

ОБ ОСВОЕНИИ ЛУНЫ. РУССКИЙ КОСМИЗМ, ЛУННАЯ ГОНКА И ОТКРЫТИЕ "НОВОЙ ЛУНЫ"



И.Г. МИТРОФАНОВ,

доктор физико-математических наук

Институт космических исследований РАН

DOI: 10.7868/50044394819010018

"...Контрасты температур громадны вследствие отсутствия уравнивающего воздействия воды и воздуха. Всегда затененные углубления и ямы страшно холодны. Еще холоднее должна быть температура подобных мест в северных и полярных областях. Возможно, что там накопились обширные слои отвердевшей воды и атмосферы".

К.Э. Циолковский
"Вне Земли", Калуга, 1920 г.

В статье автор поднимает вопросы о том, какие новые знания и открытия привели к тому, что Луна в XXI веке вновь привлекает ученых. Какую практическую выгоду и гуманитарную пользу принесут в будущем лунные исследования? Какой должна быть тактика и стратегия? Главный вопрос: следует ли России активно осваивать Луну, затрачивая на это значительные ресурсы – в ущерб другим насущным целям и задачам?

ОТ МЕЧТЫ О "КОСМИЧЕСКОМ ВОСКРЕШЕНИИ" – К "ЛУННОЙ ГОНКЕ"

12 апреля 1961 г. земная цивилизация стала космической: первый орбитальный полет выполнил наш сооте-

чественник Ю.А. Гагарин. С тех пор наука о космосе превратилась в бурно развивающуюся область естествознания: космические аппараты на околоземных орбитах обеспечили землян связью, телевидением, навигацией, они проводят метеорологические, геофизические, геодезические, океаногра-

фические исследования, экологический мониторинг (ЗиВ, 2005, № 2; 2007, № 5). За пять десятилетий бурного развития созданная околоземная космическая инфраструктура прочно вошла в нашу жизнь, стала неотъемлемой частью современной цивилизации.

Что дальше: каким будет основной вектор развития космонавтики в XXI веке? Покинут ли люди свою земную колыбель – как в начале прошлого века пророчествовал К.Э. Циолковский (ЗиВ, 1982, № 5; 2007, № 5), или они не захотят ради освоения других небесных тел Солнечной системы расставаться со своей голубой планетой и предпочтут отправлять на разведку дальнего космоса исследовательские аппараты-роботы? Останутся ли доминирующими в дальнем космосе фундаментальные исследования, направленные на получение новых знаний о планетах, звездах и Вселенной, или основным направлением развития станут пилотируемые экспедиции за пределы околоземных орбит – на Луну и Марс, к астероидам? Эта дилемма в настоящее время становится главной в выборе вектора развития космонавтики; она активно обсуждается, причем не только в космическом сообществе, но и в социуме.

Критики приоритета пилотируемой космонавтики над автоматической ссылаются на практически безграничные возможности роботизированных средств исследования окружающего мира и при этом выдвигают вполне весомые аргументы о значительных вложениях в разработку пилотируемых ракетно-космических комплексов, по сравнению с затратами на создание автоматических межпланетных станций.

Сторонники пилотируемых полетов в дальний космос не опровергают аргументы о впечатляющих возможностях

автоматов, но ставят встречные вопросы: человечество навсегда останется прикованным к Земле? Оно никогда не приступит к разведке и промышленному освоению лунных ресурсов и не начнет глобальное преобразование природной среды на Марсе для его постепенной колонизации? В ответ на эти вопросы скептики обычно уклончиво отвечают, что в принципе – “да”, основоположник теоретической космонавтики К.Э. Циолковский прав, и человечество когда-нибудь покинет свою земную колыбель, но это будет потом, не сейчас: уж слишком неустроена наша сегодняшняя жизнь. Они говорят: давайте лучше вложим наши скромные ресурсы в образование, в медицину, в благоустройство городов, в повышение пенсий и зарплат. Пусть освоением Луны и Марса займутся наши внуки и правнуки, а мы вначале повысим рождаемость, увеличим продолжительность жизни, создадим цифровую экономику

и построим шестой технологический уклад. В принципе такое прагматичное рассуждение вполне имеет право на существование – но автор думает, что оно не согласуется с мыслями и чувствами нашего народа.

