

ПРИРОДА

2 2021

50 лет назад советская автоматическая станция «Луна-17» с первым в мире планетоходом на борту совершила посадку на Луне. «Луноход-1» проработал 11 лунных дней на поверхности нашего спутника и прошел 9.9 км.

«ЛУНОХОДЫ» В ИСТОРИИ ЛУННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

С.3



«Луноходы-1 и -2» в истории лунных исследований

К 50-летию первого запуска планетохода

А.Т.Базилевский

Институт геохимии и аналитической химии имени В.И.Вернадского РАН (Москва, Россия)

«Луноход-1» стартовал с Земли 10 ноября 1970 г. на борту автоматической станции «Луна-17» и 17 ноября совершил посадку в северо-западной части равнины Моря Дождей, недалеко от мыса Гераклита. Он проработал 11 лунных дней, прошел 9.9 км и прекратил работу 14 сентября 1971 г. «Луноход-2» стартовал с Земли 8 января 1973 г. на борту «Луны-21» и совершил посадку 15 января на равнинной местности в кратере Лемонье — заливе Моря Ясности. Он проработал четыре с небольшим лунных дня, прошел 39.1 км и прекратил работу 10 мая 1973 г. На луноходах были установлены четыре панорамных ТВ-камеры, анализ изображений которых позволил получить интересные данные по топографии и геологическому строению поверхности Луны. На луноходах работали рентгенофлуоресцентный спектрометр и прибор оценки проходимости, собравшие данные о химическом составе и физико-механических характеристиках грунта, а также угольковые отражатели, лазерная локация которых дополнила наши сведения о внутреннем строении Луны. На «Луноходе-1» был установлен коллиматорный рентгеновский телескоп, а на «Луноходе-2» — магнитометр и астрофотометр. Сейчас наблюдается возврат интереса к результатам луноходов. Недавно в Московском государственном университете геодезии и картографии была создана база ТВ-панорам, полученных первыми советскими луноходами. Будем надеяться на скорую реализацию запланированных российских проектов изучения нашего спутника, которые включают в том числе новую версию планетохода.

Ключевые слова: луноход, маршрут, море, материк, кратеры, камни, грунт.

Сейчас, когда скоро на Марс придут марсоходы — американский «Perseverance» («Настойчивость») и китайский «Тяньвэнь-1» («Вопросы к небу»), — уместно вспомнить работу советских «Луноходов-1 и -2» и полученные ими научные результаты [1]. На рис.1 показан внешний вид «Лунохода-2» и расположение некоторых научных приборов. Длина планетоходов с полностью открытой солнечной батареей — 4.42 м, ширина в верхней части — 2.15 м, а по колесам — 1.60 м, высота — 1.92 м. Масса первого — 756 кг, второго — 836 кг.

«Луноход-1» стартовал с Земли 10 ноября 1970 г. на борту автоматической станции «Луна-17» и совершил посадку 17 ноября в северо-западной части равнины Моря Дождей, недалеко от мыса Гераклита (рис.2, 3). Он проработал 11 лунных дней. Лунные сутки примерно равны 29.5 земных суток. А термин «лунный день» здесь употребляется в значении «светлое время лунных су-



Александр Тихонович Базилевский, доктор геолого-минералогических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории сравнительной планетологии Института геохимии и аналитической химии имени В.И.Вернадского РАН. Специалист в области геологии планетных и малых тел Солнечной системы. Лауреат Государственной премии СССР и премии фонда Александра фон Гумбольдта (Германия). Участник оперативной работы с «Луноходами-1 и -2» на пункте управления в Крыму. Постоянный автор «Природы». e-mail: atbas@geokhi.ru

ток». Пройшел планетоход по Луне 9.9 км [2] и прекратил работу 14 сентября 1971 г.: термоизотопный генератор выработал ресурс, и системы аппарата ночью замерзли [3].

«Луноход-2» стартовал с Земли 8 января 1973 г. на борту автоматической станции «Луна-21» и совершил посадку 15 января на равнинной местности в кратере Лемонье — заливе Моря Ясности (см. рис.2). Он проработал четыре с небольшим лунных дня, прошел по Луне 39.1 км [4] и прекратил работу 10 мая 1973 г. из-за перегрева.

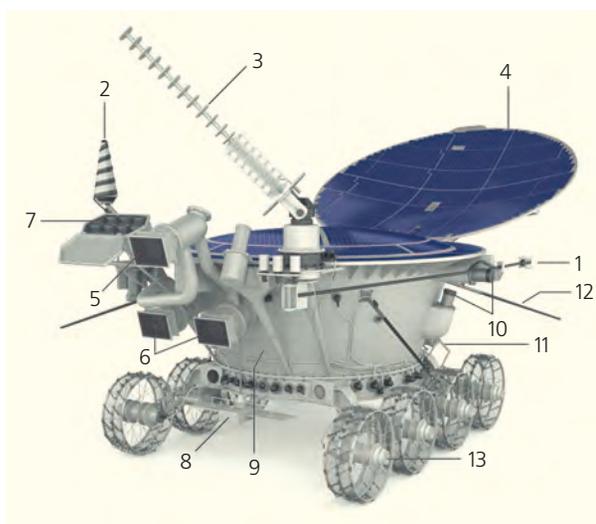


Рис.1. Схема «Лунохода-2». 1 — магнитометр, 2 — всенаправленная антенна, 3 — остонаправленная антенна, 4 — солнечная батарея, 5 — верхняя навигационная ТВ-камера, 6 — нижние навигационные ТВ-камеры, 7 — уголкового отражателя, 8 — выносной блок аппаратуры «РИФМА», 9 — герметический контейнер с научными приборами, 10 — панорамные ТВ-камеры, 11 — прибор оценки проходимости (ПрОП), 12 — штыревая антенна, 13 — мотор колеса.

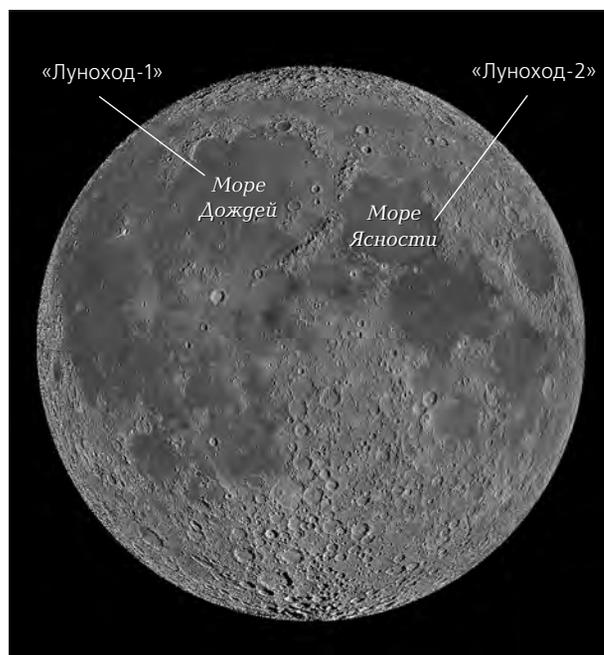


Рис.2. Места работы «Луноходов-1 и -2» на изображении видимого полушария Луны, полученного камерой LROC WAC на космическом аппарате (КА) Lunar Reconnaissance Orbiter.

Фото WAC_ROI_NEARSIDE_DAWN_0000N0000_008P

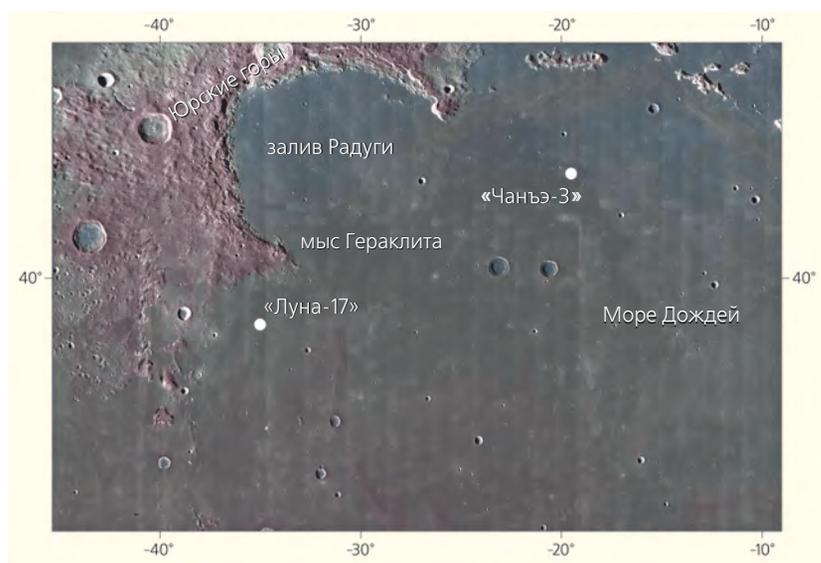


Рис.3. Рельеф северо-западной части Моря Дождей и примыкающих с северо-запада Юрских гор. Показаны места посадки КА «Луна-17» и китайского аппарата «Чаньэ-3» (2013 г.), доставившего на Луну планетоход «Юту». Мозаика снимков LROC WAC.

Маршрут «Лунохода-1»

Во время работы «Лунохода-1» у нас не было детальных орбитальных снимков района работы (см. рис.3), и мы не понимали, что встретим за пределами видимости навигационных и панорамных ТВ-камер, а это расстояния в десятки метров.

Когда попадался интересный кратер или камень либо приближался конец очередного сеанса работы (что определялось видимостью Луны из пункта управления в Крыму), луноход останавливался, проводил ТВ-съемку панорамными камерами, выполнял другие наблюдения, а экипаж уходил на отдых. В течение первых двух лунных дней планетоход прошел немногим более 1 км на юг (рис.4). Затем его развернули в обратном направлении, и в течение третьего лунного дня, пользуясь штурманской прокладкой маршрута с измерениями расстояния при помощи безмоторного (что исключало эффект пробуксовки) девятого колеса, он вышел к месту посадки «Луны-17». В течение четвертого дня аппарат продвинулся примерно на 1 км к северу и вышел к морфологически свежему крупному (диаметром 400 м) кратеру, позднее получившему название Боря. На валу этого кратера и в верхней части его внутреннего склона в течение 5–7-го лунных дней и начала 8-го планетоход

того дня аппарат продвинулся примерно на 1 км к северу и вышел к морфологически свежему крупному (диаметром 400 м) кратеру, позднее получившему название Боря. На валу этого кратера и в верхней части его внутреннего склона в течение 5–7-го лунных дней и начала 8-го планетоход

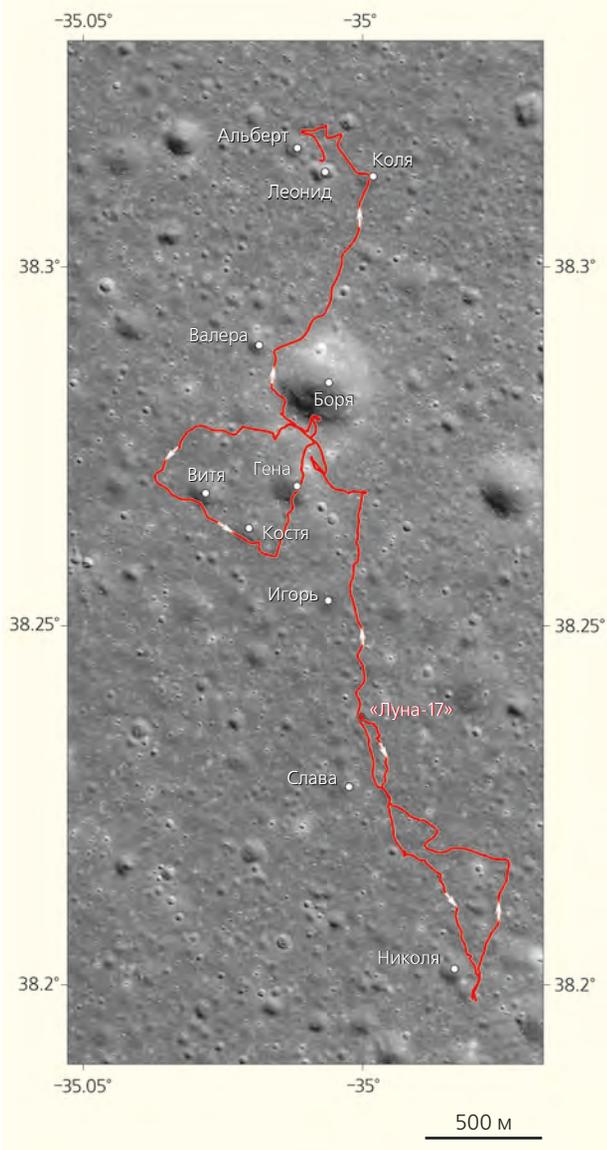


Рис.4. Маршрут «Лунохода-1» и названия кратеров — имена членов экипажа (как они называли друг друга) луноходов. Стрелки на линии маршрута — направление движения планетохода. Мозаика снимков LROC NAC.

проводил различные исследования, пройдя в общей сложности около 4 км. Далее он двигался в основном к северу, но в течение 9–11-го лунных дней повернул к западу, а потом к югу. Общий путь в этой последней части маршрута составил менее 1 км [5].

На изображениях, полученных панорамными ТВ-камерами, видны типичные формы рельефа в этом районе — малые кратеры и камни и посадочная платформа «Луны-17», с которой планетоход съехал через 3 ч после посадки и к которой он вернулся в конце третьего лунного дня (рис.5).

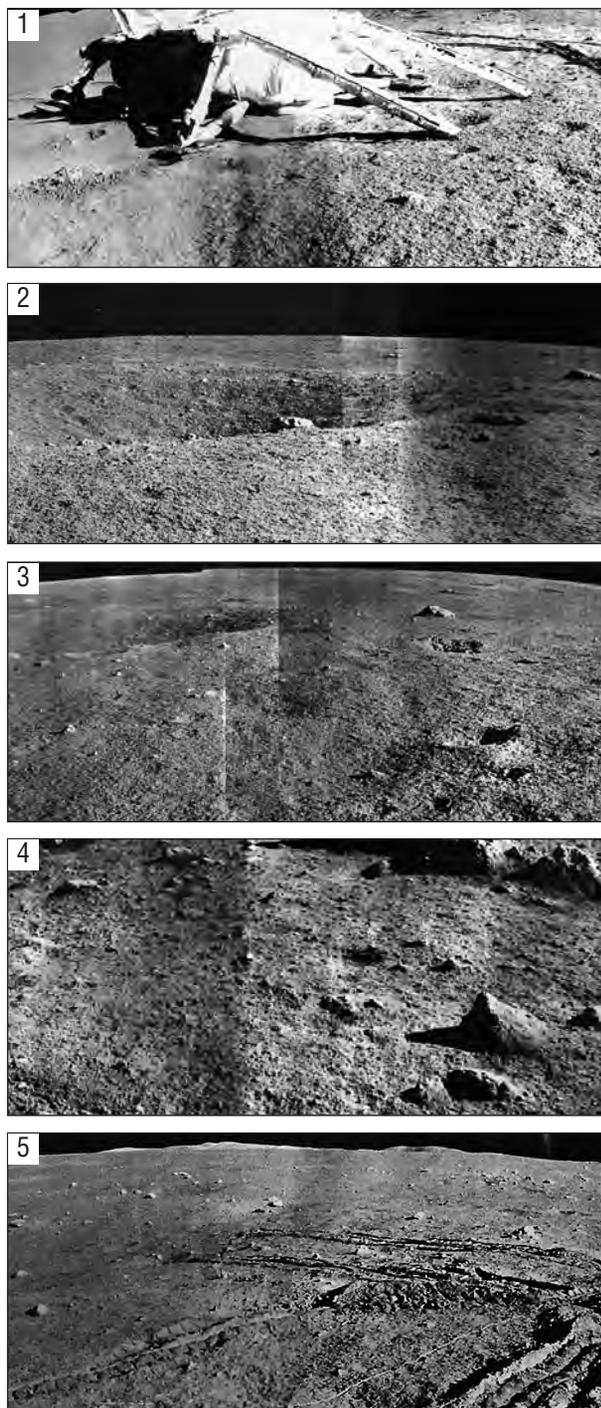


Рис.5. Ландшафты района работы «Лунохода-1». Фрагменты панорамных изображений, полученных его ТВ-камерами. 1 — посадочная платформа КА «Луна-17» на поверхности равнины Моря Дождей; 2 — кратер морфологического класса В диаметром ~5 м; 3 — еще один кратер класса В диаметром ~5 м и более четкие кратеры (класс А) диаметром ~0.5 м; 4 — каменистая поверхность верхней части внутреннего склона кратера Боря диаметром 400 м; 5 — равнина Моря Дождей вблизи конечной точки маршрута «Лунохода-1», на горизонте видна светлая полоска гор мыса Гераклита.

Маршрут «Лунохода-2»

В начале работы «Лунохода-2» у нас тоже не было детальных орбитальных снимков района работы (рис.6). Но вскоре в Москву на совещание в Институт космических исследований приехал Х.Мазурский — сотрудник Геологической службы США, известный специалист по планетной геологии. Он привез нам детальные снимки на кратер Лемонье, полученные с орбитального модуля «Аполлона-15». Это позволило на получаемых луноходом ТВ-панорамах опознать характерные детали рельефа кратера Лемонье и методом обрат-

ных засечек достаточно точно определить местоположение аппарата и обоснованно спланировать его маршрут (рис.7).

Сначала «Луноход-2» пошел на юг по морской равнине днища кратера (первый и значительная часть второго лунного дня) и, проведя все запланированные наблюдения, примерно через 7 км подошел к холмам Встречным. Эта часть кратерного вала Лемонье — разновидность местности материкового типа. Здесь, пройдя более 1.5 км, он произвел необходимые наблюдения и вернулся на морскую равнину. При этом планетоход углубился в пределы

равнины примерно на 2 км. Но тут было признано, что программа исследований в районе холмов Встречных выполнена не полностью, и он вернулся туда, а потом снова вышел на морскую равнину, добавив этими передвижениями около 6 км пути. В течение третьего лунного дня аппарат двигался в восточном направлении, в сторону борозды Прямой — тектонической структуры (грабена), рассекающей в направлении север—юг равнину днища Лемонье. В течение этого лунного дня планетоход прошел около 14 км. До борозды Прямой оставалось около 1.5 км. В течение четвертого лунного дня луноход подошел к западной кромке борозды и провел исследования на ее западной и восточной сторонах, пройдя в общей сложности около 10 км. В начале пятого лунного дня состоялось всего три сеанса работы. В первом происходило включение систем и зарядка аккумуляторов от солнечной батареи. Во втором луноход двинулся сначала на юг, потом на север и прошел, выполняя наблюдения и измерения, около 500 м. В начале третьего сеанса аппарат перегрелся и был выключен. В следующем сеансе связи на сигналы с Земли он не отвечал. Общий путь за пять лунных дней составил около 39 км [4, 6].

На рис.8 показаны фрагменты изображений, которые получили ТВ-камеры «Лунохода-2».

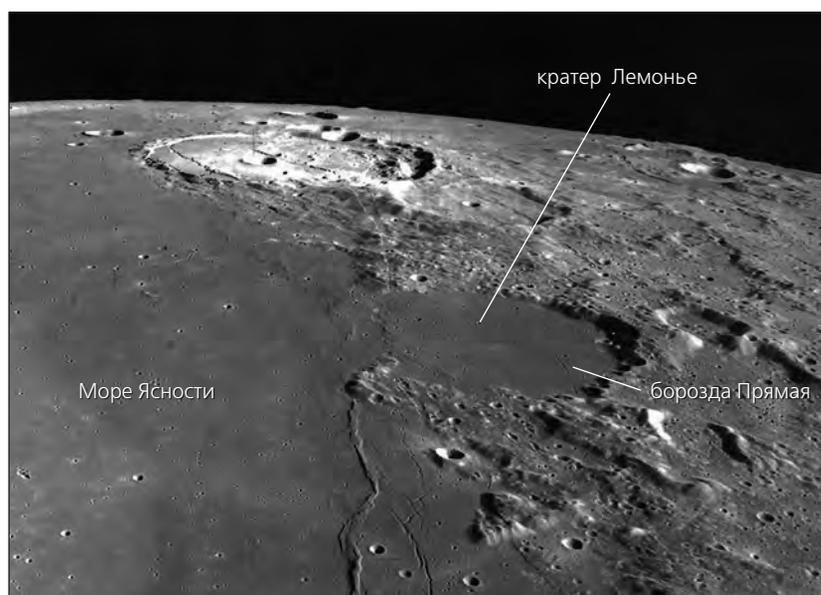


Рис.6. Снимок кратера Лемонье, где работал «Луноход-2». Фото «Аполлона-17».

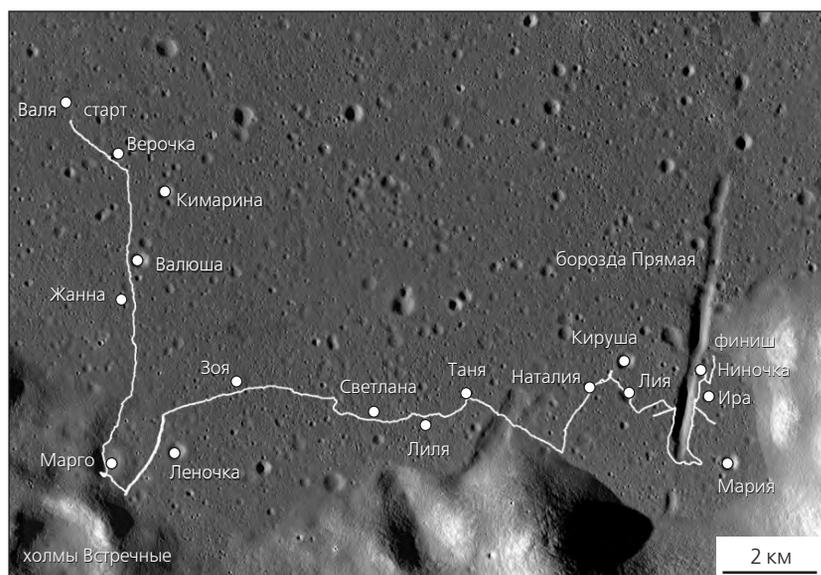


Рис.7. Маршрут «Лунохода-2» и названия кратеров — имена женщин, работавших с луноходами и собранными ими данными. Мозаика снимков LROC NAC.

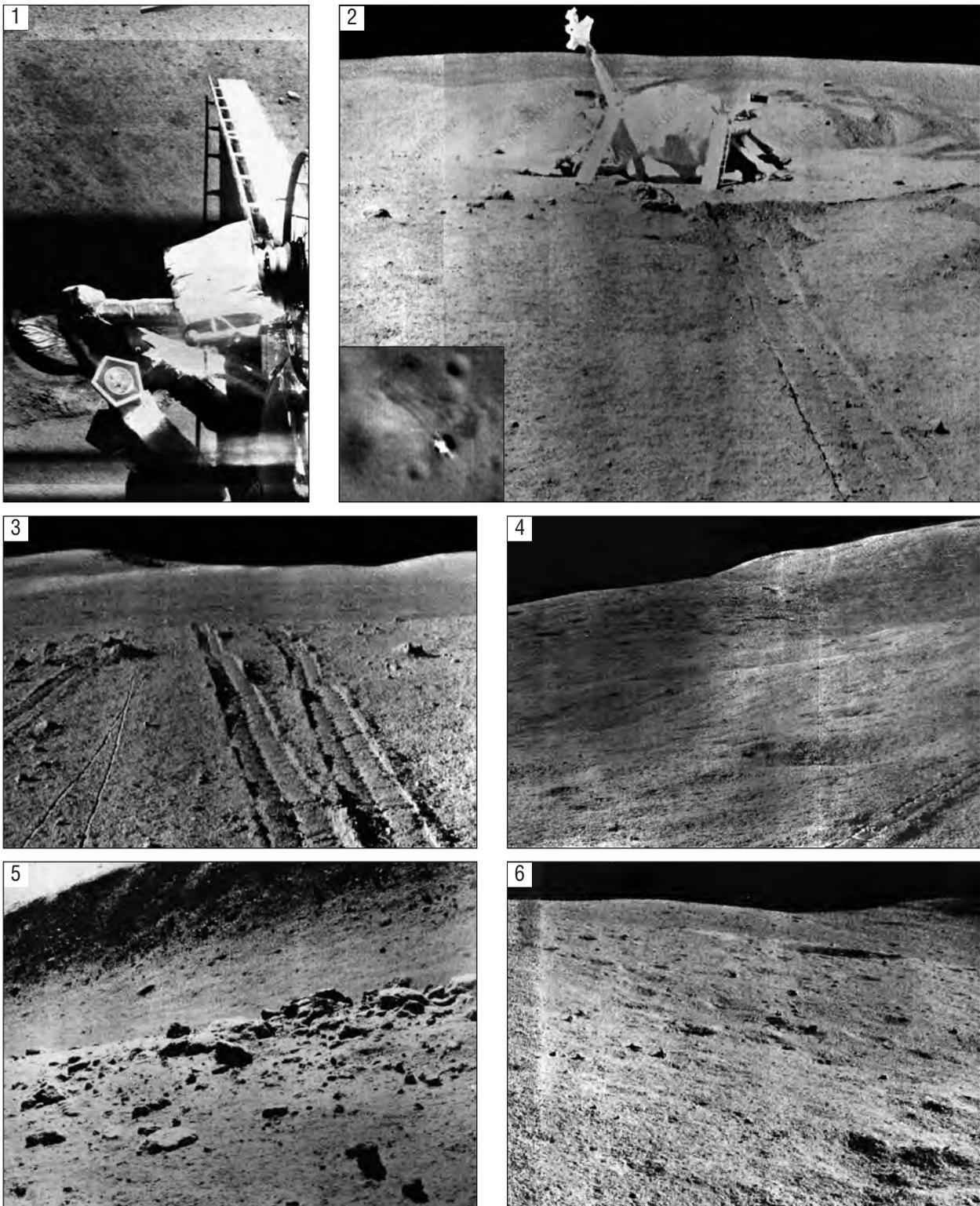


Рис.8. Ландшафты района работы «Лунохода-2». Фрагменты ТВ-панорам, полученных его ТВ-камерами. 1 — фрагмент панорамы, выполненной вертикальной камерой лунохода до съезда с посадочной платформы КА, стрелка указывает на барельеф с изображением Ленина; 2 — посадочная платформа после съезда с нее лунохода; на врезке слева — «Луна-21» на снимке LROC NAC M122007650LE; 3 — равнина днища кратера Лемонье со следами колес планетохода, 4 — ландшафт в пределах холмов Встречных, 5 — россыпь камней на западном краю депрессии борозды Прямой, 6 — пейзаж утра пятого лунного дня накануне сеанса, когда «Луноход-2» перегрелся и перестал отвечать на сигналы с Земли.

Конец миссии «Лунохода-2»

Из дневника, который я вел во время работы планетохода:

20 апреля 1973 г. Сеанс 411.

Идем на север восточнее борозды Прямой. Солнце сзади. Теней не видно.

05:05. Зацепили кратер «В» — 5 м, потеряли сигнал (дифферент $\approx 20^\circ$, крен $\approx 20^\circ$).

05:13. ПрОП [прибор оценки проходимости] внутри «В» — 5 м на склоне, ход 9-го колеса максимальный, штамп грунта не коснулся.

05:13–05:15 (!!!). Выход назад с незакрытой панелью солнечной батареи (вставка водителя лунохода В.Г.Довганя от 1 марта 2011 г.: «Предложение экипажа о ее закрытии группа управления не приняла»).

05:15. Вышли из «В» — 5 м, отошли назад. Разворот влево на Солнце.

Маневрируя в кратере с незакрытой крышкой солнечной батареи, «Луноход-2» зацепил ею за внутренний склон кратера. На ее поверхность насыпался грунт, что с Земли сразу заметили по уменьшению тока заряда. В конце четвертого лунного дня, когда аппарат уходил в ночь, крышку пришлось закрыть, иначе ночью он мог замерзнуть, и грунт (а он прекрасный теплоизолятор) попал на радиатор. На следующий (пятый) лунный день радиатор, посыпанный лунным грунтом, плохо излучал тепло в космос. 10 мая луноход перегрелся и на связь более не выходил.

Научные результаты, полученные «Луноходами-1 и -2»

Как сказано выше, на луноходах было несколько научных приборов, результаты измерений которых привели к заметному прогрессу в ряде направлений изучения Луны.

Исследована топография поверхности вдоль маршрутов «Луноходов-1 и -2» в масштабе метры — несколько километров. Эти данные важны для понимания деталей строения поверхности Луны — как для фундаментального знания, так и для разработки инженерных моделей поверхности. При проектировании посадочных аппаратов учитывается вероятность встречи уклонов поверхности разной крутизны (рис.9) и выбирается компромисс между разрешенной для данной конструкции крутизной склона и вероятностью встречи такой крутизны.

Изучены морфология, размеры и распространенность малых кратеров и камней. Такая информация поможет понять процессы преобразования поверхности Луны, а также она важна

при разработке инженерных моделей поверхности [9–11]. Малые (диаметром от нескольких метров до 1–2 км) кратеры — преобладающие формы рельефа на Луне. Довольно рано стало ясно, что степень их морфологической выраженности (рис.10, классы А, В и С) зависит от возраста крате-

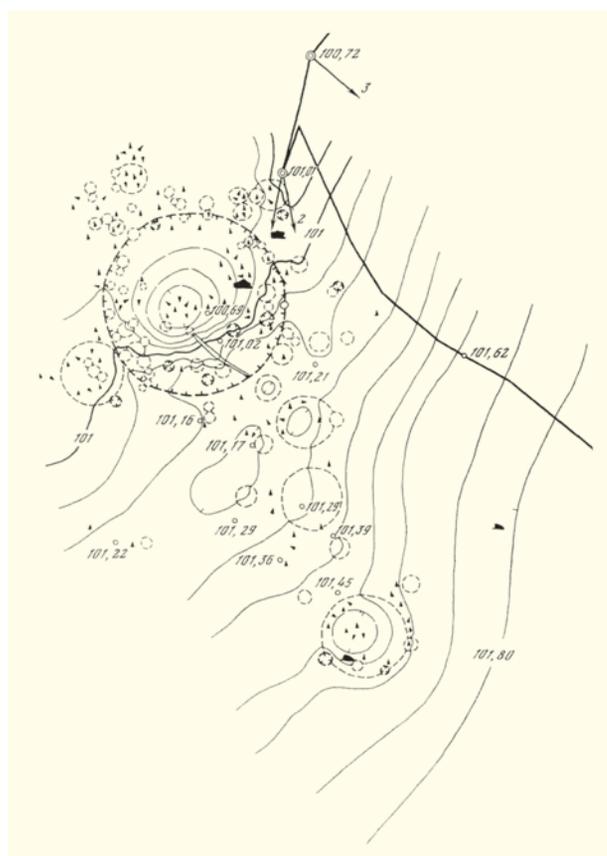


Рис.9. Примеры топографических планов, составленных по результатам штурманской прокладки маршрута и анализа ТВ-панорам [7, 8].

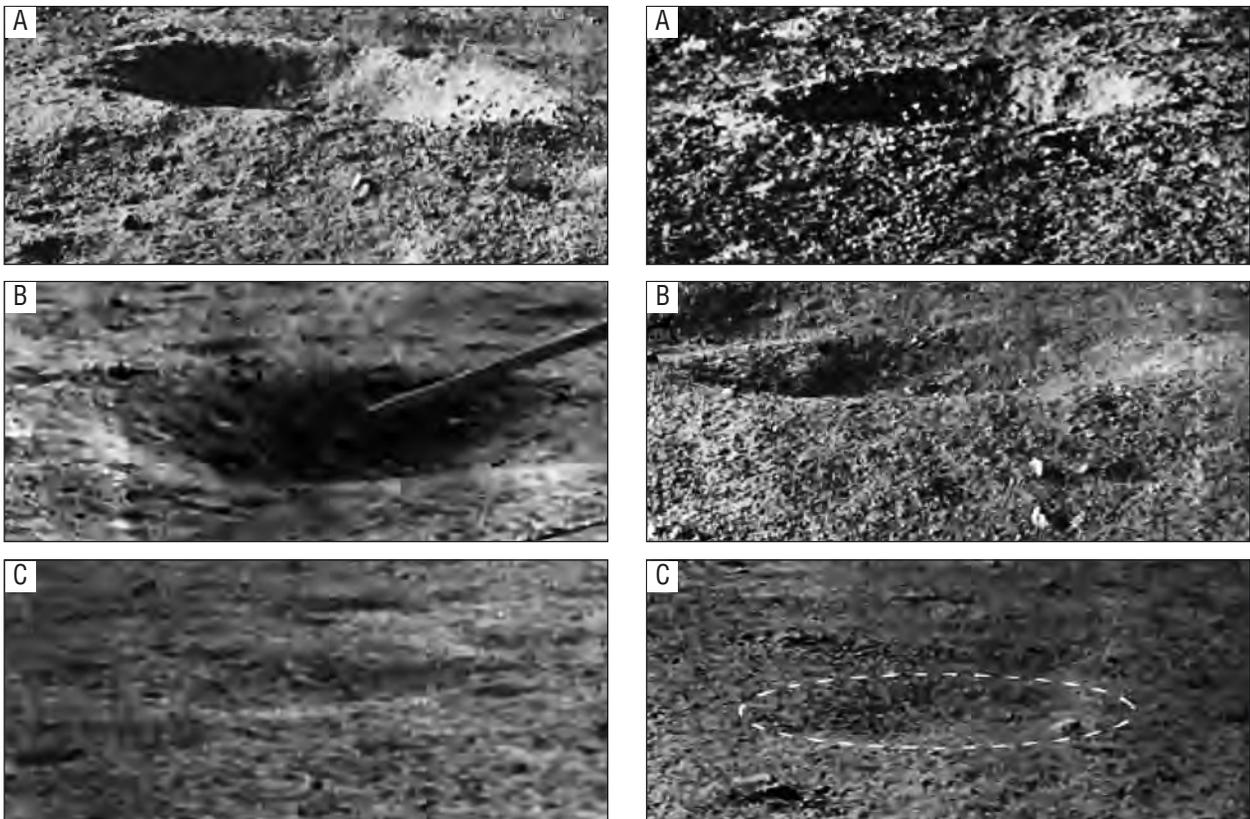


Рис.10. Кратеры диаметром в несколько метров с различной морфологической выраженностью. Для кратеров класса А типичные значения отношения глубины к диаметру составляют 1/4–1/6, а крутизна верхней части внутренних склонов достигает 30–40°. Для кратеров класса В эти значения составляют 1/8–1/10 и 20–25°, для кратеров класса С — менее 1/10 и 8–10°. Фрагменты ТВ-панорам «Луноходов-1 и -2».

ров. Сравнивая степень выраженности и диаметры кратеров в местах посадки «Аполлонов» с определенным в земных лабораториях возрастом камней, собранных на валах этих кратеров, была выявлена количественная зависимость данных параметров кратеров от их абсолютного возраста [12]. И теперь лунные ландшафты с преобладанием малых кратеров (таких, как в районах работы луноходов) могут анализироваться с точки зрения истории их развития — какой образовался раньше, какой позже и когда конкретно.

Камни, встреченные на маршруте луноходов, различаются по первичной форме — типу раскалывания (рис.11, колонка 1), что определяется в том числе характером так называемой от-

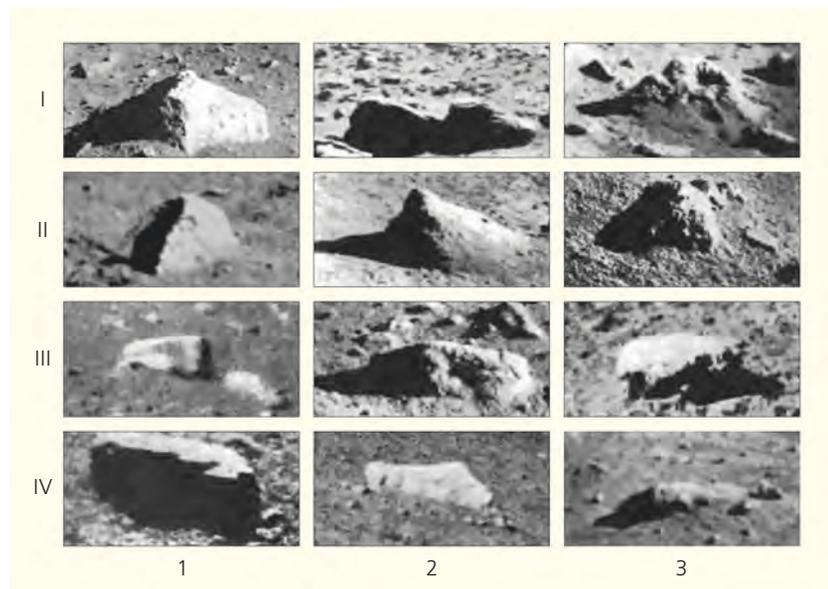


Рис.11. Камни поперечником от нескольких дециметров до нескольких метров. По первичной форме (по вертикали) и по степени переработки поверхностными процессами (по горизонтали) выделяют их различные типы. Фрагменты ТВ-панорам «Луноходов-1 и -2».

дельности исходных пород и степень переработки (нарушения) первичной формы (см. рис.11, колонки 2 и 3). На изображениях «переработанных» камней видны округлые впадины; вероятно, это результаты метеоритных ударов. Несомненно, в разрушении находящихся на поверхности камней определенную роль играют и суточные колебания температуры, которые достигают 250–300°.

Обнаружена зона отрицательного баланса слоя реголита на краю депрессии борозды Прямой. При наблюдениях в этом районе было показано, что толщина слоя реголита (судя по размерам кратеров, из которых происходили выбросы камней) с приближением к борозде уменьшается, а на ее кромке наблюдаются сплошные развалы камней размером от нескольких дециметров до метров (рис.12, 1). Это было интерпретировано как образование зоны отрицательного баланса слоя реголита на краю депрессии (рис.12, 2). Ширина данной зоны — от десятков до нескольких сотен метров — очевидно, представляет собой дальность эффективной горизонтальной переброски за счет малых метеоритных ударов [13, 14]. Подобное явление затрагивает развитие реголита на глубинах от дециметров до нескольких метров. Следует сказать, что несколько раньше зону отрицательного баланса

обнаружили астронавты «Аполлона-15» на краю борозды Хэдди в Море дождей [15], но мы тогда не имели доступа к отчетам экспедиций «Аполлон», и наш вывод о зоне отрицательного баланса на краях борозды Прямой был получен независимо.

С помощью рентгенофлуоресцентного спектрометра «РИФМА» измерен химический состав поверхности в районах работы «Луноходов-1 и -2» и получена оценка дальности горизонтального переноса высокоскоростного компонента выбросов из кратеров. В местах стоянки планетоходов почти всегда работал рентгенофлуоресцентный спектрометр. По его измерениям в верхнем слое грунта толщиной в несколько микрометров определялись содержания Si, Fe, Ca, Al, Ti и K [16–18]. В районе работы «Лунохода-1» измеренный состав был близок к составу базальтов. В районе работы «Лунохода-2» выявилась тенденция уменьшения содержания железа при приближении к материковой местности вала кратера Лемонье (рис.13). Скорее всего, это тоже результат горизонтального переноса выбросов из кратеров, но в данном случае — их высокоскоростного компонента, с образованием широких зон смешения. Это явление подтвердили наземные телескопические наблюдения, проведенные по нашей

просьбе в Харьковской астрономической обсерватории [19]. Дальний перенос высокоскоростного компонента выбросов из ударных кратеров ранее был описан Дж.Вудом с коллегами [20], когда в миллиметровой фракции лунного грунта из сборов совершившего посадку в Море Спокойствия «Аполлона-11» неожиданно нашли около 4% материала из лунных материков. А ближайшие выходы материковых пород располагались в 50 км от места посадки.

Изучение физико-механических свойств грунта с помощью прибора оценки проходимости и их привязка к геологической ситуации. Такие измерения проводились по маршрутам обоих луноходов. На пути «Лунохода-1» результаты измерений сопоставлялись с данными, полученными датчиком крена и дифферента аппарата. Что получилось из такого сопоставления, видно на рис.14. Это

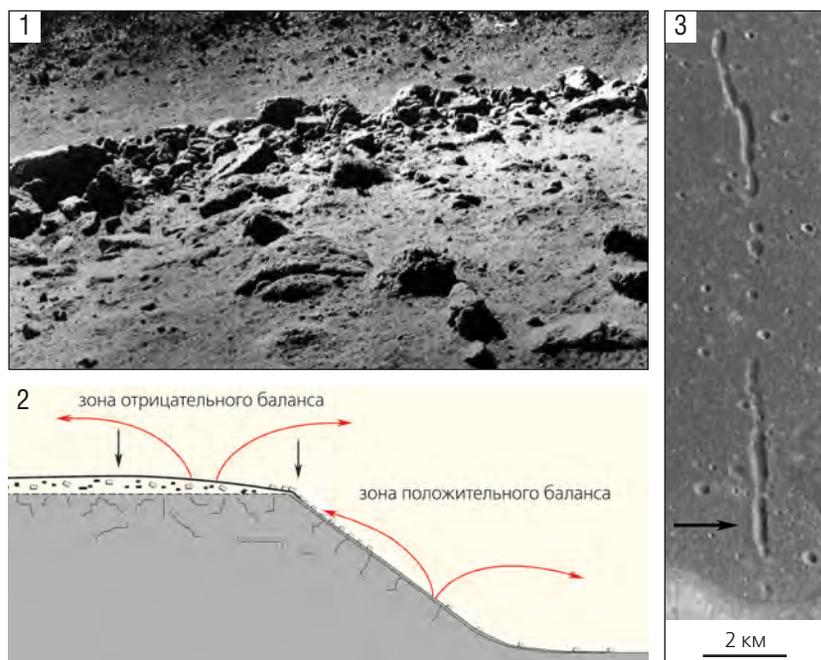


Рис.12. Изображения ландшафта борозды Прямой. 1 — на переднем плане россыпь камней на западном краю борозды — зона отрицательного баланса; далее видны днище борозды и каменистый восточный внутренний склон; фрагмент ТВ-панорамы L2_D04_S11_P08m; 2 — схема, отображающая зоны отрицательного и положительного баланса; 3 — фрагмент LROC NAC снимка M1126921794, показывающий борозду Прямую и место, где получена панорама первой части этого рисунка.



Рис.13. Распределение материковой компоненты (масс. %) в верхнем (микрометры) слое лунного грунта, по результатам анализа измерений прибором «РИФМА» [13, с изменениями].

усредненные результаты, показывающие, что несущая способность грунта и его сопротивление вращательному срезу уменьшаются с увеличением наклона поверхности. В ходе работы «Лунохода-2» датчик крена и дифферента вышел из строя еще до схода аппарата с посадочной платформы. О том, каковы были крен и дифферент, можно судить по расположению линии горизонта на изображениях местности, полученных навигационными камерами. Я эти приблизительные оценки в своем дневнике отмечал, в том числе и во время работы ПрОП, что впоследствии использовалось при обобщении данных по прочности лунного грунта и ее связи с наклонами поверхности. Выявленная по измерениям «Лунохода-1» тенденция уменьшения несущей способности и сопротивления вращательному срезу с увеличением наклона поверхности подтвердилась [22].

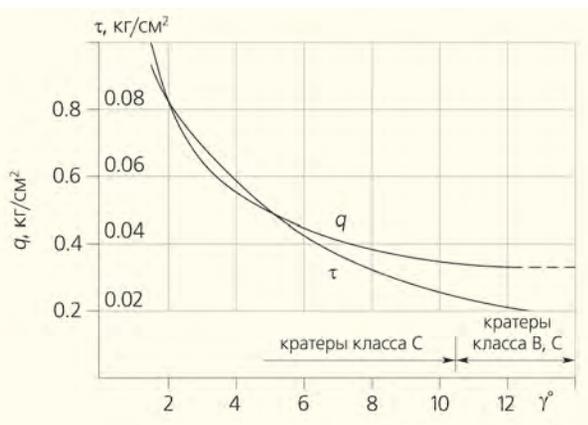


Рис.14. Зависимость несущей способности (q) и сопротивления вращательному срезу грунта (τ) от наклона (γ) участков поверхности по данным ПрОП [21].

Магнитометрические измерения по маршруту «Лунохода-2» и на стоянках. Магнитометр был установлен только на «Луноходе-2», и он проводил измерения постоянно [23]. При движении на них накладывался электромагнитный шум работающих моторов колес, и очищать от него магнитометрические измерения оказалось непросто. На рис.15 показаны магнитометрический профиль при пересечении луноходом небольшого кратера и результаты интерпретации магнитометрических измерений во время стоянок [24, 25].

Изменение напряженности магнитного поля при пересечении кратеров было обнаружено на примере восьми кратеров диаметром от 50 до 400 м. Предполагается, что наблюдаемая картина (см. рис.15, 1) отражает остаточную намагниченность мишени, вызванную пьезоэлектрической поляризацией минералов в породах мишени при прохож-

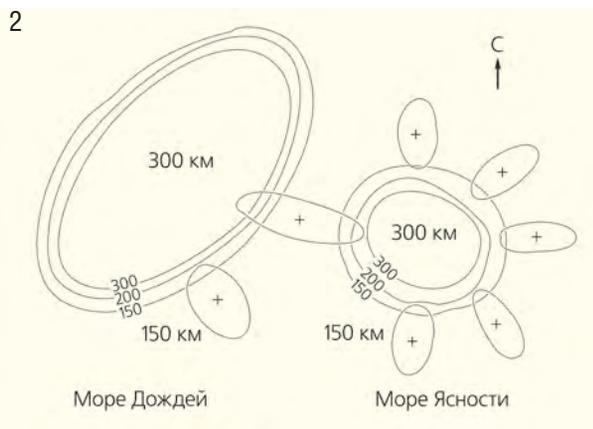
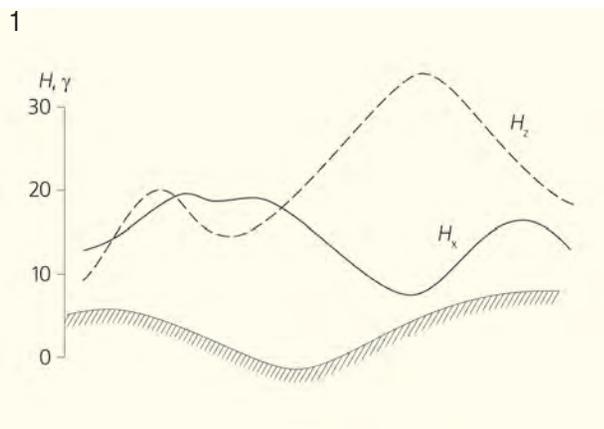


Рис.15. Примеры результатов измерений с помощью магнитометра «Лунохода-2». 1 — изменения напряженности магнитного поля (H) при пересечении луноходом небольшого кратера, γ — внесистемная единица, 1 гамма = 10^{-5} эрстед = $0.01/(4\pi)$ А/м; 2 — глубина вещества недр Луны с различной электропроводностью — интерпретация вариаций внешнего магнитного поля на стоянке .

дении ударной волны от кратерообразующего метеоритного удара [24].

На стоянках «Лунохода-2» магнитометр фиксировал вариации межпланетного магнитного поля. Совместный анализ измерений приборов «Лунохода-2» и «Аполлона-16» выявил аномально низкую электропроводность верхней мантии Луны под Морем Ясности по сравнению с таковой под окружающими материками. Был сделан вывод, что это связано с выносом теплогенерирующих радиоактивных элементов магмой, которая сформировала приповерхностное и потому легче теряющее тепло базальтовое заполнение Моря Ясности [25].

Лазерная локация для высокоточных измерений расстояний «лазер (на Земле) – отражатель (на Луне)». На обоих луноходах были установлены французские уголкового отражатели. Уголкового отражатели доставили на Луну и корабли «Аполлон-11, -14 и -15». Из некоторых земных обсерваторий на конкретный лунный отражатель направлялся лазерный луч, и по времени приема отраженного сигнала можно было с очень высокой точностью (дециметры, а впоследствии сантиметры) определять расстояния от источника на Земле до отражателя на Луне. Это, в частности, позволило измерить параметры движения Луны, в том числе неоднородности ее вращения вокруг оси. Такие неоднородности согласуются с наличием у Луны жидкого ядра. Установлено, что наш спутник удаляется от Земли примерно на 38 мм в год, а ее орбита становится более вытянутой [26–29]. В подобных измерениях наибольшую ценность представляют данные лоцирования уголкового отражателя «Лунохода-1», который был расположен на наибольшем расстоянии от центра видимого полушария Луны.

Изучение космического рентгеновского и корпускулярного излучений по результатам измерений коллиматорным рентгеновским телескопом. Этот прибор был установлен на «Луноходе-1». Измерения производились как во время движения, так и во время длительных стоянок. Ось телескопа была направлена вдоль вертикальной оси лунохода. Измерялось рентгеновское излучение и поток протонов. Проведенный эксперимент подтверждает перспективность проведения

таких исследований. Получен важный материал о характере работы аппаратуры на Луне и о необходимых модификациях приборов [30, 31].

Измерения свечения лунного неба с поверхности Луны в видимом и ультрафиолетовом диапазонах с помощью астрофотометра. Этот прибор был установлен на «Луноходе-2» и измерял свечение лунного неба над местом его работы. Небо оказалось не абсолютно черным, как и ожидалось, — ведь в лунном небе видны звезды. Но было также найдено, что светимость неба увеличивается, когда зенитное расстояние Солнца приближается к 90°. Это интерпретировалось как свидетельство присутствия над лунной поверхностью взвешенной пыли [32, 33].

* * *

Наблюдения и измерения, выполненные на «Луноходах-1 и -2», и их последующая обработка позволили получить ряд интересных и важных результатов. Однако координация обработки данных, переданных разными приборами, и их публикация оставляли желать лучшего. Сборников описаний результатов, составленных по «Луноходу-1» [34, 35], по результатам «Лунохода-2» уже не было.

К сожалению, обсуждавшиеся в начале 1970-х годов планы развития некоторых исследований Луны с помощью планетоходов (проект «Спарка», согласно которому луноход с манипулятором должен собирать и привозить образцы к аппарату, способному доставить их на Землю) осуществлены не были. Мне кажется, наша лунная программа была «травмирована» действительно выдающимися успехами американских экспедиций «Аполлон».

В последнее время наблюдается возврат интереса к результатам луноходов. Недавно в Московском государственном университете геодезии и картографии (МИИГАиК) была создана база ТВ-панорам, полученных «Луноходами-1 и -2»*. Будем надеяться на скорую реализацию запланированных российских проектов изучения нашего спутника «Луна-25, -26, -27, -28 и -29», которые включают в том числе новую версию планетохода. ■

* <http://carsrv.mexlab.ru/geoportal>

Автор признателен А.М.Абдрахимову, А.В.Захарову, С.В.Викторову, И.П.Карачевцевой, Ж.Ф.Родионовой, В.В.Шевченко и М.И.Маленкову за помощь в выполнении этой работы.

Литература / References

1. Basilevsky A.T. Exploration of the Moon by Soviet spacecraft. Encyclopedia of Space Science and Technology. Hans Mark (ed.). N.Y., 2003; 654–662.
2. Карачевцева И.П., Конопихин А.А., Шингарева К.Б. и др. Атлас «Лунохода-1»: геоинформационное картографирование и анализ региона посадки автоматической межпланетной станции «Луна-17» по данным дистанционного зондирования

- спутника Lunar Reconnaissance Orbiter. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012; 9(4): 292–303. [Karachevtseva I. P., Konopikhin A. A., Shingareva K. B. et al. Atlas “Lunokhod-1”: geoinformation mapping and analysis of the landing region of the automatic interplanetary station “Luna-17” according to remote sensing data of the Lunar Reconnaissance Orbiter satellite. Modern problems of remote sensing of the Earth from space. 2012; 9(4): 292–303. (In Russ.)]
3. Иванов О.Г., Рывкина В.А., Непоклонов Б.В. Функционирование «Лунохода-1» на Луне. Передвижная лаборатория на Луне «Луноход-1». М., 1978; 7–20. [Ivanov O.G., Ruykina V.A., Nepoklonov B.V. Operation of “Lunokhod-1” on the Moon. “Lunokhod-1” mobile laboratory on the Moon. Moscow, 1978; 7–20. (In Russ.)]
 4. Karachevtseva I.P., Kozlova N.A., Kokhanov A.A. et al. Cartography of the Luna-21 landing site and Lunokhod-2 traverse area based on Lunar Reconnaissance Orbiter Camera images and surface archive TV-panoramas. Icarus. 2017; 283: 104–121.
 5. Карта района посадки АМС «Луна-17» и маршрута «Лунохода-1». И.П.Карачевцева, Ж.Ф.Родионова (ред.), А.Ю.Жаркова, А.А.Коханов (сост.). М., 2016. [Map of the landing area of the AMS “Luna-17” and the route of “Lunokhod-1”. I.P.Karachevtseva, J.F.Rodionova (eds.), compiled by A.Yu.Zharkova, A.A.Kokhanov. Moscow, 2016. (In Russ.)]
 6. Карта района посадки АМС «Луна-21» и маршрута «Лунохода-2». И.П.Карачевцева, Ж.Ф.Родионова (ред.), А.Ю.Жаркова, А.А.Коханов (сост.). М., 2016. [Map of the landing area of the AMS “Luna-21” and the route of “Lunokhod-2”. I.P.Karachevtseva, J.F.Rodionova (eds.), compiled by A.Yu.Zharkova, A.A.Kokhanov. Moscow, 2016. (In Russ.)]
 7. Абрамова М.В., Говоров В.М., Давидовский К.К., и др. Изучение топографии района исследований «Лунохода-1». Передвижная лаборатория на Луне «Луноход-1». М., 1978; 2: 67–79. [Abramova M.V., Govorov V.M., Davidovsky K.K. et al. Study of the topography of the research area of “Lunokhod-1”. “Lunokhod-1” mobile laboratory on the Moon. Moscow, 1978; 2: 67–79. (In Russ.)]
 8. Родионов Б.Н. Топографические съемки на лунной поверхности с советских автоматических космических аппаратов. Геодезия и картография. 1973; 10: 26–41. [Rodionov B.N. Topographic surveys on the lunar surface from the Soviet automatic spacecraft. Geodesy and cartography. 1973; 10: 26–41. (In Russ.)]
 9. Флоренский К.П., Базилевский А.Т., Пронин А.А., Попова З.В. Предварительные результаты геоморфологического изучения панорам. Передвижная лаборатория на Луне «Луноход-1». М., 1971; 96–115. [Florensky K.P., Basilevsky A.T., Pronin A.A., Popova Z.V. Preliminary results of a geomorphological study of panoramas. “Lunokhod-1” mobile laboratory on the Moon. Moscow, 1971; 96–115. (In Russ.)]
 10. Florensky C.P., Basilevsky A.T., Gurshtein A.A. Geomorphological analysis of the area of Mare Imbrium explored by the automatic roving vehicle Lunokhod 1. Space Research XII. Berlin, 1972; 107–121.
 11. Florensky C.P., Basilevsky A.T., Bobina N.N. et al. The floor of crater Le Monier: Proc. LPSC. 9th. Houston, 1978; 1449–1458.
 12. Basilevsky A.T. On the evolution rate of small lunar craters. Proc. Lunar Sci. Conf. 7th. Houston, 1976; 1005–1020.
 13. Флоренский К.П., Базилевский А.Т., Бобина Н.Н. и др. Процессы преобразования поверхности Луны в районе Лемонье по результатам детального изучения на «Луноходе-2». Тектоника и структурная геология. Планетология. М., 1976; 205–234. [Florensky K.P., Bazilevsky A.T., Bobina N.N. et al. Processes of transformation of the lunar surface in the region of Lemonnier based on the results of detailed study on “Lunokhod-2”. Tectonics and structural geology. Planetology. Moscow, 1976; 205–234.
 14. Basilevsky A.T., Florensky C.P., Ronca L.B. Possible lunar outcrop: A study of Lunokhod-2 data. The Moon. 1977; 17: 19–28.
 15. Swann G.A., Bailey N.G., Batson R.M. et al. 5. Preliminary geologic investigation of the Apollo 15 landing site. Apollo 15 Preliminary Science Report. NASA SP-289. 1972; 5-23–5-24.
 16. Кочаров Г.Е., Викторов С.В. Химический состав лунной поверхности в районе работы «Лунохода-2». Доклады АН СССР. 1974; 214(1): 71–74. [Kocharov G.E., Viktorov S.V. The chemical composition of the lunar surface in the area of operation of “Lunokhod-2”. Reports of the USSR Academy of Sciences. 1974; 214(1): 71–74. (In Russ.)]
 17. Kocharov G.E., Viktorov S.V., Chesnokov V.I., Silin N.A. Chemical composition variations of the lunar surface in the contact zone “mare-highland. Space Research XV. Berlin, 1975: 587–592.
 18. Викторов С.В., Кочаров Г.Е., Силин Н.А., Чесноков В.И. О переносе вещества на лунной поверхности. Космические исследования. 1978; 16(4): 544–550. [Viktorov S.V., Kocharov G.E., Silin N.A., Chesnokov V.I. On the transfer of matter on the lunar surface. Space exploration. 1978; 16(4): 544–550. (In Russ.)]
 19. Флоренский К.П., Иванов А.В., Базилевский А.Т. Роль экзогенных факторов в формировании лунной поверхности. Космохимия Луны и планет. М., 1975; 439–452. [Florensky C.P., Ivanov A.V., Basilevsky A.T. The role of exogenous factors in the formation of the lunar surface. Cosmochemistry of the Moon and planets. M., 1975; 439–452. (In Russ.)]
 20. Wood J.A., Dickey J.S., Marvin U.B., Powell B.N. Lunar anorthosites and a geophysical model of the Moon. Proc. of the Apollo 11 Lunar Science Conference. 1970; 1: 965–988.
 21. Леонович А.К., Иванов О.Г., Павлов П.С. и др. Самоходное шасси «Лунохода-1» как инструмент для исследования лунной поверхности. Передвижная лаборатория на Луне «Луноход-1». М., 1978; 2: 25–62. [Leonovich A.K., Ivanov O.G., Pavlov P.S. et al. Self-propelled chassis of “Lunokhod-1” as a tool for studying the lunar surface. “Lunokhod-1” mobile laboratory on the Moon. Moscow, 1978; 2: 25–62. (In Russ.)]

22. *Базилевский А.Т., Гребенник Н.Н., Громов В.В. и др.* Зависимость физико-механических свойств лунного грунта от особенностей рельефа и процессов в районе работ «Лунохода-2». *Космические исследования*. 1984; XXII(2): 243–251. [*Basilevsky A.T., Grebennik N.N., Gromov V.V. et al.* The dependence of the physical and mechanical properties of the lunar soil on the features of the relief and processes in the area of work “Lunokhod-2”. *Space exploration*. 1984; XXII(2): 243–251. (In Russ.)]
23. *Долгинов Ш.Ш., Ерошенко Е.Г., Жузгов Л.Н. и др.* Магнетизм и электропроводность Луны по данным «Лунохода-2». *Космохимия Луны и планет*. М., 1975; 314–322. [*Dolginov Sh.Sh., Eroshenko E.G., Zhuzgov L.N. et al.* Magnetism and electrical conductivity of the Moon according to the data of “Lunokhod-2”. *Cosmochemistry of the Moon and planets*. Moscow, 1975; 314–322. (In Russ.)]
24. *Иванов Б.А., Окулеский Б.А., Базилевский А.Т.* Импульсное магнитное поле при ударной поляризации горных пород как возможная причина возникновения аномалий магнитного поля на Луне, связанных с кратерами. *Письма в АЖ*. 1976; 2(5): 257–260. [*Ivanov B.A., Okulesky B.A., Bazilevsky A.T.* Pulsed magnetic field during shock polarization of rocks as a possible reason for the occurrence of magnetic field anomalies on the Moon associated with craters. *Letters to AZ*. 1976; 2 (5): 257–260. (In Russ.)]
25. *Vanyan L.L., Vnuchkova T.A., Egorov L.V. et al.* Electrical conductivity anomaly beneath Mare Serenitatis detected by Lunokhod 2 and Apollo 16 magnetometers. *Earth, Moon and Planets*. 1979; 21(2): 185–192. DOI:10.1007/BF00897087.
26. *Calame O.* Free librations of the Moon determined by an analysis of laser range measurements. *The Moon*. 1976; 15: 343–352.
27. *Алешкина Е.Ю.* Лазерная локация Луны. *Природа*. 2002; 9: 57–66. [*Aleshkina E.Yu.* Laser location of the Moon. *Priroda*. 2002; 9: 57–66. (In Russ.)]
28. *Murphy T.W., Adelberger E.G., Battat J.B.R. et al.* Laser ranging to the lost Lunokhod-1 reflector. *Icarus*. 2011; 211: 1103–1108.
29. *Павлов Д.А.* Лазерная локация Луны: Научный эксперимент длительностью в 40 лет. *Компьютерные инструменты в школе*. 2017; 2: 32–41. [*Pavlov D.A.* Laser location of the Moon: Scientific experiment lasting 40 years. *Computer tools at school*. 2017; 2: 32–41. (In Russ.)]
30. *Бейгман И.Л., Вайнштейн Л.А., Васильев Б.Н. и др.* Коллиматорный рентгеновский телескоп РТ-1. Передвижная лаборатория на Луне «Луноход-1». М., 1978; 138–142. [*Beigman I.L., Vainshtein L.A., Vasiliev B.N. et al.* The RT-1 X-ray collimator telescope. “Lunokhod-1” mobile laboratory on the Moon. Moscow, 1978; 138–142. (In Russ.)]
31. *Любимов Г.П., Чучков Г.А., Переслагина И.В., Мягченкова О.Г.* Космические лучи малых энергий на спаде 20-го цикла солнечной активности. Передвижная лаборатория на Луне «Луноход-1». М., 1978; 139–169. [*Lyubimov G.P., Chuchkov G.A., Pereslagina I.V., Myagchenkova O.G.* Cosmic rays of low energies on the decline of the 20th solar cycle. “Lunokhod-1” mobile laboratory on the Moon. Moscow, 1978; 139–169. (In Russ.)]
32. *Зверева А.М., Северный А.Б., Терез Е.И.* Измерения яркости лунного неба на «Луноходе-2». *Космические исследования*. 1974; 12: 910–916. [*Zvereva A.M., Severny A.B., Terez E.I.* Measurements of the brightness of the lunar sky on the “Lunokhod-2”. *Space exploration*. 1974; 12: 910–916. (In Russ.)]
33. *Severnyi A.B., Terez E.I., Zvereva A.M.* Results of the Investigation of lunar sky brightness obtained by means of the AF-3L astrophotometer on board Lunokhod-2. *The Moon*. 1975; 14: 123–128.
34. *Передвижная лаборатория на Луне «Луноход-1».* А.П.Виноградов (ред.). М., 1971. [“Lunokhod-1” mobile laboratory on the Moon. A.P.Vinogradov (ed.). Moscow, 1971. (In Russ.)]
35. *Передвижная лаборатория на Луне «Луноход-1».* В.Л.Барсуков (ред.). М., 1978; 2. [“Lunokhod-1” mobile laboratory on the Moon. V.L.Barsukov (ed.). Moscow, 1978; 2. (In Russ.)]

Lunokhod-1 and Lunokhod-2 in the History of Lunar Studies

A.T.Basilevsky

Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry, RAS (Moscow, Russia)

Lunokhod-1 was launched from Earth on November 10, 1970 onboard of automatic station Luna-17; and on November 17 it landed in the north-western part of the Mare Imbrium plain. It worked for eleven lunar days and run 9.9 km. Lunokhod-2 was launched from Earth on January 8, 1973 onboard of automatic station Luna-21 and on January 15 it landed in the plain terrain of the crater Lemonier, a bay of Mare Serenitatis. It worked little more than four lunar days and run 39.1 km. Both Lunokhods were equipped with four panoramic television cameras. Analyses of their images allowed to obtain interesting data on topography and geologic structure of lunar surface. Also Lunokhods had X-ray fluorescence spectrometers and the equipment for the rover trafficability estimation, which acquired the data on chemical composition and physical and mechanical properties of the soil, as well as the corner reflector, laser location of which provided data on internal structure of the Moon. Also on Lunokhod-1 was collimated X-ray telescope and on Lunokhod-2 — magnetometer and astrophotometer. Nowadays an interest in the results obtained by the lunar rovers is renewed. Recently, at the Moscow State University of Geodesy and Cartography, a database of TV panoramas obtained by the first Soviet lunar rovers was created. Let's hope for the fast implementation of the planned second-generation of Russian Lunar project, which include, among other things, a new version of the rover.

Keywords: Lunokhod, route, mare, highland, craters, rocks, soil.