

Г. Е. КОЧАРОВ, С. В. ВИКТОРОВ

**ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЛУННОЙ ПОВЕРХНОСТИ
В РАЙОНЕ РАБОТЫ «ЛУНОХОДА-2»**

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

Настоящая статья посвящена анализу экспериментальных результатов, полученных с помощью модернизированного рентгеновского флуоресцентного спектрометра РИФМА-М, установленного на «Луноходе-2». При создании модернизированного варианта спектрометра был учтен опыт работы аппаратуры на «Луноходе-1» (¹⁻³) и специфика научных задач «Лунохода-2».

Таблица 1

Сравнение составов некоторых лунных и земных пород (вес.%)

Элемент	Анортозит, «Луна-20» (¹)	Земной анортозит (²)	Реголит, «Луна-20» (³)	Реголит, «Луна-16» (⁴)	Отношение содержания элементов в ре- голите «Лу- ны-16» к их содержанию в реголите «Луны-20»
Магний	8,2	0,75	5,9	5,3	0,90
Алюминий	10,1	15,0	11,4	8,10	0,71
Кремний	20,6	23,5	21,4	19,6	0,91
Калий	0,39	0,61	0,08	0,08	1,00
Кальций	9,5	8,9	10,6	8,9	0,84
Железо	5,37	1,61	5,46	13,0	2,38

Как видно из табл. 1, содержащей данные о составе поверхности Луны, в морском («Луна-16») и материковом («Луна-20») районах материка характеризуются более высоким содержанием алюминия и кальция и существенно меньшей концентрацией железа. Особый интерес вызывает обнаружение в материковых образцах вещества, сходного с земными анортозитами, характерной особенностью которого является исключительно малое содержание железа. Однако ни механизм образования как лунных, так и земных анортозитов, ни масштаб их распространенности на Луне остаются неизвестными. В связи с тем, что «Луноходу-2» предстояло исследовать переходную зону море — материк, необходимо было учесть возможность встречи и поверхностей анортозитового типа. Для выявления масштабов переходной зоны требовалось найти аналитический признак, достаточно четко характеризующий два существенно различных типа поверхности: морской и материковый.

Рассмотрение имеющихся данных по элементному составу лунной поверхности показывает, что наиболее четким признаком является содержание железа, составляющее 3—5% в материковых районах, в то время как в морях содержится 12—15% железа. Если сравнить результаты анализа

реголита, доставленного станциями «Луна-16» и «Луна-20» (считая, что они представляют достаточно типичные морские и материковые поверхности), то окажется, что концентрация магния и кремния отличается в 1,1, алюминия — в 1,4, кальция — в 1,2, в то время как содержание железа — в 2,4 раза.

Существенную информацию несут также и отношения содержаний ряда элементов к железу. В образцах реголита «Луны-16» и «Луны-20» (⁴) наибольший диапазон изменения отношений наблюдается у пар, в которые входит железо.

Концентрация железа и была принята в качестве главного аналитического параметра, позволяющего уверенно отличить морскую поверхность от материковой и проследить переход от одного типа поверхности к другому в зоне контакта море — материк. В связи с этим при модернизации спектрометра «РИФМА» (^{1,2}) особое внимание было уделено вопросам определения концентрации железа. Для улучшения эффективности возбуждения железа тритий-титановые источники были заменены на тритий-циркониевые.

После посадки и начала движения спектрометром «РИФМА-М» исследовалась поверхность в разных точках маршрута «Лунохода-2». Первые измерения проведены на небольшом удалении от посадочной платформы на валу кратера диаметром 40 м (точка *P-1* на карте-схеме, приведенной в (⁶)). Состав грунта здесь оказался следующим: кремний $24 \pm 4\%$; кальций $8 \pm 1\%$; железо $6,0 \pm 0,6\%$; алюминий $9 \pm 1\%$. (Напомним, что измерения «Лунохода-1» в Море Дождей дали 10—12% железа (1-3).) При движении «Лунохода-2» на юг исследованию подвергся кратер диаметром 13 м, удаленный от места посадки примерно на 1,5 км. Грунт в этом районе (точка *P-2*) оказался схожим по составу с первым исследованным участком и напоминает глиноземистые базальты. Таким образом, судя по химическому составу поверхности, породы в районе посадки станции не могут быть отнесены к морским.

По мере продвижения «Лунохода-2» к холмам, расположенным в южном направлении, содержание железа стало падать и составило при удалении от места посадки на 4,5 км (точка *P-3*) $4,9 \pm 0,4\%$. В сеансе, проведенном в точке наибольшего продвижения в сторону материка, зарегистрировано самое низкое содержание железа $4,0 \pm 0,4\%$, причем одновременно содержание алюминия возросло до $11,5 \pm 1,0\%$ (точка *P-4*). Это определение химического состава проводилось вблизи кратера диаметром 2 км. К этому времени «Луноход-2» прошел уже около 10 км и находился в пределах холмистой приподнятой равнины, расположенной к юго-западу от кратера Лемонье (уже вне собственно кратера). Согласно (⁶), по типу рельефа эта местность переходная от Моря Ясности к материковому массиву гор Тавр. Следует отметить, что по сравнению с измерением в районе посадки отношение концентраций кремния к железу на участке наибольшего продвижения в глубь материковой зоны возросло в 1,5 раза, а отношение алюминия к железу возросло приблизительно в 2 раза. Такой состав напоминает земные горные породы типа анортозитовых габбро или габброидных анортозитов, по-видимому, широко распространенных на лунных материках.