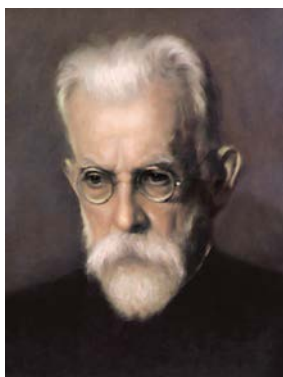
В 1960-е гг. советский народ жил весьма скромно: как показали исследования Центрального научно-исследовательского института государственной плановой комиссии РСФСР, около 40% населения имели доходы ниже прожиточного уровня¹. Но это не помешало людям встретить исторический полет

*Что дальше:
каким будет
основной
вектор
развития
космонавтики
в XXI веке?*

¹ Кузнецова С. Цены находятся в СССР на относительно высоком уровне. Сколько зарабатывала советская власть на нуждах советских граждан // Коммерсантъ. Власть, № 31, 12 августа 2013 г. (<https://www.kommersant.ru/doc/2249425>).



Н.Ф. Фёдоров



В.И. Вернадский



К.Э. Циолковский

Основоположники русского космизма: Н.Ф. Фёдоров создал религиозно-философское направление. Художник С.А. Коровин, 1902 г.; выдающийся русский ученый В.И. Вернадский (его пророческие идеи о ноосфере предсказывают направление развития земной цивилизации). Художник А.Е. Елецкий, 1949 г.; К.Э. Циолковский создал основы современной космонавтики, он также внес существенный философский вклад в это течение. Снимок 1932 г. Архив РАН.

Юрия Гагарина с неподдельным энтузиазмом и гордостью за свою страну: море людей стихийно вышло на улицы городов и поселков. Уверен, что люди, встречавшие Ю.А. Гагарина на Ленинском проспекте Москвы, не связывали его полет со своим скромным материальным достатком: для послевоенного “поколения победителей” эти ценности были несопоставимы.

Дело, по-видимому, в том, что в ходе исторического процесса развития нашей страны русские люди приобрели общие черты, которые превратили их в народ-первопроходец, стремящийся к расширению своей среды обитания. Ведь именно в России возникло уникальное философское течение, получившее название “русский космизм”, в котором смысл существования человеческого общества связывался с освоением космоса, и законы его существования трактовались как законы развития окружающей Вселенной. Космос манил не только тайной происхождения звезд и планет или загадкой существования

иных цивилизаций. Один из основателей религиозно-философского космизма Н.Ф. Фёдоров (1829–1903) связывал изучение и освоение космических миров с преодолением конечности во времени человеческой жизни. В его трудах освоение космоса рассматривалось, как способ расселения гигантского числа воскрешенных людей². Выдающийся русский ученый В.И. Вернадский (1863–1945) сформулировал концепции биосферы и ноосферы Земли, как особой среды планетарного масштаба, обусловленной присутствием на планете жизни и ее разумной формы – человечества (ЗиВ, 1983, № 4; 1988, № 2; 2013, № 4)³. Особое место в плеяде русских космистов занимает К.Э. Циолковский (1857–1935). Философско-мистические идеи

² Фёдоров Н.Ф. Супраморализм или всеобщий синтез (т.е. всеобщее объединение) / Собрание сочинений: в 4 т. М., 1995–2000. Т. 1. С. 388–441.

³ Вернадский В.И. Биосфера и ноосфера. М., 2004.



Первый космонавт планеты Юрий Гагарин с интересом смотрит на Луну. Обложка журнала "Техника – молодежи", 1961, № 11. Художник А.Н. Побединский.

ученого посвящены будущему человечества и проникновению во Вселенную, они неразрывно связаны с его основополагающими трудами по теории космонавтики (ЗиВ, 1998, № 4; 2002, № 2; 2003, № 4; 2007, № 5; 2015, № 4), с провидческой разработкой средств освоения человеком всей Солнечной системы⁴.

Можно предположить, что сформулированные российскими мыслителями философские концепции выражали присутствовавший в сознании рядового русского человека "стихийный космизм", придавая смысл его человеческому бытию, определяя высшую цель его насущной борьбы за существование. Именно поэтому выдающиеся космические достижения нашей

⁴ Циолковский К.Э. Космическая философия. Сборник. М., 2004.

страны были восприняты подавляющим большинством соотечественников с огромным энтузиазмом – как свидетельство готовности народа-победителя к новым подвигам и свершениям. Вспоминаю, как в 1970-е гг. люди старшего поколения – победителей – спрашивали меня, студента физфака ЛГУ: "А почему Вы отдали Луну американцам?". Имелись в виду исторические полеты на Луну астронавтов по программе NASA "Аполлон" (ЗиВ, 2009, № 5).

