут быть включены станции наблюдений Солнца и Земли. Разместив такие станции на постоянно освещенной вершине полярного холма, можно обеспечить непрерывный мониторинг метеорологических процессов и регистрацию крупных техногенных явлений на Земле, а также прогноз эруптивных процессов на Солнце.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ПОЛЬЗА ОТ ЛУННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Пилотируемые полеты за пределы околоземной орбиты. Луна является ближайшим рубежом освоения дальнего

космоса. Согласно планам Роскосмоса и NASA, регулярные пилотируемые полеты в окололунное космическое пространство и на Луну должны начаться в третьем десятилетии текущего века. Согласно прогнозам Роскосмоса на долгосрочную перспективу, посадки космических аппаратов на Луну будут проводиться в заранее подготовленный район "лунного полигона" в окрестности Южного полюса, который должен иметь благоприятные природные условия освещенности и иметь полезные лунные ресурсы. В этом районе будет размещена космическая инфраструктура, включающая бытовой модуль с радиационной защитой, систему энергоснабжения, мобильные средства и научно-исследовательский комплекс. В дальнейшем "лунный полигон" будет постепенно расширяться и превратится в "лунную базу" для экспедиций

посещения¹¹. NASA, со своей стороны, предлагает странам-участницам орбитальной станции МКС принять участие в работах по созданию окололунной пилотируемой станции LOP-G¹².

Опыт лунной космонавтики позволит начать разработку пилотируемых комплексов для экспедиции на Марс. Многие элементы этих комплексов – такие, как двигательные установки, системы жизнеобеспечения, управления и коммуникаций будут испытываться и отрабатываться на Луне. Медико-биологические вопросы длительных космических полетов за пределами земной магнитосферы также будут изучены в рамках лунной программы. Лунные экспедиции предоставят возможность исследовать вопросы “космического здравоохранения” и профилактической защиты от неблагоприятных явлений, причем будут обеспечены условия непрерывного мониторинга состояния космонавтов в ходе всей экспедиции и также возможности

экстренного, в случае необходимости, возвращения на Землю.

Освоение лунных ресурсов. Вещество Луны содержит практически все элементы, которые присутствуют в земной коре. Многие из этих элементов представляют собой такие важные природные ресурсы для электронной и химической промышленности, как титан, металлы платиновой группы, редкоземельные металлы, золото, медь, никель¹³. Уже сейчас эксперты указывают на истощение в обозримой перспективе этих ресурсов на Земле, и поэтому наличие космических средств для их разведки и добычи на Луне станет важным условием развития техники и создания новых технологий. Вполне возможно, что в долгосрочной перспективе на Луне будут построены промышленные установки по первичной переработке лунных ресурсов, что позволит значительно уменьшить массу доставляемых на Землю грузов. Перенос на Луну энергоемких производств по переработке лунного вещества с потенциально вредными экологическими эффектами для земной среды создаст благотворное воздействие на нашу “голубую планету”.

Весьма интересной областью применения лунных ресурсов может стать их применение *in situ* для обеспечения нужд лунной космонавтики и полетов в дальний космос. Добыча и использование лунных ресурсов также вполне может стать привлекательными отраслями для частного бизнеса. Эта перспектива ставит перед космическим сообществом вопросы юридического обоснования коммерческого использования продуктов лунной деятельности. В “Договоре о принципах деятельности государств по исследованию и использованию кос-

¹¹ Черепко И. Российская лунная база должна будет вместить 12 человек. “Роскосмос” определяет облик перспективной инфраструктуры на спутнике Земли // Известия, 21 июня 2016. URL: <https://iz.ru/news/618876> (дата обращения: 28.06.2018); Там же. Россия начнет колонизацию Луны в 2030 году // Известия, 8 мая 2014. URL: <https://iz.ru/news/570482> (дата обращения 28.06.2018).

