

А. В. ХАБАКОВ

**ОБ ОСНОВНЫХ ВОПРОСАХ
ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ
ПОВЕРХНОСТИ
ЛУНЫ**

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА ~ 1949**

ОБ ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЛУНЫ

ЗАПИСКИ ВСЕСОЮЗНОГО
ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА

Н О В Я Я С Е Р И Я

Т О М 6

А. В. ХАБАКОВ

**ОБ ОСНОВНЫХ ВОПРОСАХ
ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ
ПОВЕРХНОСТИ
ЛУНЫ**

*ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ*

МОСКВА • 1949

Ответственный редактор
С. В. Калесник

ОТ РЕДАКТОРА

Географы до сих пор все свое внимание уделяли Земле, изучая либо ее современный облик (география в собственном смысле слова), либо смену географических ландшафтов в прошлом (геология, палеогеография). Однако, как известно, Земля не является одиноким небесным телом. Она представляет собой систему двух тел, неразрывно друг с другом связанных и генетически, повидимому, довольно близких: Земли и Луны. А вместе с тем меньшая часть этой системы (Луна) почти не подвергалась рассмотрению с географической точки зрения. Эта задача откладывалась географами на будущее по разным причинам. Во-первых, на самой Земле было и остается еще много нерешенных проблем; во-вторых, обескураживала недостаточность сведений, касающихся лунной поверхности; наконец, в-третьих, многие, без достаточных, впрочем, оснований, полагали, что Луна представляет собою объект только астрономического, а не географического и геологического изучения.

Ныне второй и третий мотивы уже не могут считаться безупречными. Сведений о Луне накопилось настолько много, что вполне назрела необходимость хотя бы предварительного их обобщения и свода в географическом аспекте. Интересный труд А. В. Хабакова как раз и является первым у нас опытом в этом направлении.

Географическое общество Союза ССР дает место в своих «Записках» работе действительного члена А. В. Хабакова еще и потому, что селенографию пора уже начать рассматривать как разновидность сравнительной региональной географии. От привычной нам региональной географии селенография отли-

чается лишь тем, что она посвящена описанию не какого-нибудь района или материка на Земле, а земного спутника в целом, а также тем, что, в связи с отсутствием на Луне воздуха, воды и органической жизни, географическое описание Луны упрощается до геоморфологической характеристики.

Подобная расширительная трактовка задач географии («науки о Земле») может показаться необычной, не отвечающей названию этой науки и, возможно, преждевременной. Но история человеческого знания полна примерами того, как содержание науки нередко выходит за рамки ее наименования, присвоенного ей к тому же в начальном периоде ее развития. Что же касается исследования Луны или других планет, то вряд ли кто сможет доказать, что исследования эти по своему содержанию и по своим конечным результатам должны отличаться от того, к чему мы стремимся при географическом познании Земли. Различие в методах исследования решающего значения здесь не имеет.

Пусть первые шаги расширения арены географической науки за пределы земного шара кажутся пока необычными—ближайшее будущее покажет закономерность и обоснованность этого процесса естественной эволюции знаний.

С. В. Калесник.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Человек, впервые увидевший поверхность Луны в телескоп. Галилей, сразу же поставил задачу выяснить историю изменений этой на первый взгляд наиболее неизменной планеты.

«Я всеми силами противлюсь мысли, — писал Галилей в 1610 году, — будто неизменность и вечность являются каким-то превосходством и совершенством, а изменчивость, наоборот, каким-то несовершенством». «Я считаю, — добавлял Галилей, — Землю в высшей степени совершенной именно ввиду происходящих на ней перемен, и то же самое относится и к Луне, Юпитеру и другим небесным светилам».

Так возникла проблема сравнения исторического развития Земли и Луны. В разработке этой проблемы необходимо остерегаться двух крайностей, сущность которых нетрудно выразить немногими словами: с одной стороны — необоснованного полного отождествления особенностей развития Луны и Земли или, напротив, переоценки их различий. Прежде всего, не следует исходить из предположения, долгое время державшегося в науке, будто природа Луны является полным подобием земных условий. Известно, что еще Аристотель держался мнения, будто поверхность Луны подобна «полированному шару» и буквально отражает очертания морей и материков нашей Земли.

Геолог и астрофизик в наше время должны быть свободны от подобного предрассудка. Как мы увидим дальше (и это, конечно, не ново), многие существенные особенности развития планет, и в том числе такие, которые должны весьма интересовать географа и геолога (наличие или отсутствие атмосферы, существование водной оболочки, степень подвижности твердых обломочных масс на поверхности, характер изостатической динамики, резкость и глубина геометрического, фазового и вещественного расслоения недр планеты, степень разнообразия тектонических форм), предопределяются рангом величины планеты.

Земля и Луна по своим размерам очень различны. Луна слишком мала для того, чтобы своим притяжением удержать

воздух и водную оболочку, которые исчезли на ней, вероятно, задолго до ее остывания. Земля достаточно крупна, чтобы сохранять водные массы и атмосферу (быть может, за исключением водорода).

А ведь это в свою очередь определяло судьбы денудационной подвижности масс вещества, характер изостатических компенсаций, наличность слоистых структур и пр. Не менее важно различие в среднем объемном весе обоих небесных тел (Земля=5,52, Луна=3,34), что указывает на неодинаковость физического и вещественного расслоения в глубинах. А priori, стало быть, следует предполагать, что структура и последовательность развития Луны может оказаться во многом своеобразной, не менее самобытной, чем сама история Земли.

Но наряду с различиями, определяемыми разницей в ранге величин, нельзя упускать из виду общности генезиса планет и, стало быть, известного подобия вещественного состава недр нашей небесной соседки.

Луна, как полагают многие авторы, является родной дочерью Земли. Когда-то она вращалась гораздо живее и потому отделилась от нас, теперь повзрослела и неотступно-внимательно обращает свое лицо к матери-Земле, а в далеком будущем начнет вновь приближаться, если только будет и дальше медлить, кружась в своем старинном танце.

Лунный лик смотрит на нас незатуманенный никакой воздушной вуалью. По лицу Луны, стало быть, представляется возможность воочию судить о таких чертах родства с Землей, которые мы еще не сумели геологически распознавать и не можем наблюдать непосредственно. Счастливые обстоятельства — отсутствие воды и «губки денудации» (т. е. всего, что делает древний лик Земли вечно юным, нацело смывая следы прежних структурных пертурбаций поверхности) — запечатлело на лице Луны все шрамы и тревожения, испытанные за время ее бурного существования.

Книга, предлагаемая вниманию читателя, представляет собою попытку показать, что сравнительное морфологическое изучение строения поверхности Луны полезно и необходимо для более цельного понимания проблем истории самой Земли, причем, если применять методы собственно-геологические, получится польза и для селенографии.

Луна по своей природе и по способам ее изучения представляется ближайшим предметом, который может объединить две родственные семьи наук — о земле и о небе. Луна — пограничная страна между астрономией и геологией», на что всегда указывали Эд. Зюсс, Дж. Баррелл, А. П. Павлов, Дж. Джолли, В. И. Вернадский и другие геологи и астрофизики. Сейчас, больше чем когда бы то ни было, ощущается потребность найти мост между владениями геологии и астрофизики, если только мы не хотим рассматривать Землю, как

исключительный, единственный мир, а желаем сравнить ее геологически с остальными планетами. Требуется, наконец: а) определить взаимосвязь геологических ритмов и структур с режимом движения, с величиной и другими кардинальными особенностями планет; б) положить начало сравнительному географическому изучению планет; в) уловить признаки, время и сущность некогда происшедшего превращения звезды в планету и тем самым г) установить место геологических стадий развития в общем ходе становления Земли.

Моя попытка в этом направлении является далеко не первой, но может оказаться не бесполезной. Дело в том, что предыдущие исследования других авторов у нас и за границей хотя отнюдь и не были неудачными, но все же не привлекли достаточного внимания.

В свое время Ляйель признал размышления о сущности догеологических времен и космогонии в целом занятием, самым вредным для геологов и утверждал, что геологи никогда не найдут в своем фактическом материале никаких признаков стратиграфического старта, никаких следов начала истории геологических времен. Он был по-своему глубоко прав в момент борьбы актуалистического метода с заскорузлыми утопиями катастрофистов. Ляйель совершенно прав и поныне в том отношении, что самые древние из доступных геологам документов не принадлежат к первым главам истории Земли, в частности никаких следов «первозданной» земной коры нет и не могло сохраниться.

Разбираясь в сути круговорота процессов тектоники, вулканизма, метаморфизма, денудации и отложения, нельзя не согласиться с Ляйелем, что самые древние памятники нашей земной истории давным-давно, еще задолго до наступления лаврентьевских времен, не раз были перемолоты в денудационной мельнице Нептуна и переплавлены в кузнице Вулкана.

Но значит ли это, будто вовсе нет признаков догеологической стадии становления нашего мира, признаков прежнего расплавленного состояния земного шара, последовавшего образования твердой коры и прогрессировавшего, несмотря на продолжающиеся вспышки вулканизма, остывания планеты? Отнюдь не значит. И положительный ответ на эти вопросы давно уже характеризует прогресс естествознания; еще Ф. Энгельс с философской точки зрения обосновал предварительные выводы космогонии.

Ни один географ и геолог, мне кажется, не может уклониться от изучения упомянутых проблем. Они, по существу, предопределяют дальнейшие заключения об общем характере исторического развития геологических явлений.

Всякий, кто задумывался над происхождением удивительного постоянства изотопических смесей химических элементов,

над генезисом так называемого радиоактивного равновесия, над историческим балансом радиоактивного распада и над возникновением расслоения вещества в глубинах нашей планеты, по достоинству оценит, я полагаю, преимущества предположения о прежнем расплавленном состоянии земного шара. Недаром у большинства геохимиков оно никогда не вызывало сомнения.

Хотя вопрос и выходит далеко за рамки темы, я пользуюсь случаем подчеркнуть, что история поверхности Луны является наглядным образцом такого превращения когда-то светившегося небесного тела в прогрессивно остывавшую, покрывшуюся корой и впоследствии почти нацело затвердевшую планету.

Поразительным для геолога обстоятельством, как мы увидим ниже, является отсутствие на Луне признаков каких-либо складчатых деформаций и значительных горизонтальных перемещений коры. Зато преобладают и изобилуют различные радиальные разломы, по преимуществу сбросового типа (опускания).

Еще более любопытно возрастное чередование повсеместно распространенных на Луне формаций разломов, обусловленных процессами общего растяжения, и разломов, вызванных общим сжатием лунного шара. Связь вулканических излияний с такими циклами попеременного уменьшения и увеличения объема планеты ясно свидетельствует о периодичности превращений физического состояния глубин как причине этих явлений.

Не меньший свет на происхождение основных типов рельефа Земли бросает наблюдаемое на Луне повторное возникновение впадин Морей (эквивалентных океаническим впадинам Земли) на месте бывших областей гористой суши.

Перечисленные два-три взятых наудачу примера из множества наводящих на размышления фактов, какие обнаруживает сравнительное изучение Луны, мне кажется, с лихвой могут вознаградить любознательность географа и геолога, если они обратятся к самостоятельному изучению геологического строения соседней планеты.

Повторяю и подчеркиваю, — содружество геологических и астрофизических методов анализа может дать геологии более ясное понимание взаимосвязи геологических явлений с механизмом движения, с переменами физического состояния и прочими особенностями планет, астрофизике же такое содружество должно привить представление о скрытых процессах развития не только в недрах звезд, но и планет.

Разнообразные внутренние факторы развития небесных тел все больше занимают астрофизиков. Феерическое зрелище рождения «сверхновых» наглядно показывает неукротимость энергии, скрытой в недрах небесных тел: полупотухшие миры, величиной в сотни тысяч раз больше нашей Земли, разбухают,

как на дрожжах (в течение немногих дней или даже нескольких часов гигантски увеличиваясь в объеме), взрываются с ослепляющим блеском, затем угасают и нередко сжимаются до чрезвычайной плотности в недрах, а по прошествии неизмеримых времен набухают и вспыхивают снова.

Астрофизике остается сделать еще только шаг — от звезд к планетам, т. е. признать, вместе с геологами, что подобная же неукротимая, хотя и неизмеримо меньшая по масштабам сила гнездится в глубинах потухших звезд — планет. Если, говоря словами Ломоносова, «есть в сердце земном иное неизмеримое могущество, которое на месте гор море зиждет и на месте моря—горы», то почему отказывать во внутренних коллизиях другим планетам? В таком случае планеты перестанут казаться физическими мертвецами, развитие которых будто бы закончено, словно им осталось лишь блуждать по орбитам в ожидании случайного внешнего толчка.

Непонятное, распространенное особенно среди астрономов Северной Америки, игнорирование внутренних факторов развития планет, благодаря чему развилось странное мнение о чуждом, чисто поверхностном метеоритном происхождении рельефа Луны и столь же странное игнорирование тектонистами взаимосвязи структуры планет с режимом их движения, является совсем не обязательным последствием необходимого разделения областей знания.

Такова еще встречающаяся до сих пор односторонность специалистов, как только они забывают о многогранности явлений природы. Одни смотрят только в землю, другие — только в небо. Геологам порою словно невдомек, что перед ними на небе висит наглядное сравнительное пособие и что Земля как планета имеет своих сверстниц по образованию в солнечной системе. Астрономам нередко словно невдомек, что Луна, как и остальные планеты, могла испытывать внутренние физические и структурно-геологические превращения, т. е. иметь свою собственную геологическую историю.

При всем том фактическая сторона предмета уже разработана с детальностью, вполне достаточной для обобщений. Научная литература о строении поверхности Луны почти необозрима. Но среди множества сочинений до сих пор преобладали чисто описательные, сугубо-селенотопографические заметки, мало удовлетворяющие геолога.

Попытки генетического истолкования форм лунной поверхности, сами по себе чрезвычайно ценные, обычно еще не подкреплялись приемами последовательного геолого-морфологического анализа.

Геологи, обращавшиеся к этой увлекательной теме, обычно ограничивались короткими экскурсами и не раскрывали до дна сокровищницу фактов, накопленную трудами пяти поколений селенографов.

Мой интерес к предмету, помню, сильно возрос, как только я начал знакомиться прежде всего с русской литературой по селенографии, где имеется ряд кратких, но весьма содержательных и оригинальных трудов (Н. П. Барабашева, В. Г. Фесенкова, А. П. Павлова, А. В. Маркова, Г. Г. Тюрка и других авторов). На русском языке есть также и переводные хорошие очерки природы Луны.

Но затем, по мере хода занятий, я начал было приходить в отчаяние от неописуемого разнобоя мнений, обнаружившегося в мировой литературе о Луне. Список использованной литературы по предмету (свыше восьмисот работ) разрастался неисчерпаемо. Он настолько увеличил бы объем этой книги, что пришлось отказаться от печатания библиографии; мне пришлось ограничиться самыми необходимыми подстрочными ссылками на цитированные работы (интересующиеся библиографией литературы по селенологии к этой книге могут найти ее в библиотеке Пулковской обсерватории).

В океане научной литературы о Луне так легко было упустить из виду огни мыслей, уже высказывавшихся кем-нибудь раньше. Поэтому я ни в чем не претендую на особенную новизну, зато на признание известной самостоятельности суждения надеюсь.

Очень прошу читателя, в связи с возможными моими упущениями, принять во внимание, что книга, задуманная еще в 1939—1940 гг., была написана в течение 1941—1943 гг., когда единственные в мире сокровища библиотеки Пулковской обсерватории были уже недоступны, а частью даже погибли во время варварского нашествия немецких фашистов.

Основные фактические данные и главные положения этой книги были доложены и обсуждались на заседании отделения математической и физической географии Всесоюзного Географического общества в Ленинграде.

Пользуюсь случаем выразить искреннюю признательность за ценные критические замечания А. В. Маркову, В. В. Шаронову и М. С. Эйгенсону, а также весьма признателен за существенные указания и поправки рецензенту академику В. Г. Фесенкову и редакторам книги С. В. Калеснику и М. Т. Сперанской. От всего сердца благодарю Е. Л. Кринова, который обучал меня приемам наблюдений.

Июнь 1943 г. — июнь 1948 г.