Соперничество с Америкой началось с первых дней космической эры. Запуск в 1957 г. в СССР первого искусственного спутника Земли и осуществленный – первый в мире – полет Ю.А. Гагарина были восприняты в США как национальный вызов, на который американцы не могли не ответить. Уже 25 мая 1961 г., спустя всего полтора месяца после полета Гагарина, в послании Конгрессу президент США Джон Кеннеди провозгласил: "...наша страна должна принять на себя обязательство в достижении следующей цели – до конца этого десятилетия доставить человека на Луну и безопасно вернуть его на Землю... К Луне полетит не один человек, ... это будет весь наш народ" (<https://www.jfklibrary.org/AssetViewer/Archives/JFKPOF-034-030.aspx>). Руководство СССР также достаточно серьезно отнеслось к сохранению и укреплению приоритета в космосе. Так началась "лунная гонка", которую мы, к сожалению, проиграли. Но наш народ не проиграл "комическое многоборье" – отечественные ученые создали несколько поколений долговременных орбитальных станций, осуществили серию посадок автоматических станций на Венеру, доставили лунный грунт на Землю, выполнили уникальные исследования кометы Галлея. За истекшие 60 лет наша страна и США, соперничая (и сотрудничая) в космосе, стали великими космическими державами.

Сейчас к лидерам в освоении Луны уверенно присоединился Китай, стремительно наверстывая отставание от космических первопроходцев. Начиная с 2007 г. в КНР успешно реализовано четыре лунных проекта по программе “Чанъэ” (ЗиВ, 2007, № 2, с. 107; 2007, № 6, с. 104; 2009, № 4, с. 63; 2011, № 2, с. 110; 2014, № 2, с. 107–110). 3 января 2019 г. впервые в истории осуществлена посадка АМС на обратную сторону Луны.

Сейчас к лидерам в освоении Луны уверенно присоединился Китай, стремительно наверстывая отставание от космических первопроходцев

ЛУНА КАК СТРАТЕГИЧЕСКИЙ ОБЪЕКТ ОСВОЕНИЯ

Спустя 45 лет после “крайнего” полета на Луну по программе “Аполлон” президент США Дональд Трамп вновь провозгласил ее освоение в качестве ближайшей стратегической цели Америки в дальнем космосе. В подписанной им 11 декабря 2017 г. Директиве NASA говорится о планах возвращения американских астронавтов на Луну: на этот раз – не для того, чтобы провести там 12 суток, установить флаг и оставить следы первопроходцев. Теперь NASA должно начать долговременную программу освоения нашего спутника и использования его природных ресурсов. Предполагается создать основу для последующих пилотируемых полетов на Марс и на другие небесные тела Солнечной системы (<https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/presidential-memorandum-reinvigorating-americas-human-space-exploration-program/>). В Директиве настойчиво провозглашается национальное лидерство США в будущих лунных исследованиях, создание в перспективе новых рабочих мест и обеспечение практической пользы для Америки. Следует

отметить, что в своем выступлении, сопровождавшем подписание Директивы, президент Д. Трамп также упомянул о значении лунных исследований для обороны и безопасности США.

Сравнительно недавно президент России В.В. Путин косвенно дал ответ на новую лунную инициативу США. Во вновь открывшемся павильоне “Космос” на ВДНХ 12 апреля 2018 г., отвечая на вопрос ветеранов космонавтики о российской лунной программе, он сказал: “Программа рассчитана до 2030 года ...Здесь сомнений нет, будем активно работать, будем эту программу осуществлять” (<http://www.kremlin.ru/events/president/news/57246>).

Следует, однако, отметить, что конкретные задачи развития российской космонавтики не были отдельно упомянуты в майском Указе президента среди перечня целей и задач развития страны на период до 2024 г.: фактически они вошли в общую задачу “обеспечения присутствия России в числе пяти ведущих стран мира, осуществляющих исследования и разработки в приоритетных областях научно-технологического развития”. Космические исследования, безусловно, относятся к таким приоритетным областям, но для такой перспективы (2024 г.) их потенциальное значение для страны оказалось недостаточно весомым для отдельного упоминания.

ЛУННЫЕ ПОЛЮСА – БЛИЖАЙШИЙ РУБЕЖ В РАЗВИТИИ КОСМОНАВТИКИ

Благодаря весьма успешным научным исследованиям Луны в СССР и США в годы “лунной гонки” было достигнуто значительное продвиже-



Встреча Президента РФ В.В. Путина с российскими космонавтами 12 апреля 2018 г. в центре «Космонавтика и авиация» на ВДНХ.

