

# ВУЛКАНИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ НА ЛУНЕ

Н.А. КОЗЫРЕВ

Изучение морфологии поверхности Луны убедительно показывает, что рельеф Луны возникал постепенно в результате неоднократных поднятий и опусканий ее коры. Действительно, наклоненные и «полузатопленные» кратеры, находящиеся на границах морей, показывают, что в этих местах происходили опускания участков коры с образованием трещин и последующим излиянием расплавленных масс. Знаменитая долина в Лунных Альпах шириной около 10–15 км и длиной свыше 100 км с подобными друг другу отвесными краями дает пример поднятия лунной коры, сопровождавшегося значительным растяжением. С такими тектоническими процессами, несомненно, должна была быть связана и вулканическая деятельность.

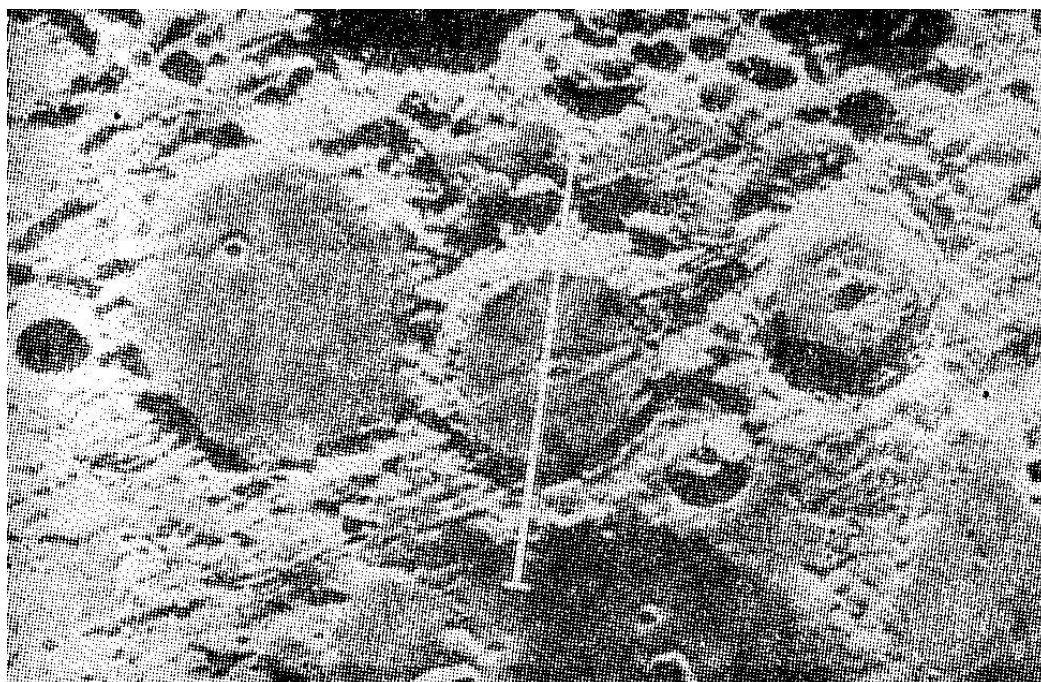
Представим себе выход расплавленных масс из недр Луны на поверхность. При отсутствии атмосферы адсорбированные в расплавах газы должны бурно выходить из них, создавая пенистые структуры. В результате породы внешних слоев Луны должны стать чрезвычайно пористыми, с ничтожным значением коэффициента температуропроводности. Вероятно, этим и объясняется, что коэффициент температуропроводности внешних слоев Луны раз в сто или тысячу меньше, чем во внешних слоях Земли. Если выходы расплавленных масс, т.е. магмы, происходили в отдельных участках лунной поверхности в разные эпохи, то выделявшиеся при этом газы не могли создать у Луны заметной атмосферы. Действительно, постоянная бомбардировка поверхности Луны солнечными корпускулами, жесткой радиацией Солнца и микрометеоритами должна сообщать частицам атмосферы скорости, превышающие параболическую (около 2,4 км/с), т.е. сдувать ее и не давать ей накапливаться. Другое дело, если планета уже имеет обширную атмосферу. Тогда проникновение частиц будет подобно глубинному взрыву, сообщаемому энергию большим массам, благодаря чему отдельные частицы газа получают малые скорости, которые не могут повести к диссипации планетной атмосферы. Поэтому если у Луны сразу не было достаточной атмосферы, то она не могла накопить ее постепенно.