¹² NASA’s Lunar Outpost will Extend Human Presence in Deep Space. 2 May 2018. URL: <https://www.nasa.gov/feature/nasa-s-lunar-outpost-will-extend-human-presence-in-deep-space> (дата обращения 28.06.2018); Gateway Memorandum for the Record a statement from NASA regarding partnerships and development of the Lunar Orbital Platform-Gateway, published May 2, 2018. URL: https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/gateway_domestic_and_international_benefits-memo.pdf (дата обращения 29.06.2018).

¹³ Воздвиженская А. Недра внутреннего сгорания. Золото станет самым дорогим металлом на Земле через 20 лет // Российская газета, 2 апреля 2015 г.

Автоматические космические проекты 1-го этапа лунной программы



Начальный этап освоения Луны на основе разработки и реализации проектов с АМС “Луна-25” – “Луна-27”. Последовательность запусков российских проектов. Рисунок ИКИ РАН

мического пространства, включая Луну и другие небесные тела”, подписанном 27 января 1967 г., лунные ресурсы определены как общечеловеческое достояние. С другой стороны, принятый в ноябре 2015 г. национальный закон США “О конкурентоспособности коммерческих запусков в космос” разрешает гражданам США свободно заниматься разработкой планет и астероидов, владеть и распоряжаться полученными ресурсами, в том числе водой и минералами¹⁴. В сентябре 2017 г. Гагская рабочая группа при Международном институте воздушного и космического права Лейденского уни-

¹⁴ *Допова С.М.* Закон США о коммерческом космосе 2015 г. и вопросы модернизации международного космического права // Исследования космоса, 2016. Т. 1. С. 51–65 (doi: 10.72562453–8817.2016.1.20590). URL: http://e-notabene.ru/ik/article_20590.html (дата обращения: 30.06.2018).

верситета (Нидерланды) опубликовала проект “Основных положений международного режима добычи и коммерческого использования полезных ископаемых в космосе”¹⁵. Отечественные эксперты отмечают¹⁶, что при формальном декла-

¹⁵ Draft building blocks for the developments of an international framework on space resource activities. URL: <https://www.universiteitleiden.nl/binaries/content/assets/rechtsgeleerdheid/instituut-voor-publiekrecht/lucht-en-ruimterecht/space-resources/draft-building-blocks.pdf> (дата обращения 30.06.2018).

¹⁶ *Конюхова А.С.* Опубликованы основные положения для разработки правового режима деятельности по добыче полезных ископаемых в космосе. 30 апреля 2018 г. // Проект “Право и авиация”. URL: <http://avialaw.blog/blog/mezhdunarodnoe-pravo/osnovnye-polozheniya-dlya-razrabotki-pravovogo-rezhima-deyatelnosti-po> (дата обращения 30.06.2018).

рировании верности принципам международного права представленные в этом проекте положения о преимущественном праве на добычу ресурсов, о юрисдикции и контроле в отношении космических продуктов, а также о ресурсных правах участников космической деятельности” входят в противоречие с положениями “Договора по космосу” 1967 года.

Освоение космоса в условиях рыночной экономики. Очевидно, что изучение и освоение космоса потребует значительных финансовых затрат, направленных на создание новой космической техники. При этом практически невозможно предусмотреть все возможные трудности и неудачи, следовать жесткому плану-графику законтрактованных работ и заранее согласованным условиям финансирования: этот процесс должен быть обеспечен эффективным механизмом оперативного управления. При разработке новой техники излишняя заформализованность принятия оперативных решений зачастую приводит к полной остановке работ. В качестве примера можно привести проекты “Луна-25” – “Луна-27” (ЗиВ, 2014, № 3). Планируемые сроки их стартов перенесены на более поздние сроки относительно первоначально намеченных дат на 6–7 лет. Только часть этих задержек можно списать на санкции или непредвиденные технические трудности – другая часть, по мнению авторов этой статьи, вызвана несоответствием между требованиями рыночного законодательства и особенностями инновационных разработок новой космической техники. Можно предположить, что академик С.П. Королёв, оказавшись в современных условиях, не смог бы подготовить и осуществить исторический полет Ю.А. Гагарина всего через три с половиной года после запуска первого спутника. Наличие механизма эффективного управления инновационной деятельностью в сочетании

с жестким контролем за расходованием финансовых средств является необходимым условием развития научно-исследовательского сегмента отечественной космонавтики, и в частности реализации лунной программы. Заинтересованность государства в исследовании и освоении Луны должна неизбежно привести к созданию такого механизма.