ние по многим фундаментальным вопросам возникновения и эволюции уникальной системы Земля–Луна. Стало известно о процессе образования Луны, его внутреннем строении, изотопном составе вещества, природе масконов (областей повышенной плотности под лунной поверхностью), происхождения оптических вспышек. Однако эти вопросы, скорее, относились к сфере фундаментальной науки и не рассматривались как достаточное основание для продолжения активных космических исследований Луны. Некоторый практический интерес к ее освоению был связан с перспективой добычи на нашем естественном спутнике изотопа гелия ^3He , который в будущем мог бы стать топливом для термоядерных энергетических установок (ЗиВ, 2014, № 2). Сторонники этой идеи отмечали, что одна тонна гелия-3 обеспечит энерговыделение, эквива-

лентное 20 млн тонн нефти; а главное – основанная на его использовании энергетика экологически безопасна⁵. Однако большинство физиков-ядерщиков пока отказалось поддержать этот план: по их мнению, для обеспечения потребностей будущей термоядерной энергетики вполне достаточно земных ресурсов (установки работают на основе реакции синтеза дейтерия и трития) – с учетом тех затрат, которые потребуются для создания космического комплекса по добыче и доставке гелия-3 с Луны на Землю⁶.

Отношение к перспективам освоения Луны существенно изменилось

⁵ Галимов Э.М. Замыслы и просчеты / Фундаментальные космические исследования в России последнего двадцатилетия. М., 2013. С. 273–283.

⁶ Головачёв В. Театр Луны. Интервью с Р.З. Сагдеевым // Труд, 31 января 2006 г.

Американский ИСЛ "Лунар Проспектор" на окололунной орбите (1998–1999). Данные измерений нейтронного потока на Луне впервые "указали" на повышенное содержание воды в лунном полярном реголите. Рисунок NASA.



после того, как на рубеже текущего века появились данные о том, что в реголите полярных областей Луны присутствуют в заметных количествах замерзшая вода и другие летучие соединения космического происхождения. Впервые признаки присутствия замерзшей воды на ее полюсах были замечены исследователями в 1998 г., по переданным с орбиты с помощью АМС "Лунар Проспектор" данным измерений с орбиты потока вторичных нейтронов с лунной поверхности (ЗиВ, 1998, № 3, с. 47–48; 1999, № 3, с. 62; 2000, № 4, с. 62; 2001, № 1)⁷. Эти нейтроны возникают в верхнем двухметровом слое вещества вследствие бомбардировки Луны галактическими космическими лучами. При наличии в веществе заметного количества водорода нейтроны эффективно теряют энергию

Измерения спектра инфракрасного излучения поверхности Луны показали присутствие в нем достаточно сильной линии гидроксид-ОН – основного компонента молекулы воды

и замедляются и поэтому поток вылетающих частиц с высокими энергиями ослабляется, а с малыми – увеличивается. Поскольку наиболее вероятным водородсодержащим веществом в лунном грунте могла бы быть вода, то исследователи предположили, что там есть водяной лед.

Предположение о присутствии в полярном реголите молекул воды было подтверждено данными измерений, полученными с помощью прибора М³ на борту первого индийского ИСЛ "Чандрайян-1" (ЗиВ, 2009, № 2, с. 90–91; 2010, № 2, с. 33–34). Измерения спектра инфракрасного излучения поверхности Луны показали присутствие в нем достаточно сильной линии гидроксид-ОН – основного компонента молекулы воды⁸. В проверке гипотезы о присутствии воды на лунных полюсах точку поставили исследования,

⁷ Feldman W.C., Maurice S., Binder A.B. et al. Fluxes of fast and epithermal neutrons from Lunar prospector: Evidence for water ice at the lunar poles // Science, 1998. V. 281 (5382). P. 1496–1500; DOI: 10.1126/science.281.5382.1496.

⁸ Pieters C.M., Goswami J.N., Clark R.N. et al. Character and Spatial Distribution of OH/H₂O on the Surface of the Moon Seen by M3 on Chandrayaan-1 // Science, 2009. V. 326(5952). P. 568–572. DOI: 10.1126/science.1178658.



Космические аппараты “Лунный орбитальный разведчик” (слева) и “LCROSS” (справа), запущенные в июне 2009 г. с космодрома Канаверал с помощью РН “Атлас-5”. Лунный аппарат “LCROSS” 9 октября 2009 г. выполнил прямые измерения состава лунного вещества, которое было выброшено с поверхности лунного полярного кратера Кабеус при столкновении с ней разгонного блока “Центавр”. Рисунки NASA.