Причина тектонических процессов и внутренней энергии космических тел до сих пор не известна. Во всяком случае, ясно, что большое тело при равных коэффициентах теплопроводности имеет больше возможности сохранять и накапливать внутреннюю энергию, чем тело малых размеров. Казалось бы, что эти соображения говорят против возможности сохранения Луной способности к тектоническим процессам до настоящего времени. Однако если мы примем во внимание чрезвычайно малую температуропроводность поверхностных слоев Луны, то придем к заключению, что она может лучше накапливать и сохранять внутреннюю энергию, чем наша Земля. Поэтому горообразовательные процессы могут и теперь идти на Луне, и даже более интенсивно, чем на Земле. Получается интересный и несколько парадоксальный вывод: отсутствие атмосферы, вызвавшее пенистую структуру поверхности, резко уменьшая теплоотдачу, способствует накоплению внутренней энергии и развитию горообразовательных процессов.

Топография Луны изучалась весьма тщательно в течение двух столетий. Несмотря на это, до самого последнего времени не удавалось привести ни одного достоверного примера изменений в лунном рельефе. Этот результат не находится в противоречии с заключением о возможности и в настоящее время интенсивной тектонической деятельности на Луне. Действительно, если отвлечься от процессов, связанных с деятельностью воды, воздуха и жизни на Земле, то и с Луны было бы очень трудно установить достоверно наличие горообразовательных процессов на Земле.

Однако с давних пор многие наблюдатели указывали на возможность изменений некоторых кратеров на Луне. Среди наблюдений этого рода особенно интересны указания на появление дымки, вуалирующей детали дна кратеров. К сожалению, эти наблюдения

были визуальными и недостаточно убедительными, ибо видимость деталей на Луне очень зависит от условий освещения их Солнцем, а кроме того, может быть связана с качеством изображений, т.е. с состоянием земной атмосферы.

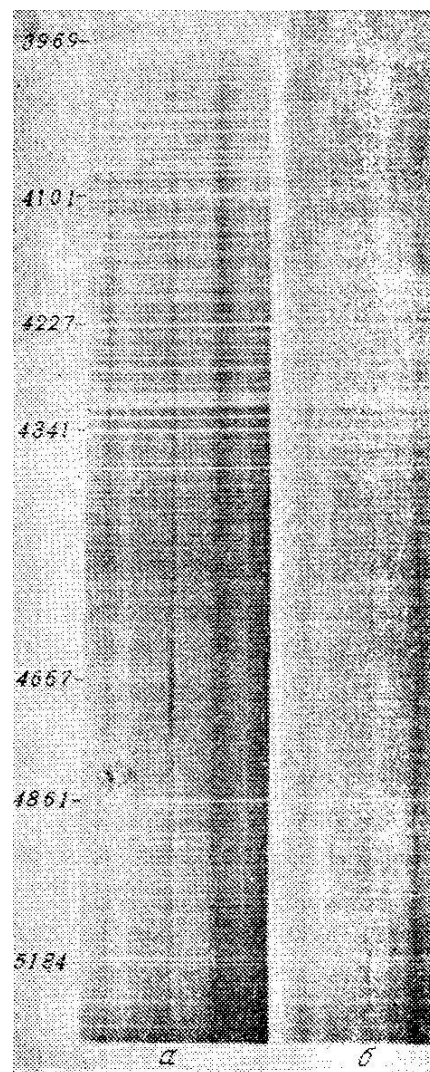


#### Вулканическая деятельность на Луне.

Вверху – участок Луны, в центре – кратер Альфонс. Проходящая через изображение центрального пика белая черта показывает относительное положение щели спектрографа. Справа - спектрограммы кратера Альфонс, снятые: *a* – 3 ноября 1958 г. с 6 ч 00 мин до 6 ч 30 мин; *b* – 3 ноября 1958 г. с 6 ч 30 мин до 6 ч 40 мин (время московское).

