

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ КОНГРЕСС. XXIII СЕССИЯ. 1968
ДОКЛАДЫ СОВЕТСКИХ ГЕОЛОГОВ

К.П.ФЛОРЕНСКИЙ

**О СТРОЕНИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ЛУНЫ
ПО НОВЫМ ДАННЫМ**

(Институт геохимии и аналитической химии им. В.И.Вернадского АН СССР, Москва)

Ранние стадии формирования земной коры, которые во многом предопределили ее дальнейшее развитие, недоступны для непосредственного изучения геолога. Возможные следы их можно надеяться встретить при бурении сверхглубоких скважин, которое является ближайшей, но пока технически не решенной задачей.

В настоящее время в связи с успешным развитием космических исследований многие неясные вопросы эволюции Земли могут быть освещены со стороны сравнительной планетологии, которая позволяет изучать разные фазы развития планет с учетом их индивидуальных особенностей. Геологическое изучение Луны должно явиться пробным камнем для многих гипотетических представлений о первоначальном формировании земной коры.

Несмотря на многолетние наблюдения Луны, которые проводились с Земли методами наблюдательной астрономии и радиоастрономическими методами, строение ее поверхности оставалось спорным. Обобщение громадного фактического материала, собранного астрономами и астрофизиками, упиралось в отсутствие прямых методов, позволяющих проверить многочисленные гипотетические представления, высказанные разными авторами.

Изучение Луны космическими средствами исследования началось в СССР в 1959 г. с фотографирования обратной стороны Луны; об этом мечтал еще В.Гершель (1738–1822 гг.). Принципиально новый этап изучения Луны начался с 1966 г., когда произвела мягкую посадку на поверхность Луны и передала изображение первых панорам лунной поверхности Советская автоматическая станция «Луна-9», а станция «Луна-13» произвела первое прямое определение физических свойств лунного грунта. Пять советских автоматических станций («Луна-9» – «Луна-13»), запущенных в 1966 г., существенно сузили круг предположений и догадок о возможном составе и свойствах поверхности Луны и в сочетании с

изображениями, полученными американскими станциями серий «Рейнджер», «Сервейор» и «Орбитер» представляют богатый материал для геологической интерпретации.

Попытаемся систематизировать некоторые из новых наблюдений. Наиболее явной чертой лунного рельефа является широкое развитие кольцевых форм при слабом развитии линейных по сравнению с Землей. На последней линейные формы развиваются преимущественно вследствие пластически-жидкого течения вещества, отсутствующего на Луне. Действительно, линейные формы развиваются вследствие трех разномасштабных проявлений пластичности верхних оболочек Земли, способствующих проявлению тангенциальных сил: 1) линейные формы поверхностного рельефа (долины речного происхождения) вследствие текучести воды вдоль поверхности; 2) линейные формы, связанные со складкообразованием стратисферы — пластичной оболочки осадочных пород (горные хребты, системы складок); 3) линейные формы вдоль крупных разломов, появляющиеся вследствие относительной подвижности блоков земной коры на вязком основании мантии (геосинклинальные прогибы, краевые хребты и т. д.).

На Луне, не имеющей развития сплошных пластических и жидких оболочек, возможность тангенциального перемещения вещества резко ограничена и трещиноватость приобретает более мелкий характер при чисто вертикальных перемещениях структурных блоков и редкости сдвиговых перемещений. Может быть, можно видеть некоторое зачаточное складкообразование (типа сундучных складок или флексур) в многочисленных тонких валлообразных структурах, открывающихся на крупномасштабных снимках поверхности лунных морей, но такое толкование пока неоднозначно. В то же время центральная симметрия кольцевых структур является простейшей формой разрядки вертикальных напряжений как эндогенного, так и экзогенного происхождения на изотропной поверхности планеты.

Многочисленные попытки свести все многообразие разномасштабных кольцевых структур к одному происхождению — вулканогенному или метеоритному — не представляются убедительными. Детальный морфологический анализ дает возможность привести достаточно четкие примеры как многоэтапного развития вулканогенных структур с явными следами излияний лавы и приуроченностью их к крупным тектоническим единицам (Хабаров, 1949), так и беспорядочного расположения кратеров-лунок, носящих все следы метеоритного происхождения (Станюкович, Бронштэн, 1960).

По-видимому, среди мелких кратеров-лунок следует принять и наличие третьего типа образований — связанного с явлением проседания грунта на месте полусыпанных зияющих трещин или пустот иного характера.