выполненные по программе NASA 9 октября 2009 г. с помощью ИСЛ “Лунный орбитальный разведчик” (“LRO”) и с использованием приборов аппарата “LCROSS” (ЗиВ, 2009, № 6, с. 99–101; 2010, № 2, с. 34; 2010, № 4). На борту “LRO” был установлен российский нейтронный телескоп ЛЕНД (LEND, Lunar Exploration Neutron Detector – лунный исследовательский нейтронный детектор; ЗиВ, 2009, № 6, с. 101–102). Данные измерений позволили построить полярные карты распространенности лунной воды и обнаружить район с самой высокой массовой ее долей (около 5%) – в полярном кратере Кабеус диаметром 100,6 км и глубиной 5,7 км (85°20' ю.ш., 42° 08' з.д.; ЗиВ, 2010, № 3, с. 109–110). На основе целеуказания по данным прибора ЛЕНД в этот кратер был направлен разгонный блок ракеты-носителя “Центавр” (в качестве пассивного снаряда)

и следующий за ним исследовательский аппарат “LCROSS” с научными приборами. Столкновение блока “Центавр” с Лунной вызвало выброс лунного вещества, измерения состава которого выполнили приборы аппарата “LCROSS”, они подтвердили присутствие в нем паров воды. Оценка исходной массовой доли воды в реголите хорошо совпала с орбитальными измерениями с помощью прибора ЛЕНД на борту “LRO”. Кроме воды выброшенное из искусственного лунного кратера вещество содержало такие летучие соединения, как сероводород, аммиак, диоксид серы⁹. По данным эксперимента ЛЕНД построена подробная карта

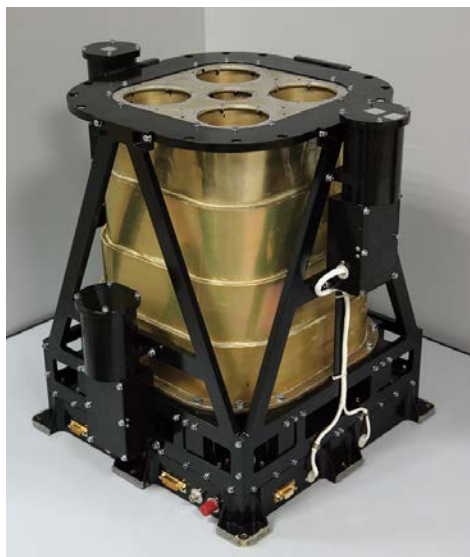
⁹ Pieters C.M., Goswami J.N., Clark R.N. et al. Character and Spatial Distribution of OH/H₂O on the Surface of the Moon Seen by M3 on Chandrayaan-1. Science, 2009. V. 326(5952). P. 568–572; DOI: 10.1126/science.1178658.

распространенности воды в окрестности южного и северного полюсов Луны (ЗиВ, 2011, № 2, с. 107–108; 2013, № 1).

УНИКАЛЬНЫЙ ФЕНОМЕН ЛУННЫХ ПОЛЮСОВ

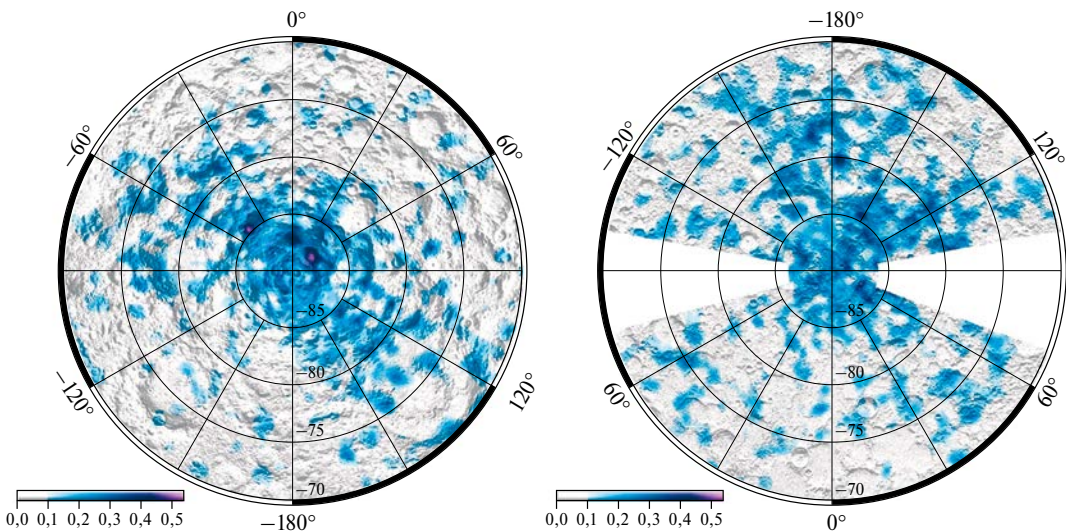
Земля со своим спутником – Луной – фактически является тесной двойной планетной системой. Обсуждаются два варианта образования этой системы – одновременное формирование двух гравитационно связанных небесных тел из протопланетного облака или возникновение Луны из вещества ранней Земли вследствие столкновения с гипотетической планетой Тейя (ЗиВ, 2005, № 6). В обоих случаях вещество Луны прошло через стадию разогрева и должно было потерять все летучие соединения, включая воду. Относительно небольшая доля воды могла сохраниться в составе лунных минералов, но это не та массовая доля замерзшей воды, которая в настоящее время обнаружена в лунном полярном реголите.