Впервые серьезное и объективное обоснование возможности появления дымки, вуалирующей детали лунной поверхности, получил астроном Динсмор Олтер в октябре 1956 г. на 60-дюймовом рефлекторе Обсерватории Маунт Вильсон в Калифорнии. Он получил серию снимков кратеров Птоломей, Альфонс и Арзахель в голубых и инфракрасных лучах. Из-за рассеяния света земной атмосферой все снимки в голубых лучах получились значительно менее контрастными, чем в инфракрасных. Но детали дна кратера Альфонс оказались особенно замытыми. Рассмотрение опубликованных Д. Олтером фотографий убедило меня в том, что этот эффект заслуживает серьезного внимания и что на дне кратера Альфонс может происходить истечение газов.

Группа из трех перечисленных кратеров, средним из которых является Альфонс (рисунокверху), расположена по меридиану и находится почти в центре лунного диска. Группа этих кратеров древнего происхождения, но этот участок лунной поверхности интересен тем, что здесь проходит ряд меридиональных разломов, появившихся уже после формирования кратеров. Интересен разлом, идущий по диаметру кратера Альфонс, а также трещины и темные пятна на дне этого кратера. Кратер



Альфонс имеет диаметр около 120 км. Поднимающийся весьма круто, его центральный пик достигает высоты около 1400 м над уровнем дна кратера. Расположенный же к северу от Альфонса кратер Птолемей является типичным большим цирком, в котором нет центрального пика. Строение дна и вала кратеров данной группы подтверждает высокую тектоническую активность этого участка лунной поверхности.

Рассмотрим теперь вопрос, каким образом может получиться эффект замывания деталей при выделении газов. Разумеется, подобный эффект замывания не может быть создан рассеянием света в выделяющихся газах. Для этого необходим столб газа порядка земной атмосферы, т.е. порядка  $10^{25}$  молекул над квадратным сантиметром поверхности. Но если газы могут флюоресцировать под действием жесткой солнечной радиации, то для создания вуали будет достаточен столб газа, способный поглотить всю жесткую радиацию Солнца. Коэффициент поглощения жесткого, т.е. корпускулярного, рентгеновского и крайнего ультрафиолетового излучения должен быть очень большим. Поэтому можно думать, что столб газа порядка  $10^{15}$  молекул, т.е. около  $10^{-10}$  земной атмосферы, уже создает заметную флюоресценцию. Возникновение же такой локальной атмосферы при истечении газов из кратеров Луны представляется вполне возможным. Остается только вопрос – достаточна ли интенсивность жесткой радиации Солнца, чтобы создать флюоресцентное излучение в видимой части спектра, заметное на фоне обычного, отраженного Луной солнечного спектра. Надо заметить, что такое флюоресцентное свечение могут давать не только газы, но и минералы, находящиеся на поверхности Луны.

В 1955 г. автор настоящей статьи спектральным методом из сравнения контуров фраунгоферовых линий солнечного и отраженного Луной спектров получил прямое доказательство существования флюоресценции в лучевой системе кратера Аристарх, интенсивность которой достигала в фиолетовых лучах около 15% от обычного, отраженного Луной света. Этот результат показал, что и существование истечения газов на дне лунных кратеров можно пытаться доказать спектральным методом по их флюоресценции.

В октябре и ноябре 1958 г. совместно с астрономом Харьковской обсерватории В.И. Езерским я занимался спектральными исследованиями Марса на 50-дюймовом рефлекторе в Крымской обсерватории Академии наук СССР. Попутно я решил систематически получать фотометрически стандартизованные спектрограммы некоторых деталей Луны, и в частности кратера Альфонс, для решения вопроса о возможности истечения газов.

При наблюдениях щель спектрографа всегда располагалась по прямому восхождению. На снимках линейная дисперсия составляла  $23\text{\AA}$  в 1 мм вблизи Ну при масштабе деталей около  $10''$  в 1 мм. Нормальная экспозиция на пластинках Kodak 103 AF занимала от 10 до 30 мин.