Защита от милитаризации Луны и окололунной космической среды. Продолжают оставаться неурегулированными вопросы размещения в космосе оружия, применения силы (или угрозы ее применения) против космических объектов. В “Договоре” 1967 г. запрещается размещение в космосе ядерного оружия или иных видов оружия массового поражения, но не воспрещается размещать там иные виды вооружений. Многочисленные инициативы – сначала СССР, затем Российской Федерации и ее партнеров по международному процессу не привели к заключению всеобъемлющего договора, препятствующего милитаризации космоса. Подготавливались, но не были подписаны проекты договора о запрещении применения силы в космическом пространстве и из космоса в отношении Земли (1983 г.) и о запрете на размещение в космосе оружия любого вида и на применение силы (или угрозы силой) в отношении космических объектов (2008 г.). Выдвигался ряд аналогичных инициатив в рамках ООН.

Кроме того, из недавней истории международных отношений известны случаи, когда стороны подписанного международного договора отказывались от ранее принятых обязательств в ситуациях, когда такой отказ позволял получить значительные односторонние преимущества. Очевидно, что основным средством предотвращения односторонних отказов от ранее принятых обязательств в оборонной сфере

является сохранение паритета договаривающихся сторон в отношении реагирования на последствия, наступающие в случае такого одностороннего отказа. Это означает, что для сохранения мирного статуса Луны лунная программа России должна обеспечивать нашей стране паритет с другими державами, также входящими в “лунный клуб”, по всем ключевым средствам и технологиям лунной космонавтики.

ПРОЕКТЫ ПЕРВОГО ЭТАПА РОССИЙСКОЙ ЛУННОЙ ПРОГРАММЫ

Можно с большой долей уверенности утверждать, что возобновившиеся в XXI веке лунные исследования теперь уже никогда не закончатся, так как их развитие будут стимулировать не политические амбиции конкурирующих стран, а цели: изучение, освоение и практическое использование возможностей “седьмого космического континента”. Этап активных научных исследований будет сопровождаться созданием лунной инфраструктуры, за полетами автоматов последуют



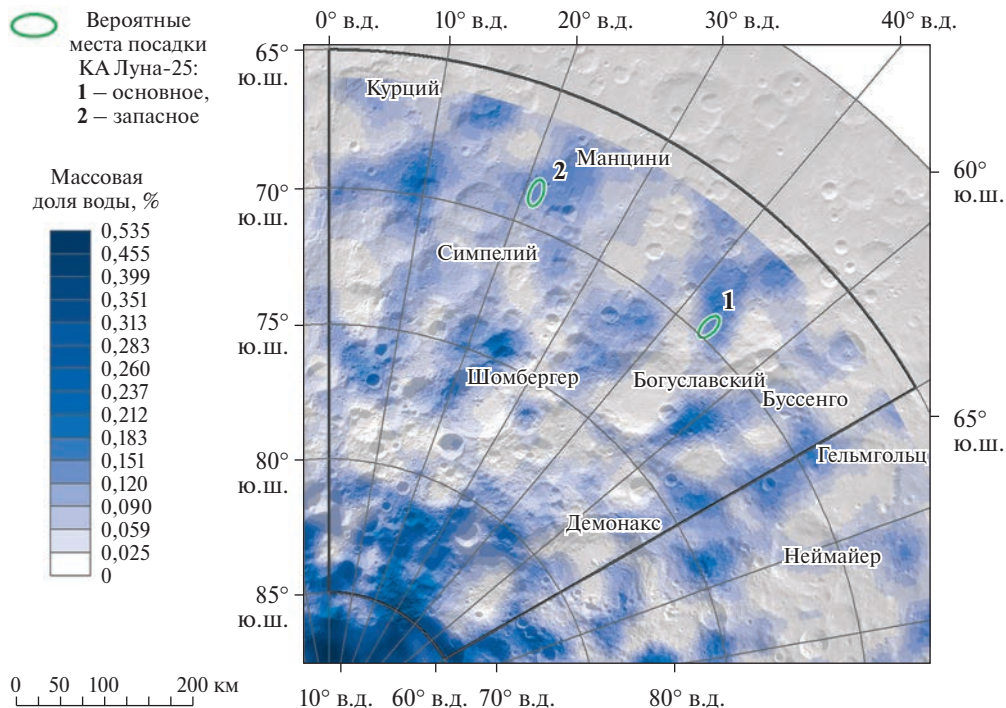
Общий вид АМС “Луна-25” (проект “Луна-Глоб”).
Рисунок “НПО им. С.А. Лавочкина”