Уникальная особенность Луны – небесного тела – состоит в том, что ее ось вращения направлена почти перпендикулярно к плоскости эклиптики (угол отклонения составляет всего $1,5^\circ$; для сравнения: аналогичный угол для Земли – $23,5^\circ$), орбита Луны наклонена на 5° к плоскости эклиптики. Особенность лунного вращения пока не имеет общепринятого объяснения ни в рамках модели совместного формирования двойной планетной системы, ни модели гигантского столкновения. В первом случае более естественным направлением оси лунного вращения мог бы быть перпендикуляр к плоскости совместного орбитального движения двойной системы Земля–Луна, во втором – это направление скорее должно было быть близким к направлению оси вращения



Российский научный прибор – лунный нейтронный телескоп ЛЕНД, установленный на борту ИСЛ "Лунный орбитальный разведчик" (США). Фото ИКИ РАН.

Земли, испытавшей столкновение. Такая выстроенность оси вращения Луны приводит к уникальной особенности ее полюсов: солнечные лучи направлены вдоль касательной к поверхности и практически не прогревают планету. В соответствии с пророческим предположением К.Э. Циолковского, низменности внутри кратеров в полярных районах Луны представляют собой “холодные ловушки”. Попав на поверхность, молекулы воды или летучих соединений примерзают к ней и сохраняются там навсегда. Распространение солнечных лучей на лунных полюсах почти по касательной к поверхности вершин холмов и гор приводит к эффекту увеличения продолжительности лунного дня. Известны участки на полярной поверхности Луны – где Солнце никогда не заходит и лунный день продолжается непрерывно уже несколько сотен миллионов лет. По аналогии с вечной мерзлотой на Земле, мы имеем дело



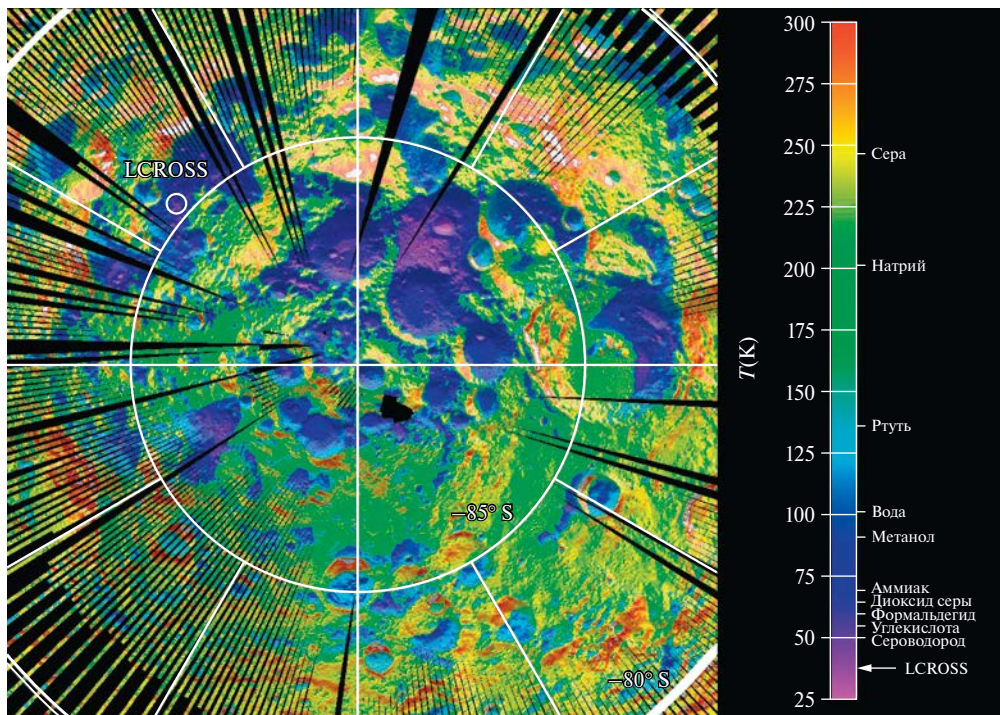
Карта северного (справа) и южного полюсов Луны с местами залежей водного льда в грунте, по данным измерений прибора ЛЕНД. Оттенки синего цвета отражают массовую долю воды (в долях процента). Серым цветом показан рельеф поверхности, по данным лазерного высотомера ЛОЛА. (Sanin A.B., Mitrofanov I.G. et al. Hydrogen distribution in the lunar polar regions // *Icarus*, 2017. V. 2 (283). P. 20–30).