Однако следует признать, что в большинстве случаев происхождение того или иного кратера невозможно выяснить на основании только его внешнего вида, особенно без учета соотношений с окружающими формами рельефа. Это становится очевидным, если вспомнить многочисленные геологические споры о генезисе кратерообразных форм при непосредственном их изучении на Земле.

Единая статистическая закономерность зависимости числа кратеров от их размеров (Shoemaker, 1966; Collins, Smith, 1966), которая сейчас может быть прослежена до мельчайших лунок диаметром около 10 см («Луна-9» и «13», «Сервейор»), еще ничего не говорит о генетическом единстве их многообразия. Скорее это является следствием общего термодинамического правила, по которому чем выше концентрация энергии, тем реже она встречается в любом разномасштабном процессе. Основное внимание исследователей сейчас должно быть обращено на незначительные отклонения общей закономерности, которые, возможно, позволят выделить различные генетические типы, подобно тому как статистически удастся выделить влияние вторичных кратеров (Collins, Smith, 1966), под которыми подразумевают кратеры, возникшие при ударе выброшенных с поверхности Луны осколков пород.

Еще А.В.Хабаров (1949) подчеркивал необходимость исторического подхода к морфологии Луны. Кратеры-лунки диаметром 50–250 м, видимые на снимках «Луны-12», по четкости контуров можно поставить в ряд с выделением групп А, В, С, и промежуточных между ними. В пределах каждой группы выделяются различные морфологические группы по виду внутрикратерной тени, которые определяют две основные формы — конуса и чаши. На серии подобных кратеров можно отчетливо проследить, как расплываются внутренние и внешние контуры этих лунок и исчезает конусообразность в более расплывшихся из них. Вряд ли можно сомневаться, что это свидетельствует о одновременности образования лунок и длительном процессе деструкции, который выравнивает старые формы и образует новые.

Колебания в частоте кратеров на разных участках морской поверхности достигают 4–5 раз.

Говоря о процессах деструкции, среди которых основное место принадлежит ударам метеоритов и микрометеоритов, нельзя не сказать о том, что в ряде случаев виден эродированный характер поверхности Луны. На панорамах «Луны-9» можно видеть следы отрицательного баланса вещества в этом районе.

Теория метеоритных взрывов (Станюкович, Бронштэн, 1963) говорит, что при метеоритном ударе о поверхность Луны часть вещества, имеющая массу больше, чем ударившее метеоритное тело, выбрасывается вертикально вверх со скоростью, превышающей параболическую. Таким образом, общий эффект метеоритных падений

должен приводить не к приращению массы Луны и накоплению материала, а к некоторой общей потере массы (отрицательному балансу вещества) Луны с образованием стационарной мощности разрушенного слоя и его постоянному обновлению.

Определение плотности пылевого облака Луны, приблизительно на два порядка превышающее плотность межпланетного облака (Назарова и др. 1966), подтверждает вывод, полученный при изучении лунных панорам, и заставляет считать общий отрицательный баланс вещества Луны в целом наиболее вероятным результатом метеоритной бомбардировки.

Этот факт влечет за собой важное космогоническое следствие: на определенном этапе рост планеты за счет аккреции твердого межпланетного вещества зависит от критической скорости образования ее, при которой образующаяся первоначальная атмосфера не должна успевать диссипировать, обеспечивая торможение вылетающих частиц при ударе. Таким образом, атмосфера (и зачатки гидросферы) должны образовываться и расти вместе с ростом планеты, а не возникать впоследствии, только в результате радиоактивного разогрева планеты.

Вторым следствием взрывного действия метеоритных ударов должны явиться дегазация и оседание части испарившегося материала силикатов в виде конденсаторов, имеющих более простой состав по сравнению с исходным материалом и обладающих свободной химической энергией, в результате которой возможны новообразования силикатов из простых соединений, цементирующие грунт планеты, кинетическая энергия ударов погребается в виде химической энергии во время роста планеты, а ранняя гидросфера способна вызвать дополнительную дифференциацию вещества. Этот процесс не останавливается присутствием атмосферы, так как последняя только меняет место испарения вещества метеоритов (Флоренский, 1965).