А. Х.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ЛУННОЙ ПОВЕРХНОСТИ И ГЛАВНЫЕ СПОСОБЫ ИЗУЧЕНИЯ

Изучение физической природы Луны как совместная задача астрофизики и геологии

Земная Луна является ближайшим к нам небесным телом, изучение которого можно благодаря особенностям рельефа поверхности вести с успехом не только путем астрофизических методов исследования альbedo, характера поляризации, окраски и т. п., но и посредством разработанного в геологии морфологического анализа.

Естественно, что уже с половины прошлого столетия в области исследования физической природы Луны возникла более или менее осознанная необходимость рассматривать некоторые факты селенографии с помощью данных и методов обеих упомянутых наук.

Селенографы (даже из числа тех, кто подобно А. Вегенеру и К. де Беру объясняют особенности рельефа Луны целиком экзогенными космическими силами) обращались для понимания истории Луны к сравнительным геологическим данным. Геологи, заинтересованные в понимании истории Земли в целом, а также в устранении существующего разрыва между сведениями о звездной и собственно геологической стадии развития Земли, не раз пытались оценить развитие Луны в масштабе геологических времен и даже извлечь параллели к предполагаемому догеологическому прошлому Земли.

Обмен сведениями и взглядами особенно оживился после того, как были разработаны способы наблюдений, позволяющие с большей вероятностью определять физическое состояние и петрографический состав горных пород Луны. Начиная с 90-х годов прошлого столетия, появляется ряд работ Фая, Пюизё и других селенографов-астрономов, посвященный сравнению Луны и Земли. Одна из обстоятельных новейших сводок по селенографии, написанная Вильзингом, изобилует сравнительными земными примерами и ссылками на геологическую литературу. С другой стороны, такие геологи, как Эд. Зюсс,

В. Бранка, Дж. Гильберт, Н. Шэлэр, Форбс, Дж. Джоли, Дэлонэ, Ф. Сакко, Дж. Баррел, Расталл, А. П. Павлов, В. И. Вернадский и др., публикуют обзоры селенографических данных с сравнительно-геологической точки зрения.

Появляется целый отдел селенографии — так называемая геология Луны. Обогащаясь фактическими данными о составе пород и о структурных особенностях лунной поверхности, геология Луны в настоящее время начинает по праву носить это название, если только слово γῆ «ге» — Земля применять как синоним планеты и учитывать сходство миров в нашей солнечной системе.

С помощью селенографии возникает возможность начать межпланетное путешествие еще до той поры, когда ракеты Циолковского окажутся в распоряжении географов и геологов.

Данные физической селенографии, к сожалению, мало известны широким кругам ученых, работающих внутри обширного поля каждой науки. Недостаточное использование сравнительного материала соседней дисциплины обнаруживается даже в специальных селенографических сочинениях. Предлагаемое изложение имеет целью дать краткий обзор современного состояния физической селенографии для географов и геологов и с точки зрения геологической.

Древнейшие представления о физической природе поверхности Луны

Научная литература о физических условиях и рельефе поверхности Луны, исчисляемая тысячами сочинений, существует веками, начиная с пифагорейцев.

Сейчас нам может казаться удивительным, что в древности ученым пришлось потратить много труда, чтобы доказать очевидный для нас исходный тезис, что наблюдаемый невооруженным глазом общий рисунок поверхности Луны зависит главным образом от рельефа. Впервые к такому заключению пришли, повидимому, пифагорейцы в V веке до нашей эры. Демокрит (460—370 гг. до н. э.), по свидетельству Аэция, полагал, что причиной видимых различий лунной поверхности являются тени от высоких мест «на Луне, ибо она имеет долины и возвышенности»¹. Плутарх (50—130 гг. н. э.) тоже, как известно, защищал в своем манускрипте «Об облике лунного диска»² точку зрения пифагорейцев.

Но под влиянием авторитета Аристотеля, о чем мы уже упоминали, на Востоке впоследствии сделался догмой курьезный цитированный выше взгляд, будто поверхность Луны представляет собой гладкий шар, зеркально отражающий тени и отблески морей и гор нашей земли.

¹ См. Демокрит в его фрагментах и свидетельствах древности, Огиз, 1935, стр. 82—176.

² Ἐπὶ τοῦ ἐμφαινομένου τῆς κῆλης τῆς σεληνης*.

Известный арабский математик шейх ибн-Али-Аль-Хазан-ибн-Аль-Хайтам (Альхазен), живший в X веке н. э., (965—1039), еще сильно сомневался в том, обуславливается ли вид Луны неровностями на ее поверхности. Ибн-Аль-Хайтам объяснял рисунок Луны главным образом различной отражательной способностью разных участков лунной поверхности.

Первые карты лунной поверхности Подлинное развитие селенографии как описательной науки началось со времени изобретения телескопа. Один из изобретателей подзорной трубы — Галилей (1564—1642) — воспользовался новым инструментом и для наблюдения Луны. Галилею принадлежат первые рисунки поверхности Луны.

«Я вне себя от изумления, — писал Галилей вскоре после изобретения трубы, — так как уже успел убедиться, что Луна представляет собой тело, подобное Земле»¹. В письме к Христофору Гринбергеру (которое было опубликовано в 1655 г. в Болонье) Галилей занимается математическими решениями задачи об определении высот лунных гор (см. Galileo Galilei, 1655 г. *De Lunarium Montium Altitudine — problema mathematicum*, стр. 94—104).

Первые подробные карты Луны составил и издал в 1647 г. данцигский астроном Иоганн Гевелиус (латинизированная фамилия, собственно, Гевельке, 1611—1689). Современная номенклатура названий лунных местностей идет отчасти от Гевельке, который давал лунным пятнам и возвышенностям земные географические имена (лунные Апеннины, Карпаты, Кавказ, Везувий и пр.), и в особенности от феррарского астронома Риччольи, который придерживался поэтических эпитетов (Океан Бурь, Море Ясности, Озеро Смерти и т. п.), а также присвоил многим местностям имена известных астрономов, ученых и философов. Последний обычай сделался общепринятым, в особенности по отношению к кратерным формам Луны.

Вскоре после изобретения телескопа основной факт наличия горного рельефа на поверхности Луны уже сделался достоянием широкой публики. Например, один из послов Петра I в «Журнале путешествия по Германии, Голландии и Италии в 1697—1699 гг.» подчеркивает это открытие — «Трубку зрительную видел, через которую смотрят на месяц и на звезды. На месяц смотрели и видел (можно видеть), что есть земля и горы, а мерою та труба десять сажень...».

Исследования русских ученых заняли видное место в науке о Луне уже около ста лет назад, начиная с трудов Матвея Гусева и Ф. Ф. Петрушевского. Особенно значительные работы были сделаны советскими астрофизиками Н. П. Барабаше-

¹ Цитировано по Даннеману Ф. История естествознания, т. II, 1936, стр. 30.

вым, В. Г. Фесенковым, Г. А. Тиховым, А. А. Яковкиным В. В. Шароновым, А. В. Марковым, о чем еще не раз будет сказано ниже.

Невозможно в рамках настоящего краткого обзора заниматься анализом дальнейших этапов развития физической селенографии как науки; одно перечисление выдающихся имен, как я уже говорил, может занять страницы. Интересующиеся историей селенографии должны обратиться к специальным работам Гюнтера, Эбнера, Шоя, Фробениуса, Медлера, на русском языке в особенности Ю. Франца. Краткий биографический словарь по именам лунных кратеров, среди которых запечатлены также имена многих селенографов, был недавно издан Британской астрономической ассоциацией.

Развитие описательной селенографии

Для наших целей достаточно подчеркнуть, что все последующее развитие селенографии очень долгое время продолжало идти по пути терпеливого накопления фактов,

под знаком эмпиризма.

Многие наблюдатели со всей мыслимой тщательностью описали и изобразили все заметные в телескоп подробности лунного рельефа. В середине XIX века фактическое знание лунной поверхности достигло такого совершенства, что не однажды были предприняты и с успехом выполнены виртуозные попытки передать рельеф Луны в слепках, исполненных на основании визуальных наблюдений.

Фотографические атласы лунной поверхности

Новую эпоху в изучении природы Луны открыло применение фотографии. Первые удачные фотографические снимки Луны, сделанные при сильном увеличении, были опубликованы в 1840 г. Петрушевским и Россом, Дрепером в 1840 г., Бондом в 1850 г. и Варреном де ля Рю в 1841 г. Среди существующих остается лучшим парижский фотографический атлас Луны, изданный в 1896—1910 гг. в двенадцати тетрадях с индексом и фундаментальным объяснительным текстом. Создатели этого атласа астрономы Левй и Пюизё были не только превосходными наблюдателями, но и тонкими истолкователями генезиса лунных форм. Ценные фотографические карты Луны были также изданы обсерваториями в Арекипе, в Гарварде (атлас Пиккеринга), а также в Калифорнии (атлас Ликской обсерватории, снимки обсерватории Маунт Вилсон) и в Праге. В нашей отечественной литературе имеется практичный «Карманный атлас Луны», составленный С. С. Гальперсоном¹.

¹ Гальперсон С. Атлас Луны (24 карты с кальками и иллюстрированным объяснительным текстом), Петроград, 1918, изд. Научного книгоиздательства; (De la Rue). Photographs of Moon, made by Mr. De la Rue. „Monthly Not. Royal Astron. Soc.“, vol. XVIII, 1858, p. 257, vol. XIX, 1859, p. 40; vol. XXVII 1863, p. 99; Loewy et Puiseux. Sur les pho-

Несмотря на бесспорный триумф фотографии, пражские астрономы Вейнек и Кригер, а также француз Жари Делож сумели доказать, что и в наше время на пределах сильных увеличений остается необозримое поле для визуальных наблюдений и зарисовок. Атлас селенографических зарисовок Вейнека и Кригера во многих отношениях является незаменимым справочником наряду с фотографическими картами.

Довольно полный обзор существующих карт и атласов Луны имеется в специальном библиографическом справочнике Б. Броуна, изданном в Лондоне (Brown, 1932) ¹.

Видимая поверхность Луны в картографическом отношении теперь точнее и равномернее известна, чем поверхность Земли. Отмечены, гипсометрически определены, описаны и поименованы почти все лунные цирки крупнее двух-трех километров в поперечнике. Полагают, что на поверхности Луны (за исключением краевых областей видимого диска, трудно доступных благодаря сильному ракурсу и скрываемых либрацией) уже нет резких деталей, будь то неровности рельефа или полосы и пятна размером больше полутора километров, которые вообще ускользнули бы от наблюдателей. Речь идет, главным образом, о более точном описании и изображении известных подробностей рельефа.

Существует обширная литература о слабых проблематических изменениях, замеченных в облике нескольких кратеров. Не без основания утверждают, что если бы на Луне за последние полвека произошли такие топографические перемены, которые подобны по масштабу, например, превращениям кратера Этно, возникновению эруптивного обелиска Мон-Пеле, появлению мелких вулканических островов Курильской цепи и пр., то они были бы обнаружены селенографами.

В настоящее время следовало бы приступить к изданию планшетов карты Луны в горизонталях по всем правилам земной картографии. Существующие фотографические карты-снимки Луны передают сферичность поверхности Луны, что

tographies de la Lune, obtenues au grand equatorial coude de l'observatoire de Paris. „Comptes rendus Acad. Sci Paris“. t. CXIX, 9 Juillet 1894, pp. 1—7, 23 juillet 1894, pp. 1—7; Loewy et Puisieux, Etudes photographiques sur quelques portions de la surface lunaire „Comptes-rendus Acad. Sci Paris“, v. CXIX, 26 nov. 1894, pp. 1—6; Loewy et Puisieux. Sur la constitution physique de la Lune et l'interpretation de divers traits de sa surface mis en evidence par la photographie. „Comptes-rendus Acad. Sci. Paris“. t. CXXI, 1895, séance 1—8 juillet, pp. 1—12; Lick Observatory. Observatory Atlas of the Moon San Francisco, 1897; Pickering William H. A. Photographic atlas of the Moon. „Annals Astr. Observatory of Harvard College“, Cambr. 1903, v. LI, 39 pp.+88 tables; Pickering William H. The Moon. A Summary of the Existing Knowledge of our Satellite, with a complete photogr. Atlas New York (Doubleday, Page and Co.) 1903, VIII+103 pp.+92 pl.+8 maps, 4°.

¹ Brown B. Astronomical Atlases. Maps and Charts (An historical and general Guide). London (Search). MCMXXXII.

крайне затрудняет измерения, особенно ближе к периферии лунного диска. Для того, чтобы перевести сферическое изображение Луны на плоскость и точнее определить высоты лунных пиков по их теням, придется печатать негативы, полученные с помощью больших телескопов, прямо на шар из фотобумаги, или на шар из стекла, покрытый светочувствительной эмульсией, соответствующий по величине и точно воспроизводящий главные неровности фигуры Луны. Отфиксированные позитивные листы фотобумаги можно будет с известными поправками расчерчивать попланшетно в горизонталях.

Полезно сравнить знание рельефа Луны с наилучше изученной на Земле поверхностью Европы. Видимая сторона Луны по величине примерно равна площади Европы. Диаметр Луны приблизительно соответствует расстоянию от Ирландии до Волги. Известно, что отдельные значительные участки материков Земли уже захвачены аэрофотосъемкой различных довольно крупных масштабов. Поверхность Луны сфотографирована, разумеется, менее детально; обычные масштабы снимков не превышают 1:2 500 000—1 500 000. Тем не менее для Луны мы имеем одинаковое и общее точное изображение рельефа, чего еще нельзя сказать о Земле.

Способы исследования физической природы и истории рельефа Луны

В резком противоречии с успехами топографии Луны находится положение знаний о генезисе ее рельефа.

Ниже нам придется познакомиться с обилием противоречащих друг другу гипотез о способах образования различных форм лунного рельефа. Среди них имеются и до сих пор находят сторонников даже такие предположения, которые не выдерживают критики с точки зрения фактических данных, которыми уже обладает физическая селенография. Это обстоятельство, между прочим, наглядно показывает, что эмпирический материал этой науки недостаточно учитывается и что авторы гипотез нередко не дают себе труда перейти от догадок к конкретному изучению природы Луны. Возможностей для исследования физического состояния и эволюции поверхности Луны между тем имеется достаточно. Как мы уже сказали, имеются не только чисто астрофизические способы исследования альбедо, поляризации, окраски и пр., но и собственные геологии методы морфологического анализа.

Селеноморфологический анализ. Многократное наложение циклов рельефа

Поверхность обращенной к нам стороны Луны изборождена многочисленными и резкими неровностями, имеющими различный вид и возраст. Всем известны многочисленные лунные цирки, или кратеры, с их высокими валами, широкой срединной впадиной и с загадочными венцами лучей. Кратерные кольца, густо усеивающие возвышенные области лунной поверхности, нередко пересекаются и

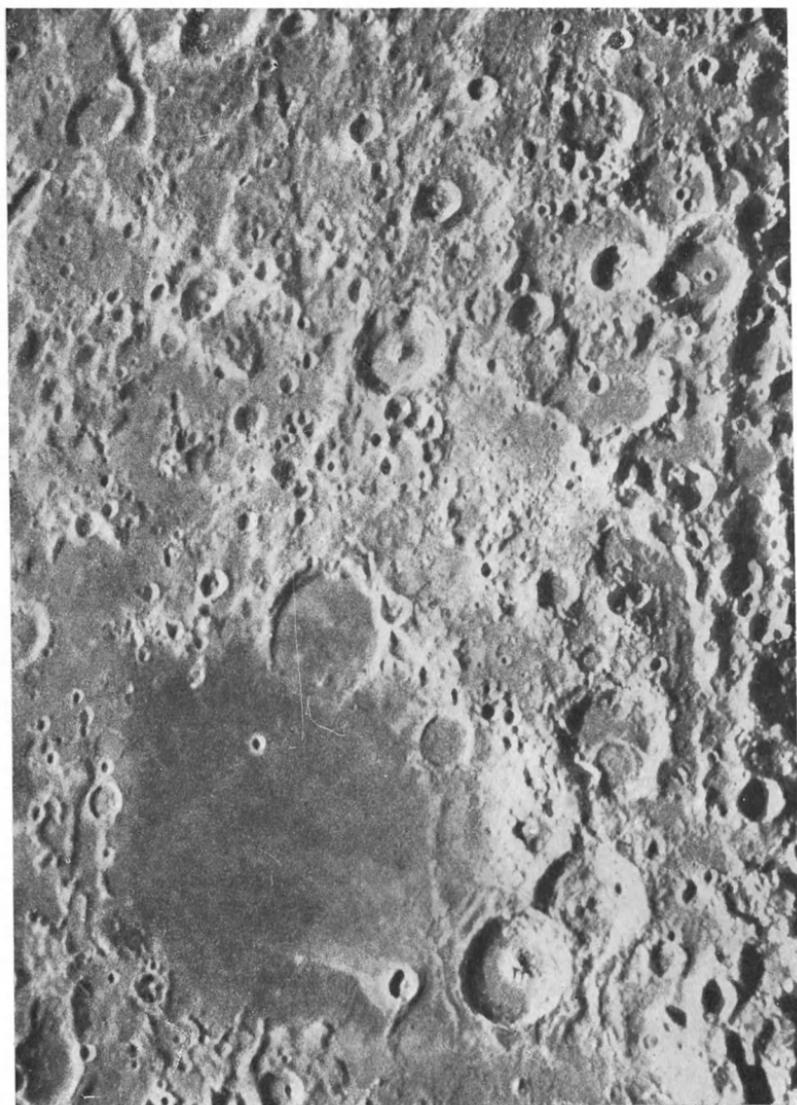


Рис. 1. Фото-снимок юго-восточного побережья Моря Нектара и Алтайских гор Луны.