с лунной вечной мерзлотой, причем в данном случае временной масштаб “вечности” составляет сотни миллионов (или даже миллиарды) лет. Период существования вечной мерзлоты на Земле гораздо короче: он определяется продолжительностью глобальных климатических изменений на планете и составляет десятки миллионов лет.

Откуда появились вода и летучие соединения на лунных полюсах? Их основным источником могли быть сталкивавшиеся с Луной кометы и астероиды с высоким содержанием водяного льда.

По аналогии с вечной мерзлотой на Земле, мы имеем дело с лунной вечной мерзлотой, причем в данном случае временной масштаб “вечности” составляет сотни миллионов (или даже миллиарды) лет. Период существования вечной мерзлоты на Земле гораздо короче: он определяется продолжительностью глобальных климатических изменений на планете и составляет десятки миллионов лет

Во время столкновения вещество малого тела нагревается и испаряется, над поверхностью Луны возникает короткоживущая атмосфера. Ее частицы сталкиваются с поверхностью и приобретают скорости, соответствующие ее температуре. Те из них, скорости которых превышают вторую космическую (для Луны это – 2,4 км/с), испаряются в межпланетное пространство. В умеренных широтах и на экваторе дневные температуры поверхности достаточно велики (350° – 400° К), и доля частиц со скоростями покидания Луны относительно велика; поэтому на



Карта температуры поверхности в окрестности южного полюса Луны по данным эксперимента "Дивайнер" на борту ИСЛ "Лунный орбитальный разведчик". На цветовой шкале температур (в градусах Кельвина) отмечены значения, при которых происходит испарение летучих соединений. Также на этой шкале показано температура поверхности в точке удара пассивного снаряда проекта "LCROSS" (место падения на карте указано кружком). По данным NASA.

средних широтах атмосфера достаточно быстро истекает в межпланетное пространство. В полярных районах характерные температуры поверхности – гораздо ниже, поэтому время жизни атмосферы гораздо больше. Участки поверхности с температурами менее 110° К оказываются "холодными ловушками" – тепловая энергия частиц в веществе оказывается меньше энергии связи с другими молекулами и частицы из атмосферы конденсируются на поверхности в виде тонкого слоя "космического инея", как и предсказывал в 1920 г. К.Э. Циолковский. Состав этого инея определяется количеством воды и летучих соединений

в небесном теле, столкнувшемся с Луной.

Вторым возможным источником воды на Луне может быть солнечный ветер – поток плазмы, который наша звезда Солнце непрерывно испускает в космическое пространство. Основными ее компонентами являются протоны, ионы гелия и электроны. Протоны солнечного ветра проникают в вещество верхнего слоя лунного реголита и могут вступить там в химическую реакцию с ионами кислорода, выделяя их из окислов кремния – основного породообразующего элемента лунного вещества. Образовавшийся гидроксил захватывает еще один ион

водорода и превращается в молекулу воды. В течение лунного дня образовавшиеся молекулы воды испаряются в экзосферу и, перелетая, переходят за счет теплового движения с одной точки на поверхности в другую. Многие молекулы “солнечной воды”, как и в случае молекул “кометной воды”, навсегда покидают Луну вследствие высоких тепловых скоростей; оставшиеся могут попасть в районы “полярных ловушек”.

Благодаря феномену вечной мерзлоты полюса Луны становятся приоритетным объектом для будущих космических исследований. Вследствие относительно недавнего открытия этого феномена – полярных районов – их иногда называют “новой луной”. Открытие на полюсах вечной мерзлоты с водным льдом и летучими соединениями определило две причины возобновления интереса к лунным исследованиям. Первая связана со стремлением ученых максимально подробно изучить лунную воду и летучие соединения: их элементный и изотопный состав, массовые доли, присутствие растворенных химических соединений и сложных предбиологических молекул. Вечная мерзлота на полюсах хранит в себе тайны о свойствах скопившейся там межпланетной (или даже межзвездной) среды. Возможно, что ее исследование поможет проверить

гипотезу о вземном происхождении земной жизни. Также изучение слоев льда в отложениях лунной вечной мерзлоты позволит составить хронологию эволюции тесной планетной системы Земля–Луна, определить периоды мощных кометных бомбардировок. Вторая причина вызвана потенциальной возможностью практического использования лунной воды для жизнеобеспечения будущих посещаемых лунных станций. Освоение Луны должно начаться с разведки и обустройства наиболее привлекательных районов на лунных полюсах, в которых области полярного дня (с постоянной или весьма продолжительной освещенностью Солнцем) непосредственно соседствуют с областями полярной ночи – ледяной вечной мерзлоты – природного источника воды, кислорода и водорода. Эти районы будут осваиваться и обустраиваться для обеспечения экспедиций посещения и строительства лунной базы.