Процесс цементации раздробленного поверхностного слоя однозначно виден на панорамах «Луны-9», показавших отсутствие бесструктурного пылевого слоя на поверхности Луны и достаточную связанность грунта. Особый интерес вызывают тонкие прожилки плотной породы, заметные на вскрытом борте кратера на глубине порядка 50–60 см от поверхности. Они не отражают диагональной слоистости выброшенного из разных мест материала, так как пересекаются под углом до 70° и несомненно являются трещинами заполнения с поступлением достаточно подвижного материала из глубин в виде расплава, раствора или эманации. Другим доказательством существования эндогенных проявлений следует считать линейное расположение плотных кусков породы, выходящих на поверхность и более всего похожих на гребень разрушенных даек, которые встречаются наряду с беспорядочным разбросом камней.

Гранулометрическое сложение грунта особенно четко проявляется на панорамах «Луны-13», где заметно изменение структуры его на поверхности под механическим воздействием башмака γ -плотногомера. В результате видно, что зернистость грунта составляется двумя структурными элементами: зернами и камнями твердых горных пород и комковидными агрегатами слабосвязанной мелкозернистой, возможно пылевой, фракции. Общее распределение камней по размеру показывает полное отсутствие грануляционной фракционировки материала, характерное для процесса дробления с сохранением всего раздробленного материала. Отсутствие сортировки существенно отличает лунный грунт от большинства распространенных земных горных пород, обычно имеющих следы фракционирования зерен по размерам; может быть по характеру зернистости следует искать аналогию с некоторыми моренами, в которых валуны не прошли стадию окатывания.

Общее количество камней размером от 2 до 20 см, на панорамах «Луны-9» и «Луны-13» колеблется в пределах 10–15 на m^{-1} , так что общий характер поверхности можно охарактеризовать как щебенистую россыпь.

Плотность верхнего слоя грунта по γ -плотномеру оказывается близкой к единице, что хорошо совпадает с данными, полученными по изучению собственного радиоизлучения Луны (Кротиков, Троицкий, 1963). Из земных пород это очень близко к плотности некоторых вулканических пеплов Камчатки в их естественном залегании. В качестве примера можно напомнить, что плотность 1,12 соответствует сухому грунту с истинным удельным весом частиц 2,8, имеющим 60% пористости, а пористость кристаллических мелкозернистых веществ в состоянии порошка колеблется от 46,5 (SiO_2) до 81,3 ($CaCO_3$) и даже 94,0% (MgO).

Вряд ли вызывает сомнение, что верхний пористый покров Луны представляет собой кратерные выбросы мелкодробленной подстилающей породы и по своим характеристикам должен напоминать слабые разности обломочных пород или, скорее, вулканических туфов. Лишь самый верхний, наиболее рыхлый и корродированный слой этой породы определяет оптические характеристики лунной поверхности. Его микроскульптура образуется кусочками и агрегатами, имеющими размер в несколько сантиметров; это можно установить по тому, что округлость лунок теряется при размерах около 5–6 см, а лунки менее 3 см диаметром нигде не удастся рассмотреть среди неровностей грунта.

Изменение прочности по форме бортов лунок отмечается на глубине 2–3 см в районе посадки «Луны-9» и на глубине 5–10 см в районе «Луны-13», что отвечает мощности верхнего, наиболее переработанного слоя.

Одним из наиболее интересных результатов советских исследований является определение естественной γ -радиоактивности поверхности Луны, произведенное со спутников Луны с целью выяснения характера слагающих пород (Виноградов и др., 1966).

Исследования показали, что в то время как содержание радиоактивных элементов в породах морского типа отвечает земным базальтам и другим основным породам, радиоактивность пород материкового типа существенно ниже, находится на грани точности измерений и соответствует активности ультраосновных пород или метеоритов. Ровную поверхность лунных морей многие исследователи и ранее рассматривали как результат излияния жидких основных лав базальтового типа. Таким образом, внесено новое и веское доказательство правильности такой точки зрения, в общем не вызывающее особых разногласий.

Светлое вещество материков большинство исследователей связывало с легкими кислыми породами по аналогии с Землей, где материки сложены породами гранитного типа и имеется четко выраженная кора планеты. Дополнительным аргументом является вязкость кислых расплавов, которая способствует образованию взрывных кратеров вулканического происхождения — мааров. Для такой аргументации нет достаточных оснований. Основным хромофорным элементом, содержание которого определяет светлоту (альбедо) и цвет большинства горных пород, является железо. Кремний сам по себе не является хромофором.