пилотируемые экспедиции; на Луне начнется строительство постоянно действующей инфраструктуры.

Постепенно лунная космонавтика разделится на три взаимосвязанных сегмента: транспортное обеспечение перелетов по трассе Земля–Луна–Земля, лунные научно-исследовательские станции и лунные промышленные комплексы. Космонавтика, связанная с освоением Луны, станет технологическим полигоном для разработки и осуществления пилотируемой экспедиции на Марс. Первый, начальный этап отечественной лунной программы запланирован в ныне действующей “Федеральной космической программе на 2016–2025 гг.”. Нумерация автоматических аппаратов на начальном этапе российской лунной программы продолжает последовательность номеров отечественных лунных станций прошлого века: последняя из них – “Луна-24” – в 1976 г. успешно доставила на Землю образцы лунного грунта из Моря Кризисов, добытого с глубины около 2 метров.

На 2021 г. намечен запуск АМС “Луна-25”, которая должна совершить посадку в окрестности Южного полюса, к северу от кратера Богуславский, с координатами центра $69^{\circ}54'$ ю.ш. и $43^{\circ}54'$ в.д. Южный полюс выбран потому, что в его окрестности наблюдается большее число районов “вечной мерзлоты”, по сравнению с полярными районами вокруг Северного полюса. Кроме этого, Южный полюс дает возможность проводить астрономические наблюдения центра нашей Галактики, представляющего собой наиболее интересную область нашей звездной системы.

Бортовая научная аппаратура должна провести исследования состава полярного реголита и полярной плазменно-пылевой экзосферы. В состав комплекса научной аппаратуры входит телевизионная аппаратура СТС для съемки района посадки, активный гамма-спект-