Автор выражает благодарность академику Л.М. Зелёному, профессору РАН М.Л. Литваку, сотрудникам ИКИ РАН В.И. Третьякову и Д.В. Калашникову за полезные обсуждения многих вопросов, которым посвящена представленная статья. Автор также признателен Д.В. Калашникову за помощь в подготовке и редактировании статьи. Работа над статьей финансировалась из средств научной темы ИКИ РАН “Освоение”.

Информация

Обнаружено сверхскопление Гиперион

В 2018 г. группа ученых под руководством Ольги Куччиати с помощью системы 8,2-метровых телескопов VLT Европейской Южной Обсерватории (ESO) просканировала небосвод площадью около одного квадратного градуса в созвездии Секстанта и обнаружила в ней гигантскую структуру – сверхскопление галактик размером $200 \times 200 \times 500$ млн св. лет, получившее неофициальное название Гиперион. Оно состоит из 5000 галактик массой $10^9 M_{\odot}$ каждая (общая масса – более $4 \times 10^{15} M_{\odot}$). Эта величина сопоставима с массой сверхскоплений, наблюдающихся



Сверхскопление галактик Гиперион (созвездие Секстанта) размером $200 \times 200 \times 500$ млн св. лет, оно состоит из 5000 галактик. Фото ESO.

Вороного (названа в честь российского ученого Г.Ф. Вороного; конечное множество точек на плоскости), ученые построили трехмерную карту 10000 галактик (распределенных по объему $300 \times 300 \times 800$ млн св. лет, имеющих красное смещение $2 < z < 4,5$), а потом выделили в ней область размером $200 \times 200 \times 500$ млн св. лет, где расположено сверхскопление Гиперион. Используя специальные методы обработки данных, ученые создали трехмерную карту этого образования.

Сверхскопление Гиперион имеет довольно сложную внутреннюю структуру: в нем можно выделить семь областей с повышенной плотностью (присущей галактикам), соединенных филаментами (галактическими нитями). Четырем наиболее массивным областям ученые дали названия Тея, Эос, Гелиос и Селена, еще три области остались безымянными. Масса внутри Гипериона распределена более равномерно, чем в других известных сверхскоплениях. Предполагается, что равномерность распределения связана с тем, что Гиперион – сравнительно молодое сверхскопление и в результате гравитационного притяжения его вещество еще не успело образовать более плотные области. Открытие такого молодого сверхскопления поможет лучше понять процессы, приводящие к образованию крупномасштабных структур Вселенной.

в современной Вселенной (при более низких красных смещениях): то есть ничем не выделяется сама по себе; однако астрономы не ожидали найти такое большое скопление на столь ранних этапах эволюции Вселенной. По оценкам астрофизиков, в течение следующих 11,5 млрд лет Гиперион должен был разрастись до еще больших масштабов, сравнимых с размерами сверхскопления Ланиакея (520 млн св. лет, в которое входит галактика Млечный Путь), или даже достигнуть величины структуры Великая стена Геркулес – Северная Корона ($7,2 \times 10$ млрд св. лет).

Используя двумерную тесселяцию (в перев. с англ. tessellation – мозаика)

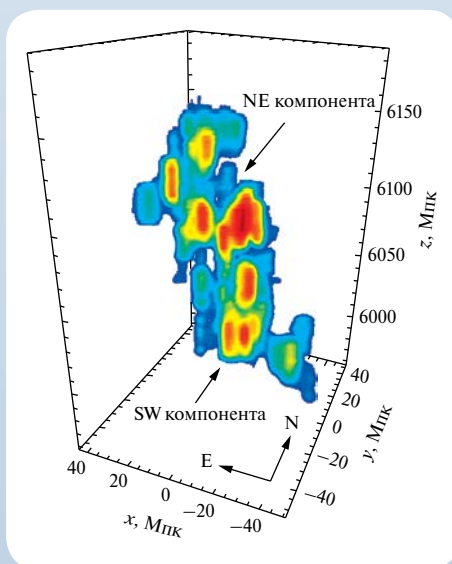


Схема расположения сверхскопления галактик Гиперион в космическом пространстве. Рисунок ESO.

Журнал "Astronomy & Astrophysics", 2018. Т. 619. № 11.
Пресс-релиз ESO, 19 октября 2018 г.