Обратить внимание на отчетливо заметный порядок наложения кратеров Теофила и Кирилла (внизу вправо), Капеллы и Изидора (внизу влево), на горизонтальный сдвиг с разрывом кратера Капеллы, на последовательные стадии действия жерла в кратере Катарины (вправо от Моря Нектара) и наконец, на древний дуговидно изогнутый обрыв Алтайских гор (освещенная солнцем полоска ближе к середине снимка).

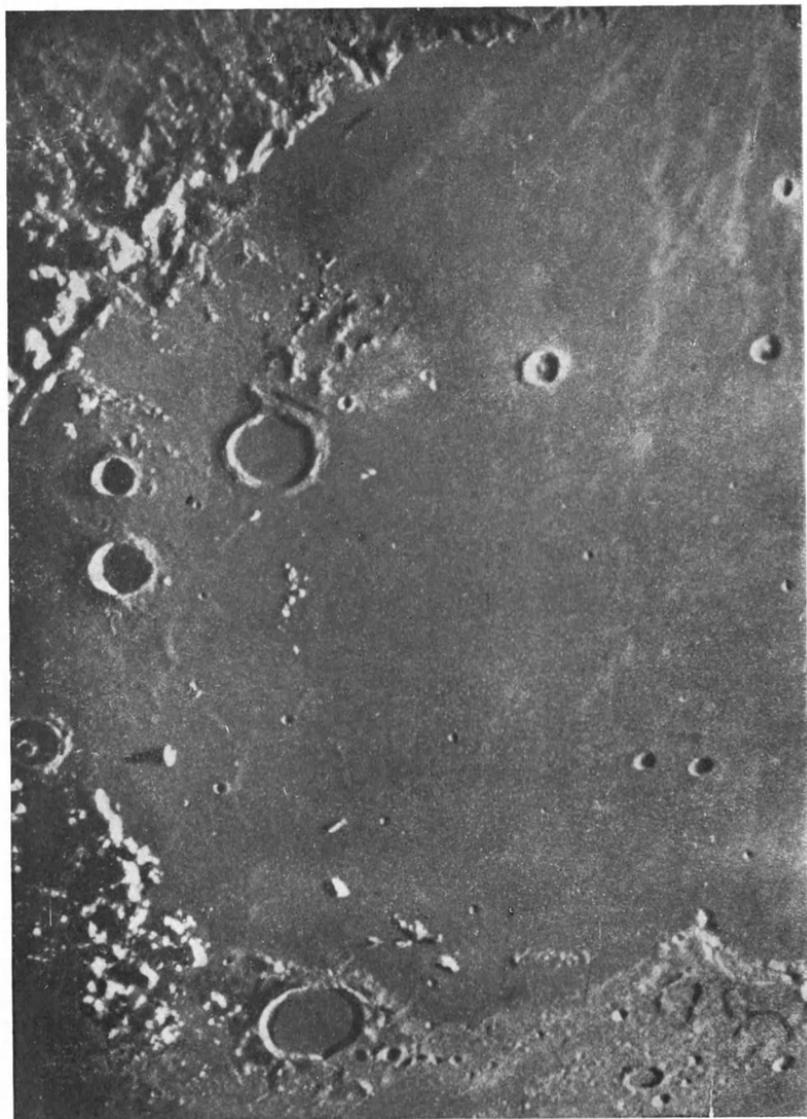


Рис. 2. Следы обрушений вдоль северо-восточного обрыва лунных Апеннин (краевой хребет в верхнем левом углу снимка).

Заметно почти поперечное пересечение двух систем разломов СЗ-ЮВ и СВ-ЮЗ направления. Внизу, близ северного побережья Моря Дождей, заметно подобное же пересечение разломов, обрамляющих кратер Платона

перекрывают друг друга. Случаи наложения кратерных колец друг на друга дают возможность воочию установить, какая из контактирующих кратерных форм лунного рельефа возникла позже, нарушив прежде образовавшиеся цирки. Сравнительное изучение подобного наложения лунных цирков уже давно сделалось простейшим способом анализа истории развития рельефа Луны. Как увидим ниже, сопоставление морфологических особенностей последовательных поколений кратеров давно уже используется исследователями, и оно позволило установить общие законы последовательности образования кратерных форм Луны, раскрывающие историю эволюции ее рельефа в целом. Ценность сравнительного морфологического исследования истории поверхности Луны заключается в том, что суждение об относительной древности сравниваемых форм рельефа мало зависит от гипотез о способе их образования. Оно, в конечном счете, само приводит, будучи независимо обосновано, к определенным и весьма общим генетическим заключениям. Для этого, конечно, требуется морфологическое сравнение всех наблюдаемых форм рельефа и анализ характера поверхности отдельных областей Луны как «ландшафтов» во всей их совокупности. Кроме кратеров и их лучей на поверхности Луны наблюдаются многие другие формы рельефа, например различные типы равнин и горных массивов, многочисленные гребни, валики, борозды, сквозные трещины. Последовательность их возникновения нередко также видна воочию там, где они соприкасаются между собою или перекрывают друг друга.

В некоторых участках лунной поверхности замечаются последовательные «наслоения» кратерных колец, возвышенностей, борозд и трещин, причем полуразрушенные остатки древних форм рельефа ясно сквозят под ярусами последующих сооружений. Эти «многоэтажные» руины истории рельефа Луны местами столь бросаются в глаза, что в новой селенографической литературе стихийно укореняются такие привычные для геоморфологов и геологов обороты, как «древний рельеф», «прежнее строение поверхности», «погребенные формы рельефа» и ряд других. Важнейшим, еще недостаточно используемым в селенографической науке условием ценности морфологического анализа является изучение взаимной связи различных категорий лунного рельефа. В литературе имеется множество обстоятельных топографических описаний отдельных взятых участков, групп и явлений рельефа Луны, как, например, отдельно трещин, равнин, склонов, отдельно кратеров определенного вида, тогда как анализу их взаимной морфологической и пенической зависимости долгое время уделяли мало внимания.

Любая фотография лунной поверхности, снятая при достаточном увеличении и в подходящих условиях освещения,

является иллюстрацией того, каким превосходным объектом оказывается Луна для целей морфологического анализа ее рельефа. Возьмем, например (см. рис. 1), гористый, изобилующий цирками район юго-восточного побережья Моря Нектара и Алтайских гор (в юго-западном квадранте видимого полушария Луны). Внимательно сопоставляя отношения контуров различных соседних форм рельефа, в ряде пунктов можно однозначно и независимо судить о взаимосвязи и последовательности возникновения различных категорий рельефа. Читатель, взяв соответствующий прилагаемый здесь снимок, должен обратить внимание, например, на связь между кратерами и бороздами, ясно видимую в левой половине снимка, а также на различный характер этой зависимости в нижнем левом (область лунных Пиренеев и цирка Гутенберга) и в верхнем левом (район к северу от кратера Неандера) углах снимка. Возрастные отношения двух крупных цирков Теофила и Кирилла, а также последовательность наложения мелких кратерных колец на дне соседнего третьего цирка (Катарины) в нижней правой части таблицы очевидны. В верхней половине таблицы, особенно ближе к правому углу снимка, можно видеть, что возникало позже — крупные или мелкие цирки, т. е. судить об эволюции процесса кратерообразования.

Существующие фотографические атласы лунной поверхности дают неисчерпаемый материал для измерений, для сравнения форм рельефа и для размышлений об их генезисе. Еще более поразительным и поучительным является зрелище самой лунной поверхности, наблюдаемое в сильный телескоп (при различных фазах освещения Солнцем).

Своеобразие лунного рельефа Ю. Франца, по словам Ю. Франца, представляет собою как бы книгу, «в которой мы можем прочесть ее историю» (1923, 83)¹. Справедливость требует добавить, что превосходно иллюстрированная книга эта, к несчастью, написана весьма своеобразными, почти иероглифическими письменами.

Своеобразие генезиса лунного рельефа вытекает уже из факта многоярусного наложения кратерных ландшафтов. Подобное «сквозное» наложение нескольких циклов форм, с поразительным сохранением древних генераций рельефа, невозможно в обстановке наших земных условий создания рельефа. Главная формовщица поверхности Земли — движущаяся вода — не только вытачивает поднимающиеся участки земной коры, но и неустанно уничтожает все прежде ею же созданное. Вода образует сеть эрозионных каналов, спле-

¹ Франц Юлиус. Луна (перев. с нем. с прилож. списка русской научно-популярн. лит. С. Шорыгина под ред. проф. А. Михайлова), Гиз, М.—П., 1923, 170 стр.+2 табл.: Franz J. Der Mond (aus Natur und Geisteswelt). 1-te Aufl. (Teubner), Leipz., N 90, 1906.

тающихся по направлению к впадинам. Вода рассеивает и нагромождает огромные массы наносов. Формирование рельефа на Земле в настоящее время находится под знаком водной эрозии, определяемой законами тяготения. Первичные внутренние силы — вулканизм и поднятия, создающие рельеф наперекор силе тяжести, редко выступают отдельно сами по себе как факторы, определяющие все подробности ликка Земли. Морфологически ничего похожего мы не видим в рельефе поверхности Луны.

Из совершенно независимых астрономических и астрофизических данных (излагаемых ниже) следует, что атмосфера и вода на Луне с незапамятных времен почти исчезли. Отсутствие воды и атмосферы вполне разъясняет факты необычайной сохранности форм лунного рельефа и подчеркивает своеобразие этих форм, наблюдаемых вочую.

Физические условия образования и сохранения рельефа на Луне, во многих отношениях коренным образом отличные от физико-географической обстановки на Земле, будут рассмотрены несколько ниже. Но в данном случае с самого начала приходится считаться с принципиальным отличием этих условий, чтобы, применяя геоморфологический метод, не впасть в ошибку «геоморфизма».

Статистика форм лунной поверхности

Характерной особенностью лунного рельефа, особенно в областях гористой «суши» Луны, является густота и многочисленность отдельных форменных образований. Несмотря на сравнительно небольшую видимую площадь Луны и относительно крупные средние размеры цирков, считают, что общее число лунных кратеров значительно превосходит 10 000. Многочисленность одинаковых форм дает основание исследовать их статистическими методами.

Статистика форм лунного рельефа возникла совсем недавно, но в настоящее время уже представляет собой солидную и многообещающую отрасль селенографии. Особенно существенными являются работы советских астрофизиков Г. Г. Тюрка и В. Г. Фесенкова¹, английских селенографов Макдональда и Юнга. Статистика численности размеров и положения лунных кратеров открыла ряд важнейших закономерностей структуры Луны, которые до того совершенно не улавливались.

Так, в результате исследований Г. Г. Тюрка выяснено, что встречающиеся иногда ряды или цепочки лунных кратеров, возникающие благодаря их соседству или наложению

¹ Тюрк Г. Г. Соотношение между количеством и величиной кольцевых форм Луны (на нем. яз.). „Бюлл. наблюд. асс. Общ. люб. астрон.“ М., 1927, № 9, стр. 67—69; Тюрк Г. Г. Статистика кольцевых форм лунной поверхности. „Русск. астр. журн.“, 1925, т. 1, стр. 120—126; Тюрк Г. Г. К истории развития Луны. „Мироведение“, 1923, № 2 (45). В. Г. Фесенков. К вопросу о происхождении лунных форм. „Изв. Рус. астроном. о-ва“, т. 22, № 8, 1917, стр. 239—244.

друг на друга, имеют тенденцию располагаться в почти меридиональных направлениях таким образом, что для всей поверхности Луны может быть указан некий условный пункт — «полюс радиации», или «радиант», определяющий преобладающую группировку кратеров. «Полюс радиации» кратеров, по Г. Г. Тюрку, попадает в точку с селенографическими координатами $\lambda + 29^\circ$; $\beta - 61^\circ,5$ (или от лунного экватора $i 28^\circ, 5$; $Q 117^\circ,5$).

Кроме того, статистически доказаны тонкие различия и в формах кратеров, типичных для лунных гор и для равнин, установлены связи между величиной и числом кратеров, между величиной кратеров и характером их наложения друг на друга и т. д. Данные статистики будут использованы в дальнейшем в соответствующих местах. Здесь мы должны заметить вообще, что недостатком имеющихся статистических исследований лунного рельефа является абстрактно-математический ход анализа, не учитывающий различия в относительном возрасте сравниваемых образований. Результаты статистической обработки иногда получаются искаженными или неопределенными, именно благодаря смешению разнородных морфологических и возрастных групп исследуемого класса форм рельефа. Развитию статистических исследований мешает малочисленность новейших измерений размеров, высот, численности и других числовых характеристик отдельных форм. Вместо 10 000—15 000 зарегистрированных на Луне кратеров, лунная статистика вынуждена оперировать всего лишь 450—700 надежно измеренными цирками и т. д., что, разумеется, снижает достоверность ее заключений. Наука о природе Луны в настоящее время бесспорно выиграла бы, если бы множество наблюдателей обратило свои усилия не на визуальную регистрацию прежде не найденных деталей рельефа, лежащих на границе видности, а на тщательные измерения хорошо известных форм. Чтобы располагать не отдельными высотными отметками изолированных точек поверхности Луны, а возможностью вычислить высотное положение любого места, необходимо применить к изучению Луны приемы стереофотограмметрии. Для этой цели необходимо получить серию парных снимков Луны в одно и то же время с одинаковым значительным увеличением из двух удаленных пунктов, например в обсерваториях Симеиза и Алма-Аты.

Не только при визуальном наблюдении, но и на фотографических снимках бросается в глаза неодинаковая светлота различных деталей отдельных участков поверхности Луны. При одинаковых условиях освещения некоторые соседние детали области или отдельные детали лунной поверхности кажутся темными, а другие — более светлыми, до яркобелых.

Например на упомянутом выше рис 1, где мы только что занимались сравнением отношений отдельных форм лунного рельефа, ясно видна и неодинаковая светлота разных участков лунной поверхности. Обратим внимание в особенности на левый нижний угол снимка. Бросается в глаза неравномерная и густая темная окраска дна низкой равнины Моря Нектара по сравнению с соседними гористыми участками. Близ самого края в левом нижнем углу снимка находится знакомый нам грушевидно вытянутый контур цирка Гутенберга. Ясно заметна неравномерность тона его окрестностей, особенно вверх по краю снимка (т. е. к югу).

Определение отражательной способности (альbedo) поверхности Луны

Определение альbedo, или отражательной способности, как всей Луны в целом, так и разных пунктов ее поверхности является обычным фотометрическим методом, широко применяемым для изучения

природы Луны.

Фотометрические исследования поверхности Луны, в том числе и определения альbedo отдельных лунных местностей, были произведены В. Г. Фесенковым, Н. П. Барабашевым, В. В. Шароновым, А. В. Марковым, Вислиценусом, Целльнером, Гетцем, Пиккерингом, Ресселом, Вильзингом, Армеллини и другими¹.