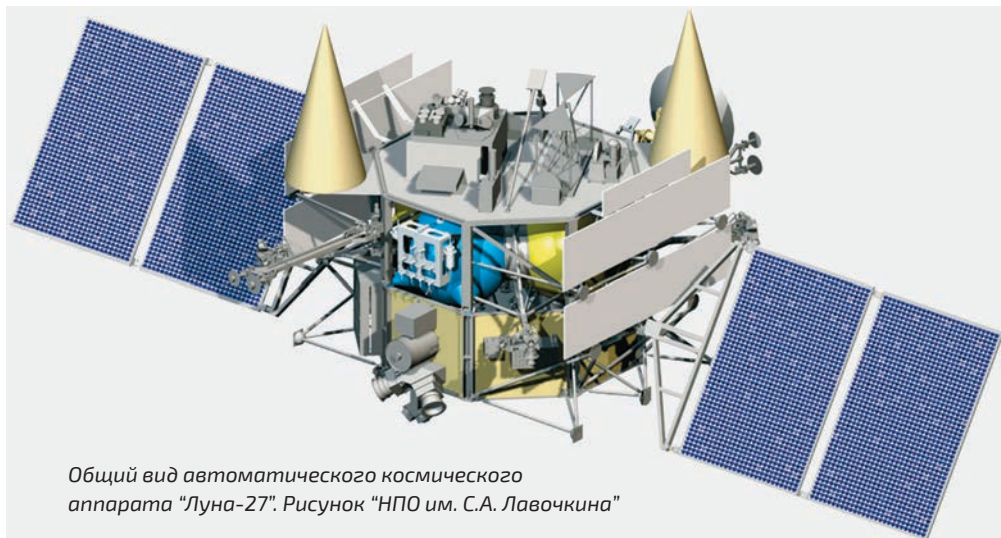


Карта основного района посадки АМС "Луна-25". Рисунок ИКИ РАН

рометр АДРОН для изучения элементного состава вещества приповерхностного слоя толщиной около 60 см на основе метода импульсного нейтронного зондирования; прибор АРИЕС для измерения потоков заряженных и нейтральных частиц полярной экзосферы и прибор ПМЛ для исследования лунной пыли. С помощью ИК-спектрометра ЛИС-ТВ-РПМ будут проводиться спектрометрические исследования наличия воды в лунном грунте; на основе анализа данных прибора ЛАЗМА планируется выполнить масс-спектрометрический анализ образцов лунного полярного реголита, загруженного в него с помощью руки-манипулятора. Важнейшей задачей миссии станет отработка технологии посадки на лунный полюс и работы бортовых систем в полярных условиях. Планируемый

район посадки космического аппарата "Луна-25" выбран, исходя из требований безопасности при касании с поверхностью, с учетом условий постоянной радиосвязи с Землей и продолжительности светлого времени лунных суток. По данным, полученным с помощью нейтронного телескопа ЛЕНД, в веществе реголита этого района наблюдается повышенное содержание воды, что позволит начать изучение лунной вечной мерзлоты уже в этой, первой полярной экспедиции на Луну.

В последующие годы на окололунную полярную орбиту будет запущен космический аппарат "Луна-26", с помощью научной аппаратуры которого будет проведен глобальный обзор лунной поверхности, выполнена съемка наиболее перспективных полярных районов для дальнейших исследований,



Общий вид автоматического космического аппарата "Луна-27". Рисунок "НПО им. С.А. Лавочкина"

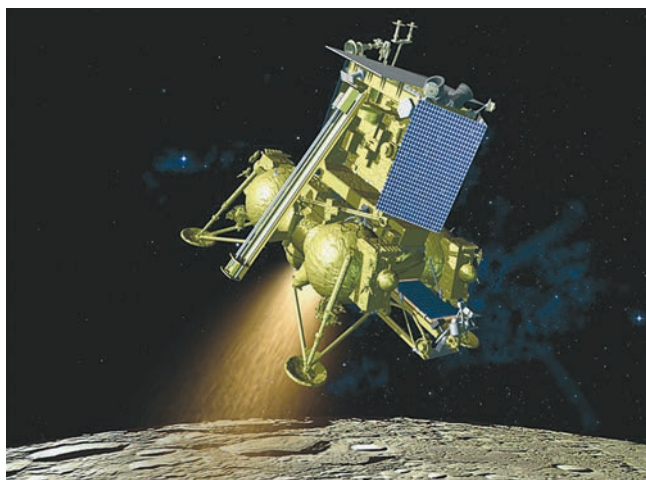
а также исследованы свойства окололунного космического пространства.

На основе анализа данных, полученных в ходе выполнения проектов "Луна-25" и "Луна-26", будет спланирована программа исследований следующего полярного посадочного аппарата – "Луна-27". Район посадки этого аппарата будет выбран с учетом проведения на нем дальнейших исследований с использованием перспективных посадочных аппаратов, включая пилотируемые экспедиции. В перспективе в этом районе будет создан "лунный

полигон" – начальный элемент российской лунной базы. На борту "Луны-27" будет установлено глубинное грунтозаборное устройство, которое доставит образцы грунта с глубины около метра для их анализа на борту. Важным технологическим экспериментом проекта "Луна-27" станет высокоточная посадка аппарата в заданный район с точностью до 1 км с возможностью маневрирования для ухода от опасности.

Завершающим проектом первого этапа лунной программы станет проект "Луна-Грунт", который выполнит доставку образцов полярного реголита на Землю для их анализа в ведущих физико-химических и биохимических научных центрах.