До ночи со второго на третье ноября никаких особенностей на спектрограммах Альфонса не было замечено. Утром 3 ноября были получены три спектрограммы кратера Альфонс, причем щель спектрографа пересекла этот кратер по диаметру, проходя через его центральный пик, как показано на рисунке вверху. При получении первой спектрограммы (в 4 ч по московскому времени) во время гидирования по изображению на щели меня удивила сильная размытость и необычный красноватый оттенок центрального пика. После получения этой спектрограммы согласно программе пришлось перейти к спектрографированию Марса. Поэтому следующая спектрограмма Альфонса была получена после перерыва от 6 ч 00 мин до 6 ч 30 мин. Как только центральный пик кратера Альфонс оказался на щели, меня поразила его необычайная яркость и белизна. При гидировании я не отрывал глаз от визирной трубки и вдруг заметил, что яркость пика внезапно упала до обычной. Тогда экспозиция была сразу же прекращена и начата следующая с 6 ч 30 мин до 6 ч 40 мин при том же положении щели. Своим зрительным впечатлением я не придавал серьезного значения и думал, что все эти особенности связаны с изменением качества изображений. Поэтому получилось несколько неожиданно, что после проявления спектрограмм все замеченные глазом изменения оказались совершенно реальными и действительно происходили в центральном пике Альфонса.

На первой спектрограмме центральный пик заметно ослаблен в фиолетовых лучах по сравнению с соседними деталями кратера, чего не наблюдалось на обычных спектрограммах. Измерение этого снимка показало, что поглощение изменялось, как  $\lambda^{-1}$ , и вычисленное общее поглощение получилось равным 15–20% в видимой части спектра.

На второй спектрограмме это поглощение незаметно, и бросается в глаза эмиссионный газовый спектр, состоящий из ряда широких полос, наложенных на обычный спектр центрального пика (рисунок справа, *а*).

Третья спектрограмма показала обычное состояние кратера (рисунок справа, *б*). Таким образом, явление выделения газов длилось не более 2 ч 30 мин и не менее 0 ч 30 мин.

Следующей ночью, с третьего на четвертое ноября, удалось получить еще две спектрограммы Альфонса. Эти спектрограммы показали, что состояние кратера продолжало оставаться нормальным. Вечером 4 ноября наступила последняя четверть, и Альфонс перестал быть доступным для следующих наблюдений.

Итак, ранним утром 3 ноября 1958 г. в центральном пике кратера Альфонс происходило исключительно интересное явление – вулканический процесс. Сначала была выброшена пыль – вулканический пепел, а затем, как обычно, выделились газы. Выход газов, вероятно, происходил из поднявшейся к поверхности магмы, которая должна содержать газы, адсорбированные в глубинах при высоком давлении.

Самой характерной особенностью эмиссионного спектра центрального пика Альфонс является группа полос, начинающаяся с 4754 Å и сравнительно резко очерченная со стороны длинных волн (рисунок справа, *а*). Яркость этих полос достигает 40% от нормальной яркости пика в соответствующих длинах волн. Заметно, что наложенная эмиссия слегка сдвинута в сторону Солнца. Этот сдвиг, составляющий около 0'',7, или около 1,5 км на лунной поверхности, вероятно, объясняется тем, что жесткая радиация Солнца, возбуждавшая свечение, могла проникнуть только в обращенные к Солнцу части газового столба, выходящего из центра пика. Надо полагать, что свечение этих газов происходило подобно свечению комет. Радиация Солнца производила диссоциацию сложных родительских молекул на оптически активные молекулярные остатки – радикалы, которые и создавали наблюдаемый спектр. Интересно сопоставить поверхностную яркость свечения выделявшихся газов с поверхностной яркостью комет.