Базальтовая лава наиболее темная и наиболее жидкая по отношению как к кислым, так и ультраосновным породам и метеоритам, что позволяет видеть в материках Луны участки, не захваченные дифференциацией первоначального вещества протопланеты. Это непривычно для Земли, но вероятно для общего хода дифференциации вещества планет путем зонного плавления (Виноградов, 1968), если допустить неполное проплавление Луны в прошлом.

Приводим некоторые свойства этих пород:

	Альбедо	Вязкость расплава
Гранит	0,24 (0,04–07)	10^9 – 10^6 при 1200°C
Метеориты каменные	0,18 (0,04–04)	10^4 – 10^5 при 1400°C
Дунит, перидотит	0,10 (0,06–0,16)	t° плавления 1200 – 1800°C
Базальтовая лава	0,06	$9 \cdot 10^2$ при 1200°C

Гранитная оболочка в условиях Земли образуется как результат наиболее далеко зашедшей дифференциации вещества при участии гидросферы. Процессы такого рода

возможны на ранних стадиях формирования планет (Флоренский, 1965), но характер распределения радиоактивных элементов свидетельствует против их влияния на Луне.

Начальные фазы дифференциации Луны и ультраосновной состав ее материков находятся в полном согласии со сравнительно небольшим объемом выплавленных базальтовых масс, занимающих около 1/6 всей поверхности Луны. Неодновременность образования морей, лежащих на разных уровнях поверхности, систем разломов и вулкано-тектонических структур и ряд других факторов говорит о длительности геологических процессов на Луне, являющихся результатом эндогенных сил.

Изучение мелких деталей (кратеров-лунок, поверхности грунта и т. д.) приводит к признанию постоянно действующих экзогенных факторов. Современный облик определяется взаимодействием ряда процессов и указывает на достаточную сложность геологической истории Луны.

ЛИТЕРАТУРА

- Виноградов А.П.* Происхождение оболочек Земли. — Изв. АН СССР, серия геол., 1962, №11.
- Виноградов А.П., Сурков Ю.А., Чернов Г.М., Кирнозов Ф.Ф., Назаркина Г.В.* Измерение гамма-излучения лунной поверхности на космической станции «Луна 10». — *Геохимия*, 1966, №8.
- Кротиков В.Д., Троицкий В.С.* Радиоизлучение и природа Луны. — *Успехи физ. наук*, 1963, 81, вып. 4.
- Назарова Т.Н., Рыбаков А.К., Комиссаров Г.* Предварительные результаты исследования твердого межпланетного вещества в окрестностях Луны. — *Косм. исслед.*, 1966, 4, вып. 6.
- Станюкович К.П., Бронштэн В.А.* Роль внешних космических факторов в эволюции Луны. Сб. «Луна». Под ред. А.В.Маркова. М., Изд-во АН СССР, 1960.
- Станюкович К.П., Бронштэн В.А.* Образование лунных кратеров и светлых лучей в результате метеоритных ударов. В сб. «Новое о Луне». Под ред. А.А.Михайлова. Доклады и сообщения на международном симпозиуме по исслед. Луны. М., Изд-во АН СССР, 1963.
- Флоренский К.П.* О начальном этапе дифференциации вещества Земли. — *Геохимия*, 1965, №8.
- Хабаров А.В.* Об основных вопросах истории развития Луны. — *Записки всег. геог. об-ва*, 1949, №6.

Collins R.J., Smith B.G. Crater statistics and erosion. — The physics of the Moon. — J. Amer. Astron. Soc., 1966, N 3.

Shoemaker E.M. Progress in the analysis of the fine structure and geology of the lunar surface from the Ranger 8 and 9 photographs. Ranger 8 and 9 report, part 2. JPL Techn. Rept 32–800, California Inst. Technol. Pasadena, 1966.

K.P.FLORENSKY

ON THE STRUCTURE OF SURFACE LAYERS OF THE MOON
ACCORDING TO NEW DATA

Abstract

Despite observation of the Moon from the Earth having been carried out many years by means of telescopes the structure of its surface remained debatable.

Only automatic lunar stations having realized a soft landing on the Moon allowed to consider this problem from a principally new point of view. The Soviet automatic station Luna-9 which transmitted the first panoramas of the lunar surface and the following landing devices in combination with already known data permit to speak with sufficient certainty of the lunar surface structure, having a marine type of relief to a depth of several meters and to state hypotheses about its formation conditions.

The properties and the origin of three layers which compose the lunar surface according to data of Soviet and foreign investigations are discussed in the article. The relative role of both endogenous and exogenous processes is estimated.