

УДК 523.34

АСТРОНОМИЯ

К. П. ФЛОРЕНСКИЙ, А. Т. БАЗИЛЕВСКИЙ, А. А. ГУРШТЕЙН,
В. В. ЗАСЕЦКИЙ, А. А. ПРОНИН, В. П. ПОЛОСУХИН

ГЕОЛОГО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАЙОНА РАБОТЫ «ЛУНОХОДА-2»

(Представлено академиком А. П. Виноградовым 24 IX 1973)

Автоматическая станция «Луна-21» доставила «Луноход-2» в южную часть древнего, затопленного лавами морского типа, кратера Лемонье. Координаты точки посадки: $30^{\circ}27'$ в.д. и $25^{\circ}51'$ с.ш. В отличие от научных задач «Лунохода-1» (^{1,2}), основной целью экспериментов на «Луноходе-2» было исследование зоны перехода от морских образований к горным материковым сооружениям. Район посадки лунохода и последующий маршрут его движения определялись конкретными научными задачами, подчиненными этой основной цели (рис. 1).

На основании анализа результатов наземных телескопических наблюдений района посадки и фотографических изображений, полученных с орбиты искусственных спутников Луны космическими аппаратами «Лунар Орбитер» и космическими кораблями «Аполлон», в геологической истории рассматриваемого региона можно выделить следующие этапы:

1) Образование бассейна Моря Ясности и обрамляющих его отложений типа формации Фра-Мауро.

2) Образование субквадратных кратеров и депрессий с предпочтительной ориентировкой бортов северо-запад — северо-восток (Лемонье, Лемонье А, Шакорнак) и частичное заполнение их отложениями морского типа.

3) Образование кратера Посидоний (150 км к северу от района посадки, диаметр 100 км); перекрытие северной части района посадки выбросами из Посидония; формирование системы вторичных кратеров.

4) Образование системы тектонических разломов, ориентированных вдоль береговой линии Моря Ясности; разрушение западной части вала кратера Лемонье.

5) Излияния темных лав морского типа в восточной части Моря Ясности и в пределах кратера Лемонье; образование морских гряд; формирование на морской поверхности трещин субмеридионального простираения.

Большая часть маршрута лунохода приходится на полого-волнистую лавовую равнину морского типа, образование которой относится к пятому из перечисленных этапов, слабо переработанную с поверхности экзогенными процессами (рис. 2). Возраст морской поверхности — эратосфенский (³). Характерные формы рельефа здесь типичны для всех морских равнин: это кратеры поперечником менее 1 км, морские гряды и борозды. Одна из борозд, расположенная в юго-восточной части кратера Лемонье, Борозда Прямая, явилась объектом специальных исследований. Простираение Борозды Прямой субмеридиональное, длина около 16 км при ширине 300—400 м и глубине более 50 м.

В районе исследований наблюдаются два типа перехода от морской поверхности к материку. К югу от точки посадки располагается холмисто-западинная слабоприподнятая равнина, которая, обладая рядом

свойств, характерных для морских поверхностей, в структурно-тектоническом и в геохимическом отношении ⁽⁸⁾ принадлежит уже к материковой зоне. Характер перехода от моря к матерiku здесь нечеткий. Граница между морскими и материковыми комплексами маскируется плащом реголита. К юго-востоку от точки посадки в окрестностях морского залива, которому дано название Бухты Круглой, с морской поверхностью граничит кольцевой хребет реликта кратерного вала Лемонье, являющегося частью горно-материкового сооружения Тавр. Граница между морскими и материковыми комплексами здесь очень четкая. Непосредствен-



Рис. 1. Физиографическая карта-схема части кратера Лемонье с маршрутом «Лунохода-2». Буквой Р и порядковым номером обозначены места проведения химического анализа грунта в соответствии с ⁽⁸⁾. Карту-схему составил Г. А. Бурба, проекция Меркатора

но в зоне перехода от морской поверхности к материковому склону часто наблюдается подсклоновый шлейф.

Геолого-морфологические наблюдения на «Луноходе-2» производились по панорамным телевизионным изображениям на стоянках и по телевизионным изображениям в процессе движения. Предварительные результаты этих наблюдений описываются раздельно для трех исследованных типов местности: морской поверхности, Борозды Прямой, холмисто-западинной местности.

1. Морская поверхность. В исследованной части дна кратера Лемонье микрорельеф поверхности типичен для морей. Основными формами его являются кратеры и связанные с ними камни.