Вблизи полнолуния при отвесном падении солнечных лучей отражательная способность центрального пика кратера Альфонс равняется 0,13, т.е. почти в два раза больше средней отражательной способности лунной поверхности. В момент наблюдений высота Солнца над горизонтом кратера Альфонс равнялась только 18°. Согласно данным харьковского астронома В.А. Федорец отражательная способность центрального пика при этой высоте Солнца уменьшается в десять раз по сравнению с отражательной способностью в полнолуние. Если принять, что в среднем по всем длинам волн яркость дополнительного свечения газов составляла десять процентов от яркости пика, то поверхностная яркость наблюдавшегося газового свечения получается равной одной пятидесятой средней поверхностной яркости Луны в полнолуние. Так как в полнолуние яркость Луны составляет –5,5 звездной величины с квадратной минуты, то поверхностная яркость свечения газов получается порядка –1 звездной величины с квадратной минуты. Поверхностная же яркость комет составляет около девятой величины с квадратной минуты.

Таким образом, наблюдавшееся свечение газов было в десять тысяч раз интенсивнее свечения комет. Это показывает, что количество выделившихся газов было с избытком достаточно для поглощения всей жесткой радиации Солнца. Заметим, что, несмотря на такую яркость, свечение газов едва ли можно было бы обнаружить около полнолуния при высоком положении Солнца. Вообще его было бы очень трудно наблюдать, будь отражательная способность Луны выше. Надо помнить еще, что свечение вулканических газов может происходить только тогда, когда данная деталь Луны освещается Солнцем, поэтому в пепельном свете такое явление наблюдаться не может.

Для получения полного представления об эмиссионном спектре необходимо произвести шаг за шагом по всему спектру вычитание из яркости спектра центрального пика яркость спектра соседнего участка дна кратера. Такие измерения, требующие большой тщательности, еще не закончены. Но некоторые выводы можно сделать уже и сейчас.

В яркую группу полос, которая начинается с  $4754 \text{ \AA}$  и постепенно ослабляется к фиолетовой стороне спектра, входит как главная составляющая полоса Свана молекулы углерода  $C_2$ . Отчетливый максимум на длине волны  $4737 \text{ \AA}$  соответствует началу системы вибрационных полос этой молекулы. Существование  $C_2$  подтверждается наличием других, значительно более слабых групп полос Свана с максимумами:  $5165$  и  $5636 \text{ \AA}$ .

Таким образом, существование молекулы  $C_2$  в выделявшихся газах можно считать установленным. В районе от  $H\delta$  до линии  $H\text{Ca}^+$  существует система слабых полос, наблюдающаяся, как и полосы Свана, в спектре головы комет и принадлежащая линейной молекуле  $C_3$ . Характерным отличием от спектров комет является полное отсутствие в спектре выходявших газов ультрафиолетовой полосы  $CN\ 3883 \text{ \AA}$ . Присутствуют сравнительно яркие полосы в участке спектра от  $4600$  до  $4250 \text{ \AA}$  и в других местах большое количество слабых полос. Определить молекулы, которым принадлежат эти полосы, пока не удалось. Надо отметить, что все полосы этого спектра сильно размыты. Полосы Свана должны быть совершенно резкими со стороны длинных волн, но и они оказались размытыми приблизительно на  $5 \text{ \AA}$ . Скорее всего, это явление связано с процессом типа преддиссоциации: полосы наблюдались в основном только в момент рождения оптически активных молекулярных остатков из сложных родительских молекул.

Совокупность наблюдавшихся явлений говорит о том, что в центральном пике кратера Альфонс происходило подлинное вулканическое извержение. Во всяком случае это не могло быть слабым истечением газов из трещин лунной поверхности, которое, вероятно, наблюдал Д. Олтер. По-видимому, это заключение подтверждается сообщением английских наблюдателей П. Уилкинса и Ф. Бриюна о появлении небольшого красноватого пятна непосредственно около центрального пика Альфонса с южной от него стороны. Это пятно они наблюдали 19 ноября 1958 года и утверждают, что оно не существовало до ноября 1958 года.

Возможно, что описанное здесь наблюдение еще долгое время будет оставаться единственным. Но независимо от этого оно показывает, что внутренняя энергия и возможности горообразовательных процессов сохранились на Луне до настоящего времени. Совпадение наблюдавшегося процесса с положением центрального пика не может быть случайным и показывает, что основной рельеф Луны возник эндогенно, а не в результате падения метеоритов на ее поверхность.

Природа, 1959, № 3, с.84-87.

Адрес страницы: <http://www.nkozyrev.ru/bd/021.php>