Альbedo, как известно, выражается отношением общего отраженного потока света к падающему. Лишь у идеально отражающей (зеркальной или совершенно белой) поверхности альbedo может равняться единице. У всех остальных отражающих поверхностей, в зависимости от количества отражаемого света, значения альbedo достигают определенных долей единицы. Альbedo сферического тела, по определению Бонда, принятому в астрофизике, отвечает отношению совокупности солнечного света, отражаемого телом во всех направлениях, к количеству света, падающему на тело. Таким образом, альbedo Луны в целом может быть определено во время полнолуния. Определение альbedo производится с помощью различных фотометров (оптических и фотоэлектриче-

¹ Fesenkov V. Photometry of the Moon. „Astr. Jahresber.“, v. 30; Фесенков В. и Паренаго П. Некоторые фотометрические наблюдения Луны. „Русск. астрон. журн.“, т. 6, стр. 279—284; Marcov A. Les particularites dans la reflexion de la lumiere par la surface de la Lune. „Astr. Nachrichten“, 1924, v. 221, Ss. 55—78; Marcov A., Barabaschev N. Photometrische Untersuchungen der Mondoberfläche. „Astr. Nachrichten“, 1925, Ss. 129—144; Marcov A. The absolute photographic brightness of details of the Lunar Surface. „Astr. Nachrichten“, 1927, v. 231, pp. 57—68; Марков А. Фотографическая яркость и отражательная способность деталей лунной поверхности. „Русск. астрон. журн.“, 1927, т. 4, стр. 60—87+1 табл.+9 фиг.; Armellini-Conti Gabriella Armellini Giuseppe. Sopra l'albedine visuale dei Mari Lunari. „Rendiconti della R. Accad. Nazionale dei Lincei“. Classe Sci. fis. mat. e nat., vol. XXXIII, ser 5a fasc. II; Armellini G. I mare della Luna. „Astr. Nachrichten“, 1927, v. 229, p. 333.

ских или для визуального наблюдения) или микрофотометров (определяющих величину эффекта по негативам фотоснимков при прочих равных условиях). Среднее альbedo Луны теперь считают приблизительно равным 0,079 (прежние авторы принимали более высокие значения от 0,13 до 0,18); его значение меньше действительного, вероятно, на 0,02—0,03 ввиду теней от неровной поверхности. Предполагают, что большие тени от горных возвышенностей Луны в этом смысле имеют меньшее значение, чем тени от бесчисленных мелких неровностей, т. е. от степени шероховатости и раздробленности пород поверхности. Определения альbedo отдельных пунктов Луны дают возможность судить отчасти и о характере веществ (по темноте и светлоте окраски) и о физическом состоянии поверхности Луны (о степени раздробленности и шероховатости пород). Альbedo отдельных пунктов лунной поверхности иногда доходит до 0,10—0,13 (В. В. Шаронов, 1936). Но в общем поверхность Луны отражает, как это видно из среднего значения альbedo, всего 7—8% падающего на нее солнечного света; не менее 92% света поглощается ею. Таким образом, поверхность Луны является довольно тусклой, темноцветной и сравнима с видом серой земли, темноцветных лав, серых гнейсов и пр. (В. В. Шаронов, 1936¹). Поскольку фотографическое альbedo Луны несколько ниже визуального, предполагают, что правильнее говорить не о чисто сером, а о темном, коричневатом или желтовато- и красновато-сером тоне².

Сравнения альbedo лунных местностей с отражательной способностью различных веществ Земли, а также сопоставления других фотометрических данных привели к выводу, что породы, распространенные на поверхности Луны, по их отражательной способности ближе всего сравнимы с липаритовыми и базальтовыми лавами и их туфами; во многих случаях, особенно в области больших лунных равнин (так называемых морей), эти породы, по всей вероятности, находятся в сильно раздробленном состоянии (в виде россыпей, песка и пыли).

Существенно то обстоятельство, что результаты фотометрических исследований Луны безусловно не согласуются с предположением, высказывавшимся некоторыми селенографами, будто на поверхности Луны может встречаться (в условиях периодического сильного охлаждения поверхности и благодаря возможному наличию остатков атмосферы) вода или углекис-

¹ См. Шаронов В. В. Об определении абс. отражат. способности Луны и других планет. „Труды Гос. астр. обс. в Пулковке“, т. 6, 1936, стр. 26—33; Тихов Г. Цветная фотография пепельного цвета. „Изв. Росс. общ. люб. мироведения“, 1913, т. 11, № 7, стр. 155; Тихов Г. Окраска Земли и Луны. „Русск. астрон. ежегодн.“, 1925, 6 стр.

² Тихов Г. 1925; Рэссел, Дэган, Стюарт, 1935, т. 1, стр. 142.

лота, если не в жидком состоянии, то в виде снега и льда. Лунные альbedo настолько низки по сравнению с альbedo снегов и льда, что не может быть и речи о существовании на Луне жидких или замерзших озер, а также фирновых и ледяных шапок (твердой воды или углекислоты) сколько-нибудь заметной величины.

Предположение, будто снега и льды на поверхности Луны зачернены космической метеорной или вулканической пылью, не спасает эту неправдоподобную гипотезу; корка черной металлической пыли, накаляемой солнцем в течение дня, на Луне растопила бы льды быстрее, чем это происходит на Земле.

Очень интересная особенность отражения света луной выявлена Н. П. Барабашевым, а именно, что для любой лунной местности наибольшая яркость достигается в момент равенства углов падения и отражения. Эту особенность можно объяснить только крайней раздробленностью поверхности.

Перейдем теперь к рассмотрению второго остроумного астрофизического метода определения природы веществ, слагающих лунную поверхность, — метода поляризации. В настоящее время этот метод сделался обычным средством исследования физической природы Луны. Явление поляризованности света, отражаемого поверхностью Луны, было открыто в 1811 г. французским физиком Домиником Франсуа Араго. Поляризация лунного света изучалась также Биртом, Бондом, Гюггинсом, а также Секки и Россом. Последний определил угол максимальной поляризации и на этом основании в 1877 г. высказал предположение, что вещества поверхности Луны ближе всего сходны с земными вулканическими стеклами. В еще более ясной форме идея применения метода поляризации для сравнительно-петрографических целей была уже раньше, в 1873 г., высказана русским физиком Ф. Ф. Петрушевским в его замечательном «Плане физического исследования Луны».

Практически и теоретически поляризационный метод вслед за Петрушевским был разработан в 1899—1910 гг. французским физиком Ж. Ландерером, работавшим в Испании¹.

¹ Петрушевский Ф. План физического исследования поверхности Луны. „Прот. Русск. физ.-хим. общ.“ 1873 г., стр. 9—28; см. также статью в „Astr. Nachrichten“, 1877, v. 9, p. 207; Landerer José. Замечка в „Cronica Scientifica Barcelona“. 1881; Landerer J. J. Sur l'angle de polarisation de la Lune. „Comptes-rendus Acad. Sci. Paris“. 1889, v. 109, pp. 360—362; Landerer J. J. Sur la polarisation de la lumière lunaire. „Comptes-rendus Acad. Sci. Paris“, 1910, v. 160, pp. 1164—1165; Landerer J. J. Sur la polarisation de la lumière lunaire. „Comptes-rendus de l' Acad. Sci. Paris“, 1910, v. 150; Landerer J. J. Sur l'angle de polarisation des roches ignées et sur les premières déductions sélénologique qui s'y rapportent. „Comptes-rendus“, 1890, v. III, pp. 210—212.

Сущность метода основана на том, что при отражении света происходит бо́льшая или меньшая его поляризация.

Зависимость между углом наибольшей поляризации, показателями преломления и поверхностью веществ

Максимальная поляризация наступает под определенным углом, особым и характерным для каждого вещества. Для воды, например, этот угол наибольшей поляризации равен $53^{\circ} 8'$, для обыкновенного стекла $56^{\circ} 50'$, для флинтгласа $58^{\circ} 19'$.

Разность эффекта поляризации зависит и от характера поверхности отражающего вещества; гладкие зеркальные поверхности дают полную поляризацию с узким резким максимумом, позволяющим точно определять соответствующий угол, тогда как матовые, пруго шероховатые и порошковатые поверхности, диффузно отражающие свет, понижают эффект так, что максимум частичной поляризации является как бы размазанным и не позволяет измерить соответствующий угол точно.

Тангенс угла полной или частичной максимальной поляризации, как известно, равен среднему показателю преломления данного вещества.

Это обстоятельство позволяет произвести сравнение веществ поверхности планет с минералами и горными породами Земли, поскольку определение минералов по их показателям преломления является обычным приемом в петрографии.

Угол наибольшей поляризации лунных равнин. Сравнение с земными породообразующими минералами

Изучая поляризацию света, диффузно отражаемого большими равнинами (морями) Луны, Ж. Ландерер нашел, что максимум поляризации наступает, когда падающие солнечные лучи образуют с отражающей поверхностью лунных равнин угол около $33^{\circ} 17' \pm 7'$. Беря дополнительный к этому угол отражения ($56^{\circ} 43' \pm 7'$) или, что то же, беря в формуле закона Брюстера вместо тангенса котангенс угла $33^{\circ} 17' \pm 7'$, получим, что показатель преломления вещества лунных равнин близок к 1,51—1,53.

Среди породообразующих минералов Земли в этом интервале показателей преломления находятся средние и частью кислые вулканические стекла, калиевые полевые шпаты, альбит, лейцит, цеолиты, бораты, сульфаты вулканических выцветов, халцедон, гипс и минералы глин.

Кварц (1,54) и каменная соль тоже мало отличаются по показателю преломления.

Но нам важно иметь в виду, что лед (1,309), опал (1,43 — 1,46), сода (1,42) и квасцы (1,45), с одной стороны, а с другой — все карбонаты, от кальцита (1,65) до сидерита (1,85), равно как и группа оливиновых минералов (1,72), безусловно не подходят для сравнения.

Эмпирический характер сравнения. Поляризационные свойства горных пород Земли

Короче говоря, выходит, что вещество лунных равнин ближе всего сравнимо с веществом вулканических пород. Однако в действительности выводы не могут быть сделаны столь просто. Ведь не приходится думать, что значительные площади поверхности Луны состоят из одного и того же минерала или из мономинеральных пород. С другой стороны, эффект поляризации при отражении от поверхностей горных пород, состоящих из зерен разных минералов, пока не может быть теоретически предсказан и вычислен из их состава; его приходится эмпирически определять в каждом данном примере. Вообще говоря, вероятно, что суммарный угол наибольшей поляризации сложных горных пород зависит от преобладания породообразующих минералов с теми или иными показателями преломления. Непосредственные аналогии среди земных горных пород приходится отыскивать опытным путем, исследуя поляризацию земных горных пород с помощью одного и того же инструмента.

Пользуясь фотополариметром Корню, Ж. Ландерер нашел, что по углу максимальной поляризации с породами лунных равнин ближе всего сходны витрофиры, т. е. кварцевые порфиры и липариты со стекловатой основной массой.

Углы максимальной поляризации отражаемого света, характерные для различных земных горных пород, по данным Ж. Ж. Ландерера

| | | | |
|----------------------------|-------------|-------------------------------|-------------|
| Офит | 30°51' ± 4' | Микрогранулит | 32°24' ± 5' |
| Амфиболит | 31°0' ± 5' | Диорит | 32°40' ± 3' |
| Сиенит | 31°34' ± 3' | Диабаз | 32°47' ± 3' |
| Базальт | 31°43' ± 3' | Андезит | 32°50' ± 1' |
| Базанит | 31°58' ± 3' | Кварцевый порфир | 32°52' ± 5' |
| Серпентин | 32°10' ± 2' | Керсантит | 33° 6' ± 4' |
| Лептинит | 32°14' ± 5' | Витрофир (с Родоса) | 33°10' ± 2' |
| Гранулит | 32°16' ± 5' | Гиаломелан | 33°39' ± 2' |
| Трахит | 32°16' ± 4' | Обсидиан | 33°46' ± 2' |
| Порфир аггитовый | 32°22' ± 4' | Гранит | 32°20' ± 5' |

Размытость максимума кривых поляризации лунного света

Дальнейшие исследования советского астрофизика Н. П. Барабашева и других показали, что практически нельзя наставить, как это делал Ландерер, на точности сопоставления поляризационных свойств вещества Луны с земными породами. На основании определения угла наиболь-

шей поляризации Н. П. Барабашев доказал, что максимум кривой поляризации света, отражаемого поверхностью лунных равнин, является довольно плавным и положим, как бы размытым. Как мы уже говорили, этого и следовало ожидать, ввиду диффузного рассеяния света от неровной обломочной шероховатой поверхности неоднородного или сложного минерального состава. Интервал максимальных значений наибольшей поляризации света, отражаемого морями Луны, по Барабашеву, захватывает целых два-три градуса.

Сомнения в точности данных Ландерера тем более возможны, что фотополяриметр Корню, которым он пользовался, не может считаться вполне совершенным прибором, подходящим для таких целей.

Фотополяриметр Корню заключает в себе диафрагму с прямоугольным отверстием и двоякопреломляющую призму Волластона, дающую два смежных изображения отверстия, относительный блеск которых можно варьировать с помощью николя. Главные ошибки систематического порядка, получающиеся при наблюдениях с фотополяриметром Корню, по Лио, происходят, если глаз наблюдателя не находится точно в центре окуляра или если отверстие поляриметра не освещается совершенно равномерно (что в случае наблюдения участков поверхности планет трудно осуществить).

Новейшие способы сравнения В настоящее время принято, при сравнении с земными породами, не столько основываться на значении угла максимальной поляризации, сколько на более надежном сопоставлении всего хода кривой поляризации, а также на значении альбеда. Впервые этим способом стал, сколько нам известно, систематически пользоваться Н. П. Барабашев, который пришел к заключению, что характерные для лунных морей темные породы вполне аналогичны земным базальтовым лавам и находятся по всей вероятности в мелкообломочном состоянии¹.

Наиболее полные новейшие исследования поляризационных особенностей пород лунной поверхности принадлежат астроному Медонского филиала Парижской обсерватории Б. Лио. Лио пользуется более совершенным поляриметром собственной конструкции, представляющим видоизменение поляриметра Савара.

Степень поляризации лунного света в общем весьма значительно и закономерно изменяется в различных фазах Луны

¹ См. Barabashev N. Ueber die Reflexion des Lichtes an der Mondoberfläche und an porösen Flächen. „Astr. Nachrichten“, 1924, vol. 221, Ss. 289—298; Barabashev N. Polarimetrische Beobachtungen an der Mondoberfläche und an Gesteinen. „Astr. Nachrichten“, 1926, Bd. 229, N 5473, Ss. 14; Барабашев Н. Спектрофотометрическое исследование лунной поверхности. „Русск. астр. журн.“ 1925, т. 1 (3—4), стр. 44—57; Барабашев Н. Луна, большие и малые планеты с астрофизической точки зрения. См. сб. „Наука в СССР за 15 лет“ (1917—1932 гг.), 1932, стр. 113—128; Барабашев Н. Про склад поверхні місяця. „Вісн. природозн.“ 1928, № 3—4.

в зависимости от угла, образуемого между направлениями световой нормали, идущей от Солнца к поверхности Луны и отраженной от поверхности Луны к наблюдателю. Угловое положение Солнца и Земли относительно наблюдаемой поверхности Луны от 0 в полнолуние до 180° откладывают по оси абсцисс графика поляризации. В качестве оси ординат принимают степень поляризованности света в тысячных долях согласно отсчетам круга делений поляриметра.

Поляризация света считается положительной, если лучи поляризованы в плоскости параллельной, или отрицательной — когда в плоскости нормальной к плоскости зрения.

Характер кривых поляризации лунного света. Различия кривых разных фаз Луны

Исследования Лيو показали, что при малых углах зрения ($0-23^\circ$), по терминологии Лيو, т. е. углах фазы, наблюдается небольшая отрицательная поляризованность лунного света, синусоидально увеличивающаяся до -12 тысячных, затем убывающая и сменяющаяся более или менее резкой положительной поляризацией. Максимальных значений положительная поляризация лунного света достигает между $70-80$ и 120° угла зрения, следовательно, во время квадратур. Любопытно, что в интенсивности поляризации возрастающей и убывающей Луны имеется большое различие (66 и 88 тысячных).