Эти проекты обеспечат в конце следующего десятилетия переход ко второму этапу программы, в ходе которого будет осуществ-



Общий вид автоматического космического аппарата "Луна-27". Рисунок "НПО им. С.А. Лавочкина"

лена первая пилотируемая экспедиция в окрестность Южного полюса. В настоящее время идет разработка нового отечественного пилотируемого космического корабля “Федерация”, который должен в перспективе стать основным транспортным средством для полетов экипажей по трассе Земля–Луна–Земля и на окололунной орбите. Также идет проработка концепции взлетно-посадочного лунного корабля, который должен обеспечить доставку экипажа на поверхность Луны и его возвращение на окололунную орбиту к возвращаемому кораблю, для перелета к Земле.

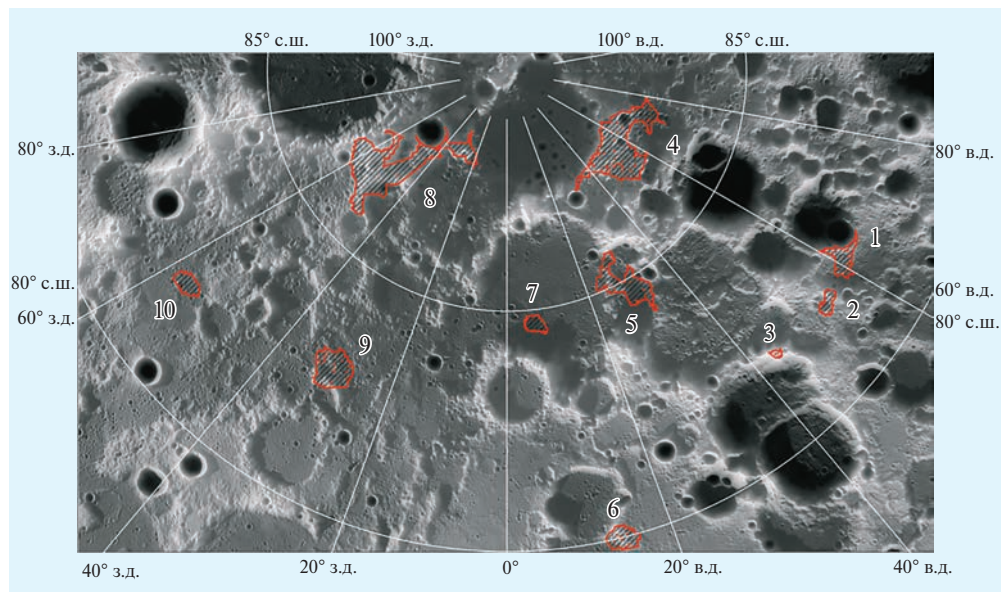
В ходе выполнения лунных пилотируемых проектов будут использоваться сверхтяжелые ракетносители, разработка которых проводится в настоящее время. В исследованиях второго этапа также будут участвовать автоматические аппараты, задачей которых станет обеспечение программы исследований пилотируемых экспедиций. Эти аппараты будут созданы на основе

накопленного опыта летных испытаний в проектах первого этапа освоения Луны.

Планы первого и второго этапов лунной программы России были разработаны совместно организациями госкорпорации “Роскосмос” и институтами Российской академии наук. Важной особенностью этих проектов является преемственность, позволяющая в процессе реализации создавать и испытывать все более сложные системы и технологии, и при этом на каждом новом шаге проводить пионерские научные исследования физических условий на лунных полюсах.

Важно отметить, что в ходе реализации намеченной программы создаются благоприятные условия для сотрудничества с космическими агентствами других стран. Так, обсуждаются вопросы участия в первых трех проектах “Луна-25” – “Луна-27” Европейского космического агентства (ESA), ведутся переговоры о совместной реализации

Карта перспективных областей в окрестности Южного полюса для последующего освоения Луны. Рисунок ИКИ РАН





Пилотируемый космический корабль "Федерация", который будет использоваться для полетов на Луну. Рисунок РКК "Энергия" им. С.П. Королёва/Roscosmos Media

проекта по доставке лунного полярного реголита. Также намечается сотрудничество в исследованиях Луны с Национальной космической администрацией Китая (CNSA).