Распространенность кратеров диаметром от 5 см до 5–10 м оценивалась по стереопанорамам; плотность кратеров этого интервала размеров близка к значениям, характерным для «равновесной» функции:

$$N_{>D} = 10^{10,9} D^{-2} / 10^6 \text{ км}^2 (^{\circ}, ^{\circ}).$$

Кратеры, наблюдавшиеся на телевизионных изображениях, имеют преимущественно чашеобразную форму. Распространенность кратеров, относящихся к различным морфологическим классам, близка к таковой для района исследований «Лунохода-1» в Море Дождей ^(4, 5): круто-



Рис. 2

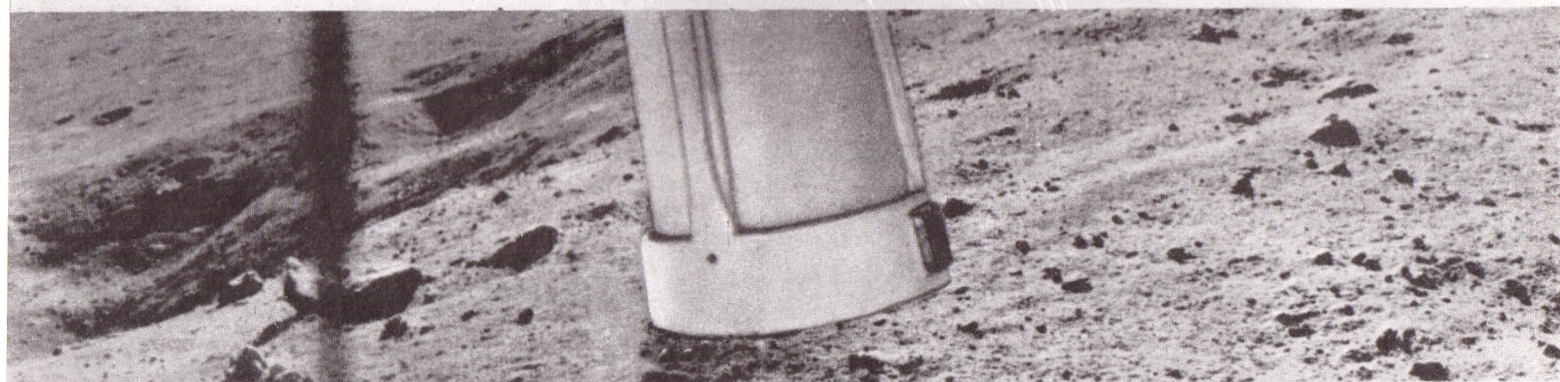


Рис. 3

Рис. 2. Ландшафт поверхности морского типа в южной части кратера Лемонье. На заднем плане горные сооружения, обрамляющие кратер Лемонье

Рис. 3. Оползневые террасы около кратера морфологического класса В диаметром 20 м



Рис. 4. Борозда Прямая. *а* — общий вид с западного борта, *б* — россыпь камней в прибровковой зоне борозды, *в* — характерные формы камней в прибровковой россыпи

склонные формы, относящиеся к классам *A*, *AB* и *B*, резко уступают в распространенности пологосклонным кратерам классов *BC* и *C*.

Вдоль маршрута движения «Лунохода-2» проводились специальные наблюдения за распространенностью вторичных каменных кратеров, образовавшихся при низкоскоростных ударах (⁶, ⁷). На участке наблюдений длиной около 20 км встречено 22 вторичных каменных кратера диаметром 1–4 м, что составляет примерно 0,25% общего количества встреченных кратеров. На отдельных участках маршрута протяженностью до 1 км доля вторичных каменных кратеров увеличивалась до 1%.

Камни на морской поверхности связаны с выбросами из кратеров. Как правило, каменные выбросы появляются у кратеров диаметром более 10 м, в отдельных случаях — у кратеров диаметром 4–5 м. Судя по этим данным, мощность реголита на исследованном участке морской поверхности колеблется от 1–1,5 до 5–6 м, в среднем составляя 2–3 м. Подсчеты камней поперечником более 10 и 20 см для оценки средней распространенности их на морской поверхности показали, что на участке маршрута протяженностью около 10 км в Бухте Круглой средняя плотность камней, нормированная на 100 м² поверхности, следующая: $n_{>10\text{см}} \approx 10$, $n_{>20\text{см}} \approx 2$.

2. Борозда Прямая. В процессе исследований получены телевизионные изображения Борозды Прямой с ее восточного и западного бортов (рис. 4).

Склоны Борозды Прямой имеют сложное строение. Самая верхняя часть склона длиной 20–40 м сравнительно пологая, уклон возрастает вниз, изменяясь от 1–3° до 10–15°, после чего наблюдается довольно резкий перегиб до крутизны 30–35°. Ниже наблюдается еще один перегиб и склоны снова становятся более пологими (<15–20°). Высота средней крутой части склонов составляет около 25–30 м.