Разница эта объясняется вдвое большей долей площади, приходящейся на моря в освещаемой части Луны последней четверти. Кроме того, существует известное различие общего вида кривой поляризации увеличивающихся и убывающих фаз Луны; кривая поляризации во время последней четверти Луны на $110-120^\circ$ угла зрения падает гораздо более резко и круто, по сравнению с плавным понижением кривой молодых фаз Луны. Такое изменение кривой совпадает с положением близ терминатора темных областей Моря Облаков и Моря Дождей (Б. Лيو, 1929, р. 41) ¹.

Поляризационные особенности горных областей и областей морей Луны

Степень поляризованности света отдельных областей лунной поверхности значительно отличается от общего среднего максимума поляризации света Луны.

Наибольшим поляризационным эффектом обладают некоторые участки морей; так, например, по данным Лيو, в первой четверти Луны, южная часть Моря Нектара дает максимум $+121\frac{0}{100}$ поляризованного света, южная часть Моря Кризисов $+147\frac{0}{100}$, Море Плодородия (к востоку от Мессье) $+140\frac{0}{100}$, Море Спокойствия (к северу от Маскелина) $+160\frac{0}{100}$, Море Дождей (к северо-востоку от

¹ Lyot B. Recherches sur la polarisation de la lumière des planètes et de quelques substances terrestres. „Ann. de l'observ. de Paris Sect. de Meudon.“, t. 8, fasc. I, 1929, IX+161 pp.

Леверрье) в последней четверти Луны $+155\%$, темные пятна между Эратосфеном и Местлингом $+170\%$ ¹. Вместе с тем поляризационный эффект отдельных участков морей и наиболее неравномерен. Самые светлые горные области Луны, наоборот, близки по максимуму эффекта к среднему максимуму всей Луны, причем степень поляризации отдельных участков довольно одинакова.

Возможная связь различий поляризации с альбедо, состоянием и составом пород

Существует известная связь степени поляризационного эффекта с значениями альбедо пород отдельных местностей Луны.

Приходится думать, что интенсивность и равномерность поляризационного эффекта, различные в разных ландшафтных областях Луны, зависят как от степени раздробленности вещества, так и от минерального состава пород. Возможно, что в области морей встречаются участки сравнительно свежих неразрушенных поверхностей горных пород (новые излияния лав) наряду с площадями тонкораздробленных песчаных и пылевых масс. Как мы уже говорили, есть основания полагать, на что указывает вся совокупность результатов имеющихся способов физического исследования Луны, что области морей по преимуществу сложены более темными основными лавами и продуктами их раздробления и физического выветривания, тогда как светлые гористые районы состоят главным образом из россыпей и выходов более кислых светлоокрашенных лавовых пород. В таком случае возможно думать, что среди элювиальных продуктов разрушения кислых и основных лав могут преобладать неодинаковые по составу обломочные массы разных минералов с неодинаковыми средними размерами и неодинаковым идиоморфизмом кристаллических зерен, что также может обусловить различия в интенсивности поляризационного эффекта.

Доказательства зависимости поляризационного эффекта от размеров и формы зерен

Лабораторные эксперименты, произведенные над земными химическими соединениями, минералами и породами, показали, что степень и характер поляризационного эффекта, функционально изменяющиеся в зависимости от угла зрения, зависят не только от состава вещества (и связанных с ним коэффициентов преломления, поглощения света и пр.), но также от размеров и от формы зерен. Для предполагаемых условий поверхности Луны фактор формы зерен, т. е. их окатанность, как увидим ниже, не имеет значения. В отношении влияния размеров зерен подтверждаются прежние заключения Барабашева, что с более тонким раздроблением вещества резкость максимума поляризационного эффекта понижается.

¹ Лио Б. Цит. соч., стр. 45.

Сравнение кривых поляризации горных пород Земли

Лио исследовал кривую поляризации мела, глин, песков, свинцового блеска, магнетита, пирита, порфиоров, гранита, базальта, лав и вулканического пепла Везувия. Кривая поляризации двух образцов порфиоров имеет довольно пологий клиновидный асимметричный вид; максимум поляризации, доходящий до 450% , наблюдается между 120° и 150° угла зрения. Кривая гранита и аркозовых песчаников вначале с небольшими отрицательными значениями является плавной изогнутой и быстро возрастает до максимума в 170% ($140 - 220\%$) между $120 - 140^\circ$ угла зрения, а затем еще более круто падает к 170° угла зрения до $40 - 50\%$. Кривые поляризации лав Везувия несколько варьируют в зависимости от пористости или стекловатости их сложения. У грубо пористых лав вначале наблюдается довольно глубокая негативная инверсия кривой, максимум поляризации смещен к меньшим углам зрения и относительно низок. У стекловатых лав, напротив, максимум поляризации более высок (см. рис. 3, А и Б).

Сходство поляризационных свойств поверхности Луны и вулканических пеплов

Наибольшее сходство с поляризационными свойствами веществ лунной поверхности, по наблюдениям Лио, обнаруживают вулканические пеплы Везувия. Кривые поляризации вулканических пеплов начинаются довольно глубокой негативной инверсией, затем плавно и полого возрастают до широкого максимума (в $60 - 70\%$), лежащего между $70 - 140^\circ$ угла зрения. Размах кривых значительно меняется в зависимости от величины альбедо.

В результате экспериментов Лио приходит к заключению, что поверхность Луны, судя по поляризационным свойствам, покрыта вулканической пылью, очень близкой к земным вулканическим пеплам (рис. 4, А и Б). Лио возражает против заключений Барабашева о сходстве лунных веществ непосредственно с лавами, но нельзя не признать, что исследованный им материал недостаточен, не охарактеризован петрографически и, кроме того, не вычислен угол максимальной поляризации, на чем основывались Барабашев и Ландерер. Возражения Лио едва ли правильны, так как он имеет в виду среднюю кривую поляризации Луны, т. е. главным образом свойства лунных равнин (а не лунных гор), где и следует предполагать покрытую пеплами, а не скалистую поверхность. Лунные хребты и острые высокие вершины не могут состоять только из пеплов.

Выдающийся интерес представляет сравнение поляризационных свойств лунной поверхности с поверхностями других планет. Здесь мы подчеркнем и примем к сведению, что, по заключению Лио, имеется поразительное сходство поляризационных свойств поверхности Луны и Меркурия.

**Перспективы
дальнейшего
развития поляри-
зационного мето-
да исследования
Луны**

Некоторые особенности эффекта поляризации, в частности явление негативной инверсии, пока еще остаются неразъясненными. Не вполне разрешены также и разногласия между отдельными исследователями в отношении оценки абсолютного значения степени поляризованности лунного света (Лию и Росс получали

А

Б

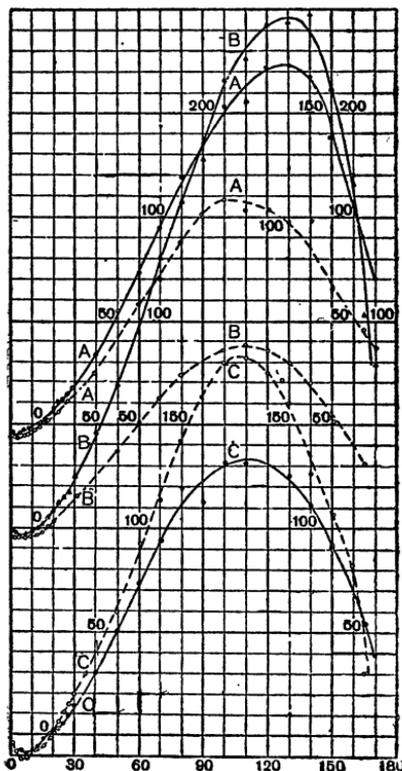
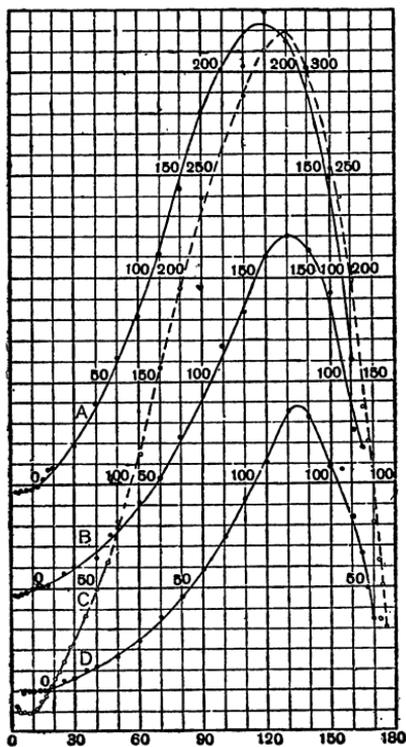


Рис. 3, А и Б. Кривые поляризации света при отражении от некоторых земных горных пород (по Б. Лио).

А. Кривые поляризации по образцам кварцевого песчаника (D, альbedo 0,347; C, альbedo 0,015), гранита (B, альbedo 0,14) и базальта (A, альbedo 0,08).

Б. Кривые поляризации по образцам лав Везувия (A, B, C — образцы в кусках; A, B, C [пунктирные] — в порошок). Одно деление отвечает 10% поляризации.

втрое меньшие значения по сравнению с цифрами Барабашева и Ландерера).

Явление негативной поляризации при малых углах фазы не подтверждается В. Г. Фесенковым и О. П. Крамер (1941 г.).

Так или иначе ясно, что вещества поверхности Луны весьма сходны с наиболее распространенными вулканическими породами поверхности Земли.

Дальнейшее усовершенствование метода пойдет по линии более систематического изучения поляризационных особенностей горных пород Земли и по пути улучшения техники наблюдений. Здесь открывается необозримое поле для совместной работы астрофизиков и петрографов. Крайне желательно произвести серию фотоснимков определенных участков поверхности Луны в поляризованном свете (под разными углами зрения). Эти снимки дадут возможность точно изучить связь распределения веществ с рельефом Луны. Подобные исследования начаты у нас в СССР в Государственном астрономическом институте имени П. К. Штернберга Ю. Н. Липским.

Изучение окраски лунных местностей с помощью цветной фотографии

Интересные данные были получены при изучении цветных оттенков

лунной поверхности с помощью фотографии. Непосредственно глазу (даже при сильном увеличении) поверхность Луны кажется совершенно однообразной, лишенной сколькибудь заметных цветовых различий. Из числа опытных наблюдателей, кажется, лишь Медлер замечал, что Море Ясности и Море Кризисов имеют зеленоватый оттенок. Бледный грязноватый желто-зеленый цвет, по его мнению, характеризует Море Холода. Окраска Болота Сна кажется своеобразно желтой с красноватым оттенком в немногих местах.

Приведя эти указания Медлера, другой знаток Луны

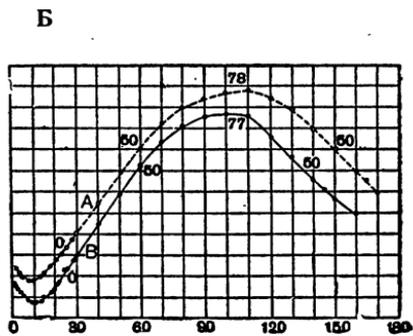
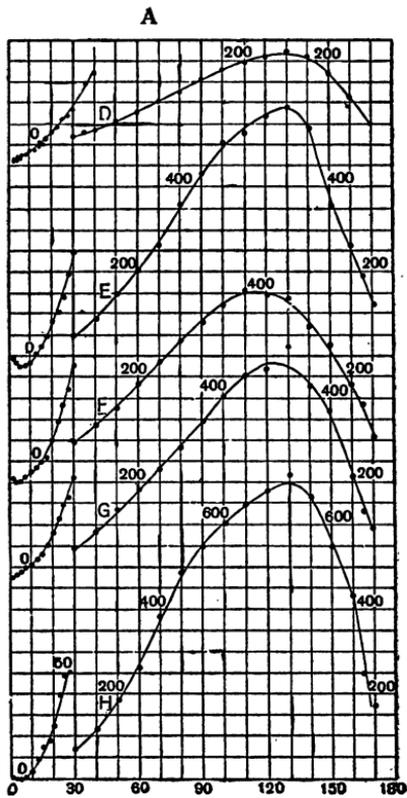


Рис. 4, А и Б. Кривые поляризации света при отражении от земных вулканических пеплов и лав (по Б. Лию).

А. Кривые поляризации света по образцам лав Везувия.
D—серая лава, альbedo 0,15. E—черная лава, альbedo 0,086.

Б. Средние кривые поляризации земных вулканических пеплов (А—альbedo 0,13) и поверхности Луны (В).

Ю. Франц писал: «Я, хотя и не страдающий цветной слепотой, до сих пор никогда не мог увидеть на Луне различных цветов. Поэтому я сомневаюсь в их реальности. Мне только очень яркие кратеры, как Аристарха и Диониса, постоянно кажутся синеватыми; вероятно, это происходит вследствие контраста с остальной желтоватой поверхностью»¹.

Тем не менее, наличие слабоуловимых цветовых различий было подтверждено в 1922 г. А. Ф. Варсом. Кратер Клавий, по Варсу, имеет розоватый оттенок. К западу от Клавия наблюдаются коричневые пятна на голубоватом фоне. На южных склонах кратера Магиниуса заметна более яркая зеленоватая окраска. Т. Дж. Харгривс² считает, что реальность цветовых оттенков на Луне непосредственно подтверждается обычной цветной фотографией. Харгривс на пластинках Агфа в 1922—1923 гг. получил цветные снимки Луны, где заметен оранжево- и зеленовато-желтый оттенок кратера Аристарха, более или менее коричневатая окраска Моря Ясности и Моря Спокойствия (причем в Море Ясности коричневая область на юге и юго-западе окаймлена узкой оливково-зеленой лентой), оливково-зеленый цвет Кавказа, пятнистая оливковая и буроватая окраска Моря Дождей. Визуальные данные, как видим, противоречивы. Однако наличие очень слабых цветовых различий на Луне подтверждается более точными способами количественного определения окраски.

В селенографии принято для колориметрических целей пользоваться спектрофотометром. Результаты спектрофотометрических определений для поверхности Луны принято выражать так же, как и для звезд, в виде так называемых эффективных или цветовых температур (в градусах шкалы абсолютной температуры). Таблицы «цветовых температур», выведенные для холодной твердой Луны и в среднем равные 4 100—4 700°, в данном случае являются только условными обозначениями цветового оттенка, заимствованными из теории излучения абсолютно черного тела.

Точная мера цветности света Луны, или так называемый колор-индекс Луны (определяемый разностью между визуальной и фотографической интенсивностью светлоты), имеет положительное значение, близкое к $1/18'$ (в единицах принятого в астрофизике светового отношения), т. е. соответствует цветовой температуре порядка 4 000° абсолютной температуры.

¹ Франц Ю. Луна, 1923, стр. 104.

² Warth A. F. Colour observations of the Moon. „Nature“, v. 110, 1922, p. 106; Hargreaves T. J. An attempt to determine the colour of the Lunar Surface by Direct Colour Photography. „Journ. Brit. Astronom. Ass“. 1923—1924, v. 34, N 6, pp. 243—245.

В переводе на язык реальности этот результат дает понять, что поверхность Луны в общем серая, как мы уже говорили, имеет очень слабый красновато-желтый или коричневатый оттенок.

Сравнительные определения «цветовых температур» земных горных пород, произведенные разными авторами, показали, что к лунным породам, повидимому, ближе всего подходят лейцитовые базальты (4 000°), вулканические пеплы Везувия (4 200—4 900°), кварцевые порфиры (4 000—5 000°), но основываться на этих тонких оттенках цветности едва ли представляется возможным.

Интересные результаты дает применение к изучению физической природы Луны методов сенсibilизированной фотографии в ультрафиолетовых лучах.

Изучение окраски лунных местностей с помощью фотографии в ультрафиолетовых лучах

Р. Вуд¹ обнаружил на лунной поверхности пятно в области, пограничной между Морем Дождей и Океаном Бурь, около кратера Аристарха.

В ультрафиолетовом фильтре это «пятно Вуда» кажется почти черным. На поверхности Луны теперь найдено довольно много подобных мест, чернеющих в ультрафиолетовых лучах.

Сравнение лунных веществ, чернеющих в ультрафиолетовом свете, с веществами Земли

Это явление может помочь определить природу веществ лунной поверхности, поскольку некоторые почти неокрашенные породы и минералы Земли, при обычном освещении кажущиеся одинаково белыми, тоже поглощают ультрафиолетовые лучи.

В технике, при помощи кварцевой лампы, хорошо различают покраску разными белилами; некоторые белые пигменты, как гипс, тальк, свинцовые белила, мел, остаются довольно светлыми, тогда как другие, например, сера, цинковые белила, барит, асбест, глины, гидрат кальция сильно сереют. На этом основании Р. Вуд считал, что пятно около кратера Аристарха, чернеющее в ультрафиолетовых лучах, следует объяснять наличием обильных выцветов серы на вулканическом туфе. Это объяснение, однако, неудачно, так как сера имеет совсем иной угол максимальной поляризации.

Все распространенные в природе минеральные краски также кажутся в ультрафиолетовом свете очень темными. Железные краски (охры, сиены, ультрамарины) в ультрафиолето-

¹ Wood R. W. Moon in ultra-violet Light. John Hopkins' Univ. circulars (N. Ser.), N 2, 1910, pp. 8—9; Wood R. W. The Moon in ultra-violet Light and Spectroselenography. One plate. „Monthly Notices R. Astr. Soc.“, 1910, v. 70. pp. 226—228, „Popular Astronomy“, v. 18, 1910 pp. 67—72+pl.; Wood R. W. Selective absorption of light on the moon-surface and lunar petrology. „Astrophys. Journal“, 1912, v. XXXVI, p. 75.

вых лучах становятся почти черными. Некоторые пигменты, как титановые белила, в ультрафиолетовом свете флуоресцируют. Весьма существенен тот факт, что малейшая примесь минеральных красок, содержащих окиси и закиси железа и марганца, резко усиливает абсорбцию ультрафиолетовых лучей и может замаскировать различия в составе-самых пород. Можно с большой вероятностью предполагать, что те области лунной поверхности, которые резко темнеют в ультрафиолетовом фильтре, богаты охристыми окислами железа.

Фотокарты распределения окрасок на поверхности Луны. Применение фильтров, пропускающих ультрафиолетовые и видимые фиолетовые лучи, в сравнении с приведенными выше спектрофотометрическими наблюдениями, привело к выводу, что некоторые лунные местности, в том числе и «пятно Вуда», имеют слегка красноватую окраску. Другие участки поверхности Луны, напротив, темнеют в оранжевых фильтрах, т. е. определенно имеют зеленоватые тона.

С помощью тщательно разработанной техники сенсibilизации А. Митэ и Б. Зеегерт дали общие карты распределения окрасок на видимой части поверхности Луны. На одной из карт оранжево-красным цветом дано сенсibilизированное изображение оттенков окраски, обнаруживаемых в ультрафиолетовом — фиолетовом фильтре. На другой карте зеленоватыми тонами показаны оттенки, регистрируемые оранжевым фильтром (см. рис. 5).

Закономерности селенографического распределения окраски на поверхности Луны Распределение площадей красноватых и зеленоватых оттенков окраски на поверхности Луны весьма поучительно со сравнительно-геологической точки зрения. В пределах видимого полушария Луны наиболее интенсивно зеленоватые и красноватые пятна тяготеют к поясу больших равнин (морей) и особенно распространены в северо-западном квадранте лунного диска. Напротив, в наиболее возвышенных и неровных высокогорных областях ближе к южному полюсу Луны цветные пятна редки, обычная окраска поверхности является почти чисто-белой или серо-белой.

Участки зеленоватых оттенков окраски на Луне располагаются довольно закономерно. Наиболее интенсивно зелеными являются пятна около середины лунного диска к юго-западу от кратера Коперника. Довольно яркое зеленое кольцо, включающее горные массивы лунного Тавра, гор Гема и Апеннин, охватывает с юго-запада равнину Моря Ясности. Интенсивно зеленым оттенком здесь в особенности отличаются окрестности цирка Лемонье. На юго-запад от упомянутого зеленого кольца берегов Моря Ясности тянется широкий неправильный шлейф зеленоватой окраски, захватывающий главным образом обширные равнины Моря Спокойствия и Моря Плодородия. Что

зеленоватая окраска здесь, в отличие от области Моря Ясности, приурочена именно к равнинам, а не к горным массивам, доказывається примером больших соседних зеленоватых пятен, довольно точно совпадающих с очертаниями Моря Кризисов и Моря Нектара. В противоположной западной окраине лунного диска имеется чрезвычайно крупное зеленоватое пятно неправильного очертания в области северо-восточного побережья Океана Бурь и западной части Моря Дождей. Зеленоватые оттенки окраски местами встречаются и в южных частях Моря Влажности и Моря Облаков. По Ю. Францу, область Южного Моря, лежащая на границе видимого диска Луны в

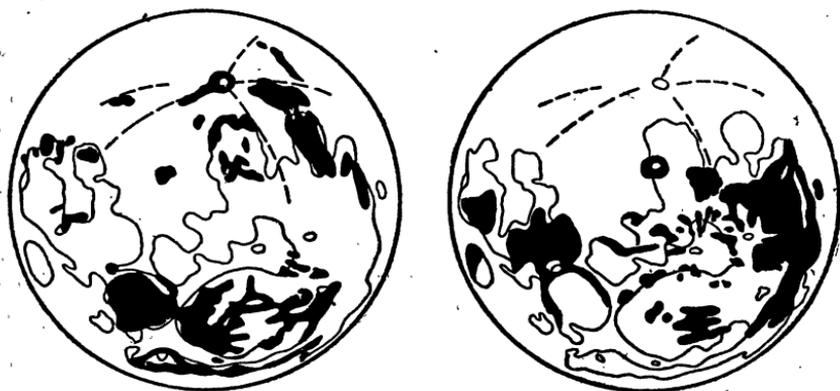


Рис. 5. Распределение окрасок горных пород на Луне, по двухцветным сенсibilизованным снимкам Миме и Зеегерта (из Л. Н. Радловой, 1940).

На левом рисунке отмечены красноватые области, на правом — зеленоватые. Обратите внимание на красноватую окраску венца лучей кратера Тихо и на обширнейшие площади зеленоватых цветов новейших лавовых излияний в Океане Бурь.

юго-восточном квадранте (к юго-востоку от цирка Янсена), тоже отличается зеленоватой окраской.

Красноватый оттенок окраски характерен для равнинной низменности Моря Ясности (круг красноватой окраски здесь, как мы уже отметили, вплотную охвачен дугой зеленых оттенков). Отсюда на северо-восток распространяется обширное поле ясных зеленоватых тонов, занимающее северную часть равнины Моря Дождей, Залив Радуги и восточные окраины Океана Бурь, включая цирк Гримальди и горные районы к востоку от Залива Росы; о красной окраске пятна Вуда, близ кратера Аристарха, уже говорилось. В северном поясе лунного диска выделяются красные пятна к северо-северо-востоку от Моря Ясности. Высокогорные возвышенные пространства южной половины Луны, особенно кратерные массивы в юго-восточном квадранте диска, являются слабокрасноватыми.

Среди них выделяются более яркий красный оттенок кольцевого вала гигантского кратера Тихо де Браге и, что особенно любопытно, нескольких его северо-западных лучей. Район Рифейских гор, в промежутке к северу от Моря Влажности и Моря Облаков, имеет красноватый оттенок. Рядом с Рифейским хребтом находится красное пятно цирка Эвклида. Отдельные мелкие красноватые пятна выделяются также южнее Моря Ясности в районе гор Гема, около цирка Манилия и других. Было бы очень важно получить в будущем более детальные цветные снимки отдельных лунных местностей.

Очень существенно то обстоятельство, что вершины самых высоких и узких кратерных колец среди пояса равнин (в области Океана Бурь и пр.), а также венцы лучей, кажущиеся невооруженному глазу яркobelыми, действительно имеют чистобелый или сероватый цвет.

Слабая цветность поверхности Луны и возможные причины ослабления видимости действительной окраски

Прежде чем перейти к оценке возможного значения этих данных, необходимо еще раз подчеркнуть, что речь все время идет о чрезвычайно слабых проявлениях окрашенности участков поверхности Луны. Повторяем, что, по мнению большинства опытных наблюдателей, поверхность Луны представляется глазу почти совершенно лишенной цветных оттенков, которые выявляет только сенсibilизованная цветная фотография.

Многие авторы представляли себе на этом основании безжизненный и темноцветный ландшафт лунной поверхности совершенно не окрашенным, чистосерым. Казалось, что мир Луны в действительности таков, каким он запечатлен на фотопластинке или каким видят мир Земли дальтоники. Однако легко понять, что в данном случае, когда речь идет об оценке степени цветности огромной освещенной поверхности, видимой с колоссального расстояния через фильтр всей земной атмосферы, необходимо считаться с неизбежным крайним ослаблением эффекта цветности.

Известно, что отдельные мелкие участки поверхности, различно окрашенные, сливаясь между собою, на огромном расстоянии могут прежде всего дать эффект ослабления цветности.

Ощущение цветности окрашенных объектов, освещенных очень сильным источником белого цвета, вообще резко слабеет с расстоянием.

Кроме того, мощным ослабителем цветности окрашенных поверхностей является фильтр земной атмосферы.

Мы можем поэтому допустить, что поверхность Луны в действительности является не столь уже однообразно серой, лишенной всяких цветовых оттенков, какой она нам кажется с расстояния в шестьдесят земных радиусов. Тем не менее

бледная расцветка ее, пускай и более яркая, чем она нам кажется, все же гораздо слабее цветового разнообразия поверхностей нескольких других планет (например Марса, Юпитера и пр.) и несравненно слабее обычных цветовых различий нашей Земли.

Яркие природные окраски пород Земли как результат гипергенного выветривания

Мы не должны забывать, что наиболее обычные цвета среди разнообразных ярких окрасок горных пород Земли возникают в условиях выветривания пород, особенно благодаря окислению соединений железа.

Подавляющее большинство изверженных горных пород, в особенности эффузивных, в совершенно свежем изломе является слабо цветными, более или менее черными или серыми. Черные основные лавы и светлые кислые лавы становятся окрашенными (красными, фиолетовыми, буро-желтыми и зелеными) благодаря выветриванию или под влиянием метаморфизма на глубине (хлоритизация и пр.).

Таким образом, сравнительно слабая расцветка лунной поверхности вполне удовлетворительно объясняется отсутствием воды и атмосферы на Луне.

Цветные оттенки на Луне могут быть связаны с распределением соединений железа

Если взглянуть на распределение цветовых оттенков поверхности Луны с геологической точки зрения, возможно предположить, что появление зеленых и красноватых оттенков здесь тоже вероятнее всего связано с большим или меньшим распространением обычных в природе соединений железа как в самом составе пород (по содержанию богатых железом темноцветных фемических минералов), так и в покрывающих поверхность красящих пигментах.

Из сличения данных альбедо и данных распределения окраски на Луне видно, что сколько-нибудь заметным разнообразием цветности обладает пояс великих лунных равнин-морей и окружающих хребтов, т. е. области развития наиболее темных черно-серых пород лунной поверхности. Светлые кратерные гористые области южного полушария Луны, равно как и венцы кратерных лучей, а также одиночные самые высокие пики кратеров среди равнин почти лишены цветовых оттенков, т. е. имеют чистосерую или бело-серую окраску. Это обстоятельство хорошо согласуется с предположением, что светлые гористые области Луны состоят преимущественно из бедных железистыми минералами кислых лав, а темные и более расцветченные пространства пояса лунных равнин сложены богатыми соединениями железа основными лавами. Известно, что железистые темноцветные минеральные компоненты лав (пироксены и пр.) в невыветрелом состоянии имеют в массе серо-зеленые или черно-зеленые окраски.

**Возможная связь
цветовых различий
с составом
и относительным
возрастом лунных
образований**

Можно предложить рабочую гипотезу, пока подтверждающуюся наблюдаемыми фактами, что цветность лунной поверхности должна быть по преимуществу приурочена к областям распространения более темноцветных пород, причем среди этих различий цветности преобладающим первичным типом должны считаться зеленоватые оттенки. Переходы зеленоватой окраски в красноватую с этой точки зрения могут зависеть не столько от изменений в составе пород, сколько от естественных процессов окисления (от перехода зеленых закисей железа в красные окиси). Красноватые оттенки в более расцветченном поясе морей Луны могут быть локальным признаком относительной древности поверхностных образований красноватой окраски по сравнению с зеленоватыми, предполагая, что красноватые оттенки на Луне являются следами действия химического выветривания (в широком смысле слова). Можно связывать их образование с окислением в процессе автопневматолита при извержениях (за счет выделявшихся масс вулканических газов и водяного пара) или же с последующим гипергенным выветриванием, произведенным остатками лунной атмосферы. Возможно допустить, что процессы окисления под влиянием вулканического автопневматолита или поверхностного выветривания могли проявляться главным образом не в скалистых массивах, а в пылеватых площадях, покрытых пеплами или превращенных в щебенку, т. е. главным образом в депрессиях лунного рельефа.

Эти вопросы еще будут обсуждены ниже. Здесь необходимо остановиться на некоторых неиспользованных возможностях физического исследования природы Луны.

**Перспективы
применения
спектрального
анализа поверх-
ности Луны в
связи с явления-
ми люминисцен-
ции минералов
в ультрафиолето-
вых лучах**

В качестве примера можно прежде всего указать на неиспользуемые возможности спектрального анализа поверхности Луны, основанные на люминисценции некоторых пород под действием ультрафиолетовых лучей. Физикам и минерологам хорошо известно, что ряд обычных породообразующих минералов, как, например, многие полевые шпаты и цеолиты, селитры, каменная соль, большинство карбонатов, барит, асбест, апатит, тальк, флюорит, кварц, кальцедон и др., флюоресцируют и фосфоресцируют под действием ультрафиолетовых и катодных лучей. Явления свечения возникают и усиливаются главным образом при наличии примесей солей марганца, меди, свинца, висмута, органических веществ. Поверхность Луны не защищена оболочкой атмосферы, и лунные породы подвергаются непрерывному интенсивному облучению ультрафиолетовыми лучами. Необходимо тщательно сличить спектр света, отражаемого лунной

поверхностью, и проверить поведение затененных участков (на линии терминатора); как сообщил мне академик В. Г. Фесенков, такая люминисценция действительно была обнаружена чешским астрономом Линком (в пятне Линнея).

Целесообразность комплексного исследования участков лунной поверхности

Совершенно исключительные перспективы открываются для применения сенсibilизованной цветной фотографии и фотографии в цветных фильтрах к детальной съемке отдельных областей Луны при сильных увеличениях больших телескопов. Существующие цветные снимки по детальности недостаточны для сопоставления связи окраски с определенными участками рельефа и определенными типами пород Луны.

Особенно важно получить параллельные снимки отдельных небольших участков лунной поверхности как в ультрафиолетовых и в ультракрасных лучах, так и в поляризованном свете.

Вообще, как ясно из предыдущего, до сих пор уделялось недостаточно внимания сравнению и одновременному параллельному использованию всех средств физического исследования лунных веществ. Ни одна область поверхности Луны до сих пор еще не заснята и не изучена детально с помощью всего комплекса перечисленных физических методов. Опытные и проницательные наблюдатели все еще пытаются разрешить ряд загадочных проблем генезиса лунного рельефа, пользуясь зачастую лишь самыми элементарными сопоставлениями.

Не приходится сомневаться, что применение комбинированной научной фотографии (в фильтрах, поляризованном свете и т. д.) к детальной съемке отдельных участков лунной поверхности откроет новую эру в селенологических исследованиях. Надо надеяться, что при помощи фотоснимков с фильтрами из поляроида с новыми инструментами восстанавливаемой Пулковской обсерватории удастся получить необходимые детальные снимки частей лунной поверхности.

Применение точных астрометрических средств в вопросе о возможных изменениях на поверхности Луны

Выше мы уже упоминали о том, что в результате визуальных наблюдений за последнее столетие не удалось обнаружить сколько-нибудь заметных изменений рельефа Луны (если не считать периодического появления пятен окраски на дне нескольких кратеров). В селенологии принято отрицать самую возможность таких изменений (что, однако, с общеметодологической стороны не выдерживает никакой критики).

Литературные споры по этому вопросу напоминают былые распри, предварявшие открытие собственных движений у «неподвижных» звезд.

Вопрос о наличии или об отсутствии мелких изменений поверхности Луны за столь малый срок наблюдений, разумеется, нельзя решить на субъективной основе визуальных наблюдений и зарисовок. Необходимо предпринять вторичную фотосъемку определенных частей лунной поверхности, получить вновь соответственные фотографические листы лунного атласа по размерам, увеличению и позиции, тождественные с прежними атласами, а затем точно сравнить оба изображения с помощью стереокомпаратора, блинк-микроскопа и остальных средств современной астрометрии, до сих пор, к сожалению, не применявшихся для изучения Луны.

ФИЗИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ХАРАКТЕР РЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ ЛУНЫ

Поверхность Луны дает основные предположения о вулканогенном происхождении лунного рельефа

Мы видели, что различные методы исследования физической природы поверхности Луны приводят к одному и тому же заключению. Поверхность Луны, по всем данным, сложена вулканическими породами. На огромных пространствах, особенно в области лунных морей, породы Луны находятся, повидимому, в сильно раздробленном состоянии, в виде пеплов, песка и пыли.

В данном случае несущественно, с какими именно вулканическими породами Земли ближе всего могут быть сходны лунные породы (хотя и на этот счет, как мы видели, астрофизические методы дают довольно одинаковый правдоподобный ответ). Уже одно указанное, никем не оспариваемое заключение о вулканогенной природе поверхности Луны приводит к весьма важным следствиям в отношении происхождения лунного рельефа.

Преобладание вулканических пород на поверхности целой планеты, разумеется, невозможно объяснить без предположения о некогда бывшем расплавленном состоянии этой поверхности, без представления о том или ином механизме лавовых извержений, без мысли о вулканизме как существенном факторе образования рельефа Луны.

Морфологические признаки былой эруптивной деятельности на Луне несомненны

В дальнейшем мы увидим, что на поверхности Луны на самом деле сохранились многочисленные морфологические свидетельства былой эруптивной деятельности, обширных лавовых излияний и последующего остывания расплавленных масс. Воочию наблюдаются следы гигантских взрывов, происшедших при образовании некоторых кратерных колец определенного типа. В ряде мест хорошо заметны системы разломов, следы опускания огромных областей и затопления прежнего рельефа под покровами новейших лавовых излияний.

Необходимо иметь в виду, что такое толкование генезиса некоторых характерных форм рельефа Луны в настоящее время является в селенографии общепризнанным и принимается всеми без исключения научными гипотезами, объясняющими генезис лунной поверхности (включая и так называемую баллистическую или метеоритную гипотезу).

Вулканических изменений поверхности Луны в настоящее время нет Наблюдая признаки прежней эруптивной деятельности планетарного масштаба на Луне, многие выдающиеся исследователи долго не могли примириться с мыслью, что в настоящий момент извержения расплавленных масс на Луне совершенно отсутствуют.

В конце XVIII столетия наделало шуму сообщение Гершеля старшего¹ о якобы наблюдавшемся 4 мая 1783 г. извержении вулкана на Луне. Сообщения подобного рода продолжали появляться и позже, пока в итоге полустолетнего периода тщательных наблюдений не стало бесспорно ясно, что в настоящее время заметных вулканических явлений на поверхности Луны нет.

Причины необычайной сохранности лунного рельефа; две точки зрения Поразительной является необычайная свежесть сохранения резких форм рельефа поверхности Луны. Многие селенографы до сих пор уверены, что такая изумительная сохранность неровностей рельефа должна объясняться геологически недавним возрастом наблюдаемых форм поверхности Луны. Другие наоборот считают, что лунный рельеф в обстановке физических условий, господствующих на поверхности спутника Земли, может сохраняться неопределенно долго и в основном является наследием догеологических времен (с земной точки зрения).

Здесь уместно заметить, что исследование физических условий, господствующих на поверхности Луны, дало результаты, благоприятные скорее в пользу последней точки зрения. Оказалось, что на Луне, повидимому с незапамятных времен, почти совершенно отсутствуют основные факторы разрушения неровностей рельефа и, с другой стороны, имеются условия, способствующие неопределенно длительной консервации образовавшихся форм.

Объем, масса и сила тяготения Луны Среди всех спутников планет солнечной системы Луна занимает совершенно особое место по своим размерам и массе. Объем Луны почти точно равен $\frac{1}{49}$ объема Земли. Масса Луны составляет около $\frac{1}{81,5}$ массы Земли. По своей массе Луна сходна с некоторыми спутниками Юпитера, но пропорции масс наиболее крупных спутников по отношению к их

¹ Herschel Wm. An Account of three Volcanoes in the Moon. „Phil. Trans.“, 1794, p. 39.

планетам существенно иные; все спутники, кроме Луны, составляют по массам обычно лишь десятитысячные доли соответствующих масс планет.

Масса небесных тел определяет гравитационные свойства, имеющие большое значение для понимания физических особенностей их поверхности.

Сила тяжести на поверхности Луны равна в среднем около $\frac{1}{6}$ притяжения на земной поверхности.

Эти обстоятельства крайне существенны и для решения вопроса о возможной атмосферной оболочке Луны.

Свойства газов и гравитация

Из кинетической теории газов известно, что газ стремится равномерно заполнить пространство и рассеяться благодаря преобладающим внутренним силам молекулярного отталкивания. Свободные молекулы газа движутся во всех направлениях с разнообразными и очень значительными скоростями, постоянно ударяясь и отталкиваясь друг от друга наподобие совершенно упругих шаров. Частицы газа, находящиеся на периферии газовой оболочки, непрерывно разлетаются в окружающее пространство. Рассеянию газового скопления противодействует сила тяжести планеты и частично собственное взаимное притяжение газовых молекул.

Фактор массы планет, определяющий силу тяжести, таким образом, является решающим для судьбы атмосферных оболочек планет.

Сила тяжести небесного тела, достаточная для сохранения газовой оболочки на длительное время, должна быть такова, чтобы предел скоростей, удерживаемых гравитацией, превосходил среднюю квадратичную скорость молекул газов.

Средняя квадратичная скорость молекул газов по отношению к силе тяготения Земли

Средняя квадратичная скорость молекул при 0°C для водорода равна 1,84 км/сек., для гелия 1,31 км/сек., для водяного пара 0,62 км/сек., для азота 0,49 км/сек., для кислорода 0,46 км/сек. и для углекислоты 0,39 км/сек.

При абсолютной температуре в 1500° средняя квадратичная скорость молекул водяного пара будет равна только 1,47 км/сек., а скорость молекул азота, кислорода и углекислоты соответственно еще меньше.

Ясно, что Земля с ее силой тяжести и ее значением параболической скорости в 11,188 км/сек. была в состоянии удержать атмосферную оболочку не только при современных физических условиях, но и в расплавленном огненно-жидком виде.

Сила тяжести на Луне не в состоянии предотвратить рассеяния атмосферы

Совершенно иначе обстоит дело для силы тяготения Луны. Параболическая скорость на поверхности Луны (2,38 км/сек.) недостаточна для того, чтобы предотвратить рассеяние атмосферной оболочки в геологически ничтожный срок. «Если даже средняя скорость молекул значительно меньше параболической, атмосфера будет постепенно терять быстродвигающиеся молекулы в ее крайних

верхних областях, где свободные пути молекул так велики, что взаимные столкновения почти отсутствуют. Из вычислений Джинса оказывается, что если средняя молекулярная скорость составляет одну треть предельной скорости, атмосфера сведется до половины уже в несколько недель. При четверти предельной скорости соответственное время будет несколько тысяч лет, при одной пятой — сотни миллионов лет. Из этого следует, что все известные газы, даже водород, удерживаются на Земле и тем более на Солнце на практически бесконечный период. С другой стороны, водород и гелий улетучатся с Луны тотчас же; водяные пары улетучатся более медленно, но все же исчезнут целиком в очень короткое (в геологическом смысле) время. При температуре в 100°C кислород и азот будут медленно, но постепенно улетучиваться; и если когда-нибудь в своей истории Луна находилась в раскаленном состоянии, она должна была потерять также и более тяжелые газы»¹.

Вопрос о первоначальной возможной плотности атмосферы на Луне

Для понимания возможной эволюции атмосферной оболочки Луны, если таковая когда-либо существовала, интересно знать, какую вообще газовую массу могла унаследовать Луна в самом начале своей истории.

Ответ на этот вопрос можно дать на основе приливной теории эволюции системы Земля — Луна, разработанной Дж. Г. Дарвином. Согласно этой теории Луна некогда возникла из недра огненно-жидкой Земли.

При отделении Луны от Земли разделение атмосфер пропорционально массам тел могло дать Луне не более $\frac{1}{80}$ части атмосферы Земли. Принимая вместо соотношения масс объемы разделявшихся сфер, что а priori гораздо более вероятно, М. Леви и П. Пюизё пришли к выводу, что Луна могла унаследовать не более $\frac{1}{729}$ атмосферы Земли². Более подробные вычисления, произведенные П. Пюизё, уменьшают эту цифру до $\frac{1}{750}$ ³. По старым расчетам Бесселя (из других оснований) выходило даже около $\frac{1}{968}$ ⁴. Короче говоря, даже в момент образования первоначальная лунная атмосфера, вероятно, была столь разреженной, что барическое давление на поверхности Луны соответствовало лишь 1 мм ртутного столба.

Теоретически возможно также, что Луна никогда не имела сколько-нибудь заметной атмосферной оболочки, поскольку

¹ Рессел Г. Н., Дэган Р. С., Стюарт Д. К. *Астрономия*, т. 1. Солнечная система (перев. под ред. В. Г. Фесенкова). ОНТИ, 1934 стр. 141 (§ 201).

² Леви М. и Пюизё П. *Цит. соч.*, 1896, ч. 1, стр. 36.

³ Пюизё П., 1908; цитирую по Bosler J., 1928, ч. III, стр. 313.

⁴ См. Bosler Jean. *Cours d'Astronomie III Astrophysique*. Paris, 1933, Hermann & Co. 723 pp. (La Lune, pp. 313—336). Bessel F. W. *Bemerkungen über eine angenommene Atmosphäre des Mondes*. „Astr. Nachrichten“, v. XI, 1834, s. 411, v. XII, 1835, s. 240.

газы могли соединяться химически с веществами раскаленной поверхности Луны и поглощаться ими при охлаждении.

Возможные вторичные источники образования лунной атмосферы

С другой стороны, мы должны учесть вторичные источники газов, которые могли с течением времени пополнять рассеяние атмосферной оболочки Луны. Этими источниками пополнения могли быть прежде всего газовые струи вулканического происхождения, шедшие из недр Луны, или же, с точки зрения метеоритной гипотезы, газы, возникавшие вследствие взрывов и расплавления пород в результате ударов при метеоритной бомбардировке. По аналогии с земными породами можно признать, что количество газов и паров, выделявшихся при вулканических извержениях и взрывах, на Луне по временам могло быть довольно внушительным. Многие считают, что на Земле все количество водорода, углекислоты и водяных паров, имеющееся в атмосфере, могло быть доставлено вулканическим путем уже после образования твердой коры.

Надо сказать, однако, что насыщенность вулканических пород газами и степень свободного выделения последних при извержениях, как известно, сильно варьируют в зависимости от состава пород и от условий остывания. Извержения лав стекловатого состава обычно сопровождаются незначительным выделением газов. В результате весьма быстрого остывания, что для Луны более вероятно, значительная часть газов остается окклюдированной в породах. Окклюдированные газы вулканического происхождения на Земле освобождались при процессах эрозии огромных масс коры, но таких процессов, как увидим, вероятно, не было на Луне.

Радиоактивный источник пополнения атмосферы благородными газами как продуктами атомного распада для Луны почти не имел значения ввиду того, что освобожденный гелий немедленно рассеивался (в условиях гравитации Луны).

Теоретические основания суждения, как видим, достаточно сложны. Вопрос о наличии атмосферы на Луне в настоящее время и вопрос о том, существовала ли там атмосфера вообще когда-либо, скорее может быть надежно разрешен лишь непосредственным путем наблюдений.

Уже по общему виду Луны в телескоп ясно, что о существовании лунной атмосферы сколько-нибудь значительной толщины и плотности не может быть и речи.

Вид Луны в телескоп доказывает отсутствие атмосферной плотности

«Части Луны вблизи краев ее диска, которые должны были быть видимы через наибольшую возможную толщину атмосферы, видны без малейшего затемнения. На Луне нет паров, и все тени совершенно черны; нет признаков облаков или бурь, или чего-нибудь похожего на метеорологические явления. Еще более важно, что на рогах лунного серпа незаметно сумерок. Атмосфера в 10 000 раз более разреженная, чем земная, освещенная полным солнечным светом, была бы более заметна, чем

темная часть Луны, освещенная полной Землей. Это доказательство поэтому очень точно»¹.

Предельная плотность лунной атмосферы Один из крупнейших исследователей фотометрии Луны, акад. В. Г. Фесенков, пришел к заключению, что следы атмосферы, возможно сохранившиеся на Луне, не могут превышать одной пятидесятитысячной доли плотности атмосферы Земли².

Большинство наблюдателей приходило к аналогичным заключениям и на основании исследования поведения краев лунного диска при солнечных затмениях и при покрытии звезд Луной. При этом не замечается признаков рефракции на краю Луны, что должно бы иметь место при плотной атмосфере.

Наблюдения, противоречащие принятому мнению

Справедливость требует дать слово немногим авторам, возражавшим против общепринятого заключения. Из старых авторов в особенности Тейбер настаивал на существовании слабых явлений рефракции по краям лунного диска; наблюдения во время полного затмения 1706 г. убедили Тейбера, что атмосфера на Луне, вопреки общему мнению, имеется. Затем сравнительно еще недавно П. Жерар в 1901 г. заявил о наблюдавшемся в 120-мм трубу в части Залива Радуги «своеобразном окрашивании края терминатора», якобы зависевшем от рефракции лунной атмосферы. В 1904 г. Э. Маршан в результате телескопических наблюдений на вершине Пик дю Миди заявил о наличии слабых следов лунной атмосферы, «едва простирающейся до самых высоких кратеров».

К аналогичному заключению по косвенным соображениям в 1910 г. пришел также Э. В. Маундер. В 1913 г. покрытие Луной звезды π созвездия Скорпиона наблюдал М. Гери и пришел к выводу, что при появлении блеск звезды является значительно более слабым в течение первой секунды, что «указывает на рефракцию лунной атмосферы». Среди специалистов-селенографов ярким защитником существования следов атмосферы на Луне являлся Вильям Пиккеринг. По его расчетам (1924, стр. 281—284) выходило, что лунная атмосфера может доходить до $\frac{1}{3}$ 600— $\frac{1}{1}$ 800 плотности атмосферы Земли³.

Отсутствие рефракции у края лунного диска Однако мы должны считаться с тем, что новейшие фотографические документы, относящиеся к покрытиям звезд Луной и к солнечным затмениям, категорически убеждают отсутствием рефракции, обусловленной наличием атмосферы по краям лунного диска.

¹ Рэссел, Дэган и Стюарт. Цит. соч. стр. 140.

² Фесенков В. Метод определения температуры поверхности Луны, не освещенной солнцем, и плотности лунной атмосферы. „Русск. астр. журн“, 1924, т. 1, стр. 29—55. См. также доклады А. Н. СССР, 1943 г., т. 39, № 7, стр. 275—278.

³ См. G é r a d P i e r r e. Atmosphere lunaire. „Cosmos“, N. S., v. 47, 1901, 162 pp.; G h e u r y M. E. J. Evidence of an Atmosphere on the Moon, „Observatory“, v. 36, 1913, p. 268; M a r c h a n d E. Observations physiques de la Lune tendant à confirmer l'existence d'une faible atmosphère faites au Pic du Midi (alt. 2826 m) de 1897 à 1903. „Assoc. Trans. pour l'adv. des Sci.“, 1904, v. 32, II, p. 174; M a u n d e r E. Walter. Meteors and the Lunar Atmosphere „Journ. Brit. Astr. Ass.“, 1910, v. XXI, № 2, pp. 106—107. P i c k e r i n g W. H. The Lunar Atmosphere. „Pop. Astronomy“, 1924, v. 32; pp. 281—284; T e u b e r G o t h o f r e d. Conamen ad probandum Lunae Atmosphaeram. 1727 (inseta); „Misc. Berolini“ (Berlin), v. III, 1727, S. 279.

По всей совокупности данных, столь же несомненно, что вода в жидком или твердом виде в сколько-нибудь заметных количествах на поверхности Луны тоже отсутствует. Факт почти полного отсутствия атмосферы и воды на Луне существенен для понимания физических условий сохранения неровностей рельефа на Луне.

Вопрос о существовании заметной атмосферы и гидросферы должен решаться совместно

С геологической точки зрения совершенно понятно, что вопрос о существовании гидросферы на небесных телах тесно связан с отсутствием или наличием плотной атмосферной оболочки, поскольку генетические условия и источники формирования обеих являются общими. Разумеется, легко представить себе крайнюю безводность планеты при наличии плотной атмосферы, но нельзя допустить наличия заметных количеств воды при почти полном отсутствии газовой оболочки. Подобное допущение генетически является бессмыслицей, ибо при прочих равных условиях первоначальная разреженность атмосферы и последующее почти полное ее рассеяние тем самым означают первоначальную скудость ресурсов водных масс и быстрое дальнейшее их исчезновение (благодаря легкости испарения, а также ввиду впитывания и химического связывания в породах).

Отсутствие воды и атмосферы на Луне объясняет своеобразие и долговечность лунного рельефа

Вода и атмосфера в их круговороте и движении являются главными разрушителями рельефа поверхности планет. Незаметно, но неутомимо и быстро они производят выравнивание областей поднятия и заполнение опусканий, сопровождаемое раздроблением и переносом огромных масс вещества. На поверхности Земли, как мы знаем, не осталось ни малейшего остатка первоначальной земной коры. Слоистые горные породы представляют собою в подавляющем большинстве вторичный продукт отложения, метаморфизации и нового переотложения. Земная кора в ее существующем виде является на значительную глубину в известном смысле дитимом земной гидросферы и атмосферы¹. Многообразие процессов химического выветривания (в целом) и физического выветривания (в большей части) невозможно вне атмосферно-водной среды.

Об этом мы, впрочем, уже говорили, но здесь необходимо еще раз подчеркнуть, что почти полное отсутствие атмосферы и воды на Луне является важнейшим физическим условием, объясняющим не только своеобразие форм лунного рельефа, но и его необычайную сохранность.

Вопрос об атмосфере на Луне в геологическом прошлом

Интересовавшая нас проблема возникает вновь в исторической перспективе. Если даже на Луне в настоящее время нет воды и воздуха, то, быть может, они были там в относительно недавнем геологическом прошлом? Ведь многократные интенсивные эруптивные и эксплозионные явления, имевшие место на Луне в прошлом, могли доставлять массы паров и газов, точное количество которых невозможно учесть.

¹ То обстоятельство, что в земной коре осадочные породы составляют не более 6% среди изверженных и метаморфических, не противоречит этому заключению. В современной петрологии не только признана бывшая осадочная природа многих метаморфических пород, но и возможность новообразования громадных магматических масс за счет вторичного расплавления коры.

Но если атмосфера и вода в заметных количествах когда-либо существовали на Луне в эпохи образования ее рельефа, они непременно должны были оставить явственные памятки своей работы.

Леви и Пюизё о М. Леви и П. Пюизё считали доказательством былого присутствия заметных атмосфер на Луне характерные следы атмосфер на Луне венцы белых лучей, встречающиеся вокруг некоторых кратеров. С морфологическими особенностями системы лучей лунных кратеров мы познакомимся ниже. Здесь довольно упомянуть, что, рассматривая венцы лучей как результат эксплозивного выброса тонкораздробленных масс вещества из кратерных жерл определенного типа, Леви и Пюизё не находили возможным объяснить без наличия хотя бы следов атмосферы радиальное рассеяние пеплов на Луне при взрывах из жерл радиусом в десятки или немногие сотни километров на колоссальное расстояние (в радиусе свыше тысячи километров — сравни лучи кратера Тихо). Как увидим ниже, некоторые венцы лучей (например у кратеров Прокла, Тарунция и др.) не образуют полного круга. Они были выброшены крайне неравномерно в направлении строго определенных румбов. Даже в системах, казалось бы, вполне симметричных венцов лучей (например в системе кратера Тихо) найдено несколько различных генераций лучей, причем лучи определенного возраста нередко оказываются выброшенными лишь в одном или нескольких близких направлениях.

Анализируя эти факты, Леви и Пюизё пришли к выводу, что системы лучей лунных кратеров «отлагались под влиянием циклонических движений атмосферы»¹. Я же полагаю, что все эти факты говорят как раз об обратном.

Необычайная дальность переноса пеплов в условиях интенсивной эруптивно-эксплозивной деятельности и слабой силы тяжести на Луне сама по себе не удивительна и едва ли нуждается в дополнительных гипотезах. Расчеты отношений радиуса рассеяния лучей и размеров кратеров, делавшиеся многими исследователями, показывают, что пепловые конусы взрыва соответствующего начального радиуса, наклона и высоты, именно в условиях отсутствия атмосферы и в обстановке поля тяготения Луны, достаточны для разбрасывания тонкораздробленных масс вещества на грандиозные расстояния. Образование несимметричных и односторонних систем лучей вообще нельзя рассматривать как довод в пользу циклональной деятельности лунной атмосферы. Ни в одной из систем лучей не замечается даже намек на спиральное расположение или иные закономерные отклонения от радиальной

¹ Леви М. и Пюизё П. Цит. соч. 1904, ч. 2, стр. 13—14.

ориентировки. Между тем спиральное, концентрически-волнистое и комковато-кучевое расположение лучей в венцах выбросов должны были быть типичными для циклонального рассеяния облаков пепла.

Имеются ли следы водной эрозии на Луне (критика взглядов Пиккеринга)

В. Пиккеринг и другие авторы пытались доказать наличие воды и атмосферы на Луне, устанавливая следы эрозии лунного рельефа. В. Пиккеринг настаивал, и вполне правильно, что об относительном возрасте кратеров можно в известной мере судить по степени резкости контура гребня вала. Более древние кратеры, безотносительно к размерам и высоте, имеют более мягкие изгибы и меньшее количество резких деталей. Скульптура рельефа более молодых образований в деталях более отчетлива и резка.

Но Пиккеринг допустил ошибку, способную извратить этот справедливый критерий; относительную древность кратера, по Пиккерингу, можно определять и по количеству ложбин, бороздящих склоны вала. Кратеры с ложбинами и бороздами, обнимающими меньше $\frac{1}{8}$ объема вала, будто бы являются самыми молодыми (Манилий, Тарунций), кратеры с валами грубо радиального рельефа (Коперник, Аристил) оказываются наиболее древними. Примеры кратеров различной древности, распределенные Пиккерингом на пять классов от а) до е), представляют полное смещение действительных возрастов форм. Причиной этого смещения было предположение, что борозды и ветвистые трещины на Луне являются водно-эрозийными рытвинами. Допустив эту геоморфную ошибку, легко было дойти до фантастических заключений о наличии на Луне речных террас, ледниковых морен, дюн и пр. Эти иллюзии одно время разделял также Н. А. Морозов и некоторые другие авторы.

Тем не менее каждому наблюдателю, имеющему некоторый опыт в области геоморфологического анализа, при обозрении поверхности Луны становится совершенно ясно, что следы разрушения лунных образований, зависящие от их относительного возраста, не несут ни одной морфологической черты, специфической для водной эрозии и дефляции. Указанные черты частичного разрушения форм в зависимости от возраста морфологически вполне могут быть объяснены вековым разрушением пород на месте и процессами медленного перемещения россыпей (под влиянием температурных колебаний и силы тяжести). Борозды и трещины поверхности Луны, на которых основываются сторонники водной эрозии, как мы уже говорили, в действительности не имеют ничего общего с эрозионными долинами и несут ясные черты частью эксплозионно-эруптивного, частью же тектонического (дизъюнктивного) происхождения.

Красноватая окраска некоторых лунных местностей как признак выветривания

В присутствии заметных следов атмосферы и воды на Луне в прошлом могли развиваться процессы химического выветривания, способные благодаря окислению существенно изменять первоначальную окраску пород. На этом основании, как уже говорилось, возможно связывать красноватую окраску некоторых местностей Луны

с прежними процессами гипергенного выветривания и автонеоматолитического изменения. Любопытно, что в нескольких местах красные оттенки окраски свойственны системам лучей кратеров, что вполне понятно, так как при взрывах, сопровождавшихся выбросом пеплов, могло выделяться большое количество газов и летучих (хлоридов). Высказанное предположение, однако, не является доказанным. Требуется еще много труда для того, чтобы найти надежные признаки бывшего присутствия следов воды и атмосферы на Луне, теоретически вполне возможного.

Пределы неровности рельефа и гравитация В научно-популярной литературе нередко можно встретить утверждение, что резкие неровности лунной поверхности являются естественным следствием относительно слабого притяжения Луны. Однако вопрос о пределе неровностей поверхности планет в зависимости от гравитации не столь прост.

Следует отличать общие неровности поверхности планетарного масштаба от частных форм рельефа и, наконец, от характерных деталей микрорельефа. Каждая из этих групп определяется своими законами образования.

Основные неровности, определяющие фигуру планеты, непосредственно зависят от внутреннего распределения масс и общего значения силы тяжести. В условиях ничтожной массы тел и крайне слабого притяжения молекулярные силы сцепления вещества еще достаточны, чтобы сохранять возникшие, в том числе и резко-угловатые, очертания фигуры планеты. Примером являются некоторые самые маленькие тела из семейства астероидов, имеющие, судя по непериодическим режим колебаниям яркости, грубо-угловатую форму.

С увеличением размеров и массы сила тяжести побеждает молекулярные силы сцепления вещества. Форма небесных тел становится более или менее совершенно сферической, точно приспособляющейся к данным условиям вращения. Заметные неровности и асимметрия в шаровидных фигурах небесных тел (с поперечником свыше 100 км) определяются приливными силами, вызываемыми гравитационным влиянием соседних миров, а также и, в особенности, внутренними напряжениями и перемещениями масс.

Преобразование поверхности в этом классе величин небесных тел определяется борьбой внутренних напряжений и магматических перемещений с внешними факторами выравнивания. Планетарное тяготение здесь выступает как антагонист вулканизма и тектонических напряжений. Той или иной относительной тяжестью перемещаемых масс регулируется конечный эффект извержений и поднятий.

Сила тяжести как антагонист вулканизма и поднятий Если говорить именно о формах рельефа, а не об общей фигуре поверхности Луны (о ней будет сказано дальше), можно согласиться, что на Луне, как и на других небольших планетных телах, благодаря соответственно меньшему притяжению одна и та же величина сил поднятия и взрыва, действующих против силы тяжести, может произвести неизмеримо больший эффект, чем на Земле или подобных крупных планетах. Обломки и массы пепла, извергаемые

взрывами, на Луне могут быть выкинуты на высоту значительно большую и рассеяны гораздо дальше, чем на Земле. Одна и та же энергия взрыва может дать на Луне значительно более крупную выемку и более значительный кольцевой вал, чем на Земле. Вулканизм и поднятия в условиях меньшей силы тяжести являются как бы менее скованными. Рельеф поверхности, создаваемый этими факторами, может проявиться более резко.

Подтверждением сказанного на первый взгляд, как будто, является то обстоятельство, что наименьшая из планет солнечной системы Меркурий, с массой и объемом, близкими к Луне, повидимому, обладает еще более неровной поверхностью, тогда как другие более крупные планеты являются очень слабо скульптурированными. В действительности же сравнение невозможно, ибо физическая природа поверхности большинства планет в деталях неизвестна; более резкий рельеф Меркурия и Луны еще проще можно объяснить отсутствием атмосферы и воды как главных факторов выравнивания, имеющих на других планетах.

В литературе встречаются указания на возможную значительно большую крутизну склонов, сложенных сыпучими массами обломков пород, в связи с меньшей силой тяжести на Луне. Это обстоятельство будто бы также может обусловить большую резкость деталей лунного рельефа. Однако такое допущение ни практически, ни теоретически не является обоснованным. Серия профилей через лунные кратеры (Платон, Архимед, Птоломей, Клавий, Аристарх, Коперник, Тихо и Альпетрагий), опубликованная в свое время В. Гудэром¹, показала, что склоны горных возвышенностей Луны в общем довольно пологи и вполне сравнимы (по уклонам, но не по масштабу и пропорциям) с вулканическими кратерами Земли.

В результате статистического сравнения лунных кратерных форм Г. Г. Тюрк пришел к выводу, что с увеличением размеров цирков углы склонов заметно понижаются по сравнению с предельным углом в 32° . По более новым статистическим исследованиям Т. Л. Макдональда получается, что углы склонов самых крутых мелких кратеров доходят до $36 - 38^\circ$. Самые крутые углы наклона поверхности в горных областях на Луне, стало быть, мало отличаются от предельного угла наклона сыпучих тел (около 33°). Возможно, что повышение уклонов против критического угла в некоторых местах поверхности Луны должно объясняться наличием коренных выходов скалистых пород. Механика сыпучих тел не дает никаких указаний, чтобы градиент гравитации мог иметь какое-либо влияние на изменение критического угла наклона сыпучих тел (при условии одинаковых молекулярных сил сцепления и. пр.).

¹ Goodacre W. Lunar Craters seen in section. „Journ. Brit. Astr. Ass.“, 1926, v. 36, N 3, pp. 145—147+1 tab.

Суточные колебания температуры поверхности Луны

для поверхности Луны действительно могут иметь большое значение.

Остается рассмотреть еще один возможный агент поверхностного разрушения пород — инсоляцию и связанные с нею периодические колебания температуры, которые благодаря отсутствию атмосферы и медленному вращению Луны вокруг оси, лучи Солнца непрерывно нагревают лунную поверхность каждый раз в продолжение несколько более трехсот пятидесяти четырех часов на лунном экваторе. Лишенные теней, однообразные, песчаные или засыпанные пеплом, огромные равнины лунных морей должны накаляться особенно сильно по сравнению с горными областями, где зато должна сказываться неравномерность нагрева освещаемых и затененных участков. Разница в нагревании усугубляется темноцветной окраской морей. Как мы уже говорили, низкое альbedo Луны указывает на сильное поглощение солнечных лучей и соответствующий сильный нагрев.

О значительном нагревании лунной поверхности свидетельствует тот факт, что водяной фильтр поглощает значительный процент лунной радиации.

Результаты изменений температур лунной поверхности

Существует много точных способов расчета и непосредственного измерения температур поверхности Луны. Старые определения (Росса, Ланглей и Вери) были довольно противоречивы; по Россу выходило, что амплитуда температурных колебаний на Луне доходит до 280° . Юнг и затем Ланглей (в 1888 г.) полагали, что в среднем температура поверхности Луны днем не поднимается значительно выше 0° С, а в течение ночи падает ниже минус 225° С.

Окончательные замеры привели Вери к заключению, что во время лунного полдня температура поверхности Луны доходит до 184° С и в среднем близка к 97° С, тогда как ночью падает до минус 100° С. Миланкович в 1920 г. вычислил теоретически, что вероятным значением температуры поверхности в лунном полдне являются 100° С, а ночью минус 54° . От этого заключения недалеко результаты определений, произведенных в 1923 г. Менцелом (120° С в середине дня). По вычислениям Дитциуса выходит, что на экваторе лунного диска температура поверхности должна подниматься до 110° в полдень, понижаться на заходе солнца до 10° С и падать в итоге двухнедельной ночи до минус 80° С. Райт считает, что как наиболее вероятные можно принять значения дневных температур на Луне в 120° С и ночных до минус 100° С. Наконец, Петтит и Никольсон в 1930 г. установили, что освещаемые солнцем местности на Луне нагреваются до $+134^{\circ}$ С, или, вернее, учитывая, что часть радиации отражается, до 101° С. На затененной стороне Луны в течение долгой лунной ночи

поверхность планеты охлаждается, возможно, до -150°C . Важно знать, насколько быстро разогреваются и охлаждаются породы лунной поверхности. Имея