При дальнейшем движении «Луноход-2» покинул зону холмов и возвратился на поверхность кратера Лемонье. Проведенные здесь измерения дали состав грунта, сходный с составом поверхности в месте посадки (точки *P-5, 6*).

При дальнейшем движении «Луноход-2» исследовал Борозду Прямую, находящуюся к юго-востоку от места посадки. С помощью спектрометра «РИФМА-М» выполнено определение химического состава поверхности в этом районе. Результаты анализов, произведенных на западном и восточном склонах этого образования (точки *P-7,8*), в пределах точности эксперимента совпадают. Содержание кальция составляет около 8%, содер-

жание железа на западном склоне $7,5 \pm 0,9\%$, на восточном $8,0 \pm 1,0\%$. Это несколько превышает концентрацию железа в равнинной части исследованного района и, по-видимому, связано с морфологическими особенностями данного участка поверхности.

По составу поверхности в исследованной «Луноходом-2» части кратера Лемонье могут быть выделены три района.

1) Результаты анализов, выполненных в равнинной части дна кратера Лемонье, дают основание считать, что породы в районе посадки и всей южной зоне кратера, по-видимому, не являются типично морскими. Измеренное содержание железа оказалось около 6%, что существенно ниже типичных для морских районов значений (10—12%). Между тем по рельефу и морфологическим характеристикам этот район весьма схож с морскими (6).

2) Второй район (в юго-западной части маршрута) значительно отличается от первого. По светлому тону поверхности, обилию холмистых гряд, по общему поднятию поверхности, малому количеству камней, его можно считать разновидностью материковой поверхности. Исследования химического состава поверхности в северной части этого лунного образования показали, что по крайней мере самый верхний слой реголита здесь состоит из породы с весьма малым (около 4%) содержанием железа и повышенной по сравнению с морскими базальтами концентрацией алюминия.

3) Третий район — поверхность в зоне тектонического разлома (Борозда Прямая), общая протяженность которого 16 км, а ширина местами до нескольких сотен метров. Борозда Прямая характерна тем, что ее склоны покрыты каменными россыпями; выделяются крупные (метровые) камни, являющиеся, по-видимому, обнажением подповерхностных слоев. При движении «Лунохода-2» к борозде зона крупных камней началась внезапно, без плавного перехода. Движение сразу усложнилось, но все же удалось продвинуться к краю разлома и произвести анализ состава поверхности. Интерес представляет явное повышение содержания железа на склонах разлома.

Таким образом, в результате проведенных исследований получены данные, свидетельствующие об обнаружении постепенных изменений химического состава в переходной зоне море — материк при движении «Лунохода-2» по поверхности кратера Лемонье к матерiku, при нахождении самоходного аппарата в материковом районе и при дальнейшем движении по дну кратера в восточном направлении; поверхность в переходной зоне обладает промежуточными свойствами.

Для объяснения обнаруженных свойств поверхности могут быть привлечены 3 различных механизма: во-первых, кристаллизация пород промежуточного состава; во-вторых, горизонтальный перенос вещества на лунной поверхности; в-третьих, вертикальное перемешивание в рамках двухслойной модели. Результаты анализов и предпринятое в работе (6) изучение геоморфологической обстановки в районе работы «Лунохода-2» в совокупности позволяют считать, что в настоящее время есть основания отдать предпочтение механизму горизонтального переноса вещества на лунной поверхности.

Результаты наших исследований и материалы рентгено-флуоресцентных экспериментов на космических кораблях «Аполлон-15, 16»^(7,8) дают возможность судить об эффективности этого механизма, однако этот вопрос лежит вне рамок настоящей статьи.

В заключение авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность акад. А. П. Виноградову и акад. В. М. Тучкевичу за большое внимание, проявленное при подготовке и проведении эксперимента, и за обсуждение его результатов. Авторы благодарят К. П. Флоренского, А. Т. Базилевского и А. А. Гурштейна за предоставление в период подготовки настоящей публикации материалов геолого-морфологических ис-

следований и полезные обсуждения результатов настоящей работы, а также многочисленных лиц и организации, способствовавшие проведению эксперимента.

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе
Академии наук СССР
Ленинград

Поступило
2 VIII 1973

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Г. Е. Кочаров, С. В. Викторов и др., Сборн. Передвижная лаборатория на Луне «Луноход-1», ч. 1, «Наука», 1971, стр. 89. ² G. E. Kocharov, S. V. Victorov et al., Space Research, 12, Berlin, 1972, p. 13. ³ G. E. Kocharov, S. V. Victorov, Space Research, 13, Berlin, 1973. ⁴ А. П. Виноградов, Природа, № 8, 2 (1972). ⁵ А. Н. Заварицкий, Пересчет химических анализов изверженных горных пород, 1960. ⁶ К. П. Флоренский, А. Т. Базилевский и др., ДАН, 214, № 1 (1974). ⁷ I. Adler et al., GSFC Preprint X-641-72-57. ⁸ I. Adler et al., Apollo 16 Preliminary Science Report, 1973.