В БЛИЖАЙШИЕ ГОДЫ ЧЕЛОВЕЧЕСТВО НАЧНЕТ ОСВОЕНИЕ ЛУНЫ

В ближайшие годы наша страна приступит к реализации отечественной лунной программы. Анализ планов ведущих космических агентств позволяет сделать вывод, что актуальность лунных исследований становится общепризнанной, и проекты по изучению и освоению Луны станут основным направлением развития дальней космонавтики в XXI веке. Сравнительно недавно президент США Д. Трамп поручил NASA выполнить первый в текущем веке пилотируемый полет на Луну уже в 2024 г. и выделил на эту программу значитель-

ные средства¹⁷. По сообщению агентства "Синьхуа", в следующем десятилетии Китай также приступит к созданию автоматической полярной лунной станции, на которую впоследствии будет направлена пилотируемая экспедиция. Для этой цели в Китае разрабатывается сверхтяжелый ракетноситель, способный вывести на околоземную орбиту полезную нагрузку массой от 50 до 140 т¹⁸.

¹⁷ *Roulette J.* Trump administration calls for putting Americans back on moon by 2024. URL: <https://www.reuters.com/article/us-space-exploration-moon/trump-administration-calls-for-putting-americans-back-on-moon-by-2024-idUSKCN1R72NW> (дата обращения 13.06.2019); *Foust J.* NASA seeks additional \$1.6 billion for 2024 Moon plan. URL: <https://spacenews.com/nasa-seeks-additional-1-6-billion-for-2024-moon-plan/> (дата обращения: 13.06.2019).

¹⁸ Китай углубляет лунные исследования. URL: http://russian.news.cn/2019-01/12/c_137738754.ht (дата обращения 13.06.2019).

Несмотря на то, что стратегическим направлением развития дальней космонавтики обычно называют реализацию пилотируемой экспедиции на Марс, Луна станет необходимым этапом в подготовке такой экспедиции. Дело даже не в том, что опыт лунных полетов позволит создать марсианские космические комплексы – вероятно, самый главный вопрос, на который помогут ответить лунные медико-биологические исследования, состоит в выяснении эффектов от продолжительного воздействия на человеческий организм космической радиации и гипомагнитной среды. Эти исследования будут сопровождаться экспериментами по ботанике и зоологии, по астробиологии и космической агротехнике.

Благодаря лунным проектам фундаментальная наука обогатится новыми знаниями о Луне, о космохимии комет, астероидов и межпланетной среды, а также получит уникальные возможности для развития лунной астрономии. Бизнес-сообщество получит доступ к лунным полезным ископаемым, сможет создать “коммерческий” сегмент лунной космонавтики, включающий создание и обслуживание лунной инфраструктуры, выработку топлива и средств жизнеобеспечения, развивать лунный туризм. И, наконец, последнее по смыслу, но не по значению – активное участие России в лунных иссле-

дованиях не позволит какой-либо одной стране получить односторонние преимущества на основе милитаризации Луны и окололунного космического пространства. Безопасность России в XXI в. будет основана, в частности, на имеющихся средствах гарантированного доступа к лунным космическим рубежам.

Наши соотечественники осознают себя гражданами великой страны, мы воспитаны в убеждении, что наш народ вносит решающий вклад в освоение космоса. Поэтому, составляя нашу космическую программу, выстраивая наши космические планы, мы должны соответствовать космическому мироощущению наших граждан. Развитие отечественной космонавтики соответствует духу русского космизма, практическим потребностям научного прогресса и промышленного развития, задачам нашей обороны и безопасности.

Работа над статьей финансировалась из средств научной темы ИКИ РАН “Освоение”.

Авторы выражают благодарность профессору РАН М.Л. Литваку, сотрудникам ИКИ РАН А.Б. Санину и В.И. Третьякову за полезные обсуждения многих вопросов, которым посвящена предлагаемая статья. Авторы также признательны Д.В. Калашникову за помощь в подготовке и редактировании статьи.