Верхняя пологая часть склона характеризуется тем, что реголит на ее поверхности становится вниз по склону более грубым, а на перегибе к крутой средней части располагается россыпь крупных камней, почти непрерывно окаймляющая борозду. Первичные формы камней близки к прямоугольным призмам и несут следы длительной экспозиции на поверхности (рис. 4). Очевидно, за счет процессов частичного удаления материала в борозду на этой части склона как бы прослеживается вертикальный разрез реголита, а каменные развалы на перегибе трассируют границу реголита со скальным основанием. Для этой части склона характерно, что плотность малых (10–50 см) кратерных форм ниже равновесной.

Средняя крутая часть склона начинается с каменной россыпи и на всем протяжении завалена глыбами скальных пород размером от 1 до 5 м. Вероятно, это частично смещенный книзу выход пород скального основания. Отчетливых признаков слоистости в разрезе пород скального основания не обнаружено.

Нижняя часть склона, судя по полученным изображениям, сложена с поверхности более мелкозернистым материалом, несет на себе относительно небольшое количество крупных каменных глыб и, вероятно, представляет собой подсклоновый шлейф.

3. Холмисто-западинная местность. Здесь обнаружено увеличение средней мощности реголита до 5 м и более, что нашло отражение в мягкости очертаний большинства встреченных кратерных форм и в более низкой, чем на море, средней плотности камней на поверхности.

Анализ телевизионных изображений показывает, что на горизонтальных и пологосклонных участках плотность кратеров диаметром более 1 м близка к значениям, характерным для морской равнины. На склонах депрессий крутизной 15–17° плотность кратеров диаметром 1–2 м примерно в 3 раза ниже равновесной, что, вероятно, связано с уменьшением средней продолжительности существования кратеров на склонах. Это в

свою очередь подтверждает наличие горизонтального перемещения вещества по лунной поверхности, что находит свое отражение и в химических анализах ⁽⁸⁾.

На склоне одной из депрессий были получены стереоскопические изображения террасовидных образований, расположенных около кратера класса В диаметром более 20 м. Их морфология с достаточной степенью уверенности позволяет считать, что это оползни (рис. 3). Террасы достигают 10—15 м в длину, нескольких метров в ширину, они опущены одна относительно другой и ненарушенной поверхности по 0,3—0,5 м каждая. Уступы террас выражены очень четко, что свидетельствует об их молодом возрасте.

Таким образом, из результатов геолого-морфологического анализа видеoinформации, полученной с помощью «Лунохода-2», следует, что в изученной части равнины днища Лемонье при приближении к береговой линии на расстояние порядка нескольких сотен метров микрорельеф поверхности сохраняет типичный морской характер, а вещество испытывает горизонтальную миграцию. На склонах Борозды Прямой обнаружены следы фракционирования обломочного материала по размерам — более быстрый снос в Борозду мелкозернистого материала и относительное накопление в верхней части склонов более грубых обломков в результате этого. Микрорельеф холмисто-западинной местности обладает рядом особенностей, связанных с более высокой, чем на морской равнине, ролью склоновых процессов.

Авторы считают своим долгом выразить глубокую признательность всем товарищам, принимавшим участие в обеспечении успешной работы «Лунохода-2», благодаря усилиям которых стало возможным провести большой комплекс научных экспериментов и, в частности, выполнить настоящее исследование.

Авторы пользуются случаем выразить благодарность Г. Е. Кочарову и С. В. Викторову за предоставление данных эксперимента по определению химического состава и их обсуждение в процессе подготовки настоящей публикации.

Институт космических исследований
Академии наук СССР
Москва

Поступило
18 VII 1973

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ К. П. Флоренский, А. А. Гурштейн и др., ДАН, 196, № 6, 1294 (1971).
² K. P. Florensky et al., Report Presented at 14-th COSPAR Session, Space Research, 14, 1972. ³ D. E. Wilhelms, J. F. McCauley, Geologic Map of the Nearsides of the Moon, Geological Atlas of the Moon, Washington, 1971, p. 1—703. ⁴ N. Trask, Ranger VIII and IX. Part II, Experiment. Analyses and Interpretations, NASA TR-32-800, Pasadena, California, 1966. ⁵ E. M. Shoemaker, Origin of Fragmental Debris on the Lunar Surface, Trans. Instituto de investigaciones geologicas Barcelona, 25, 1971.
⁶ К. П. Флоренский и др., В кн. Передвижная лаборатория на Луне «Луноход-1», «Наука», 1971. ⁷ K. P. Florensky et al., Report Presented at 15-th COSPAR Session, Space Research, 15, 1973. ⁸ Г. Е. Кочаров, С. В. Викторов, ДАН, 214, № 1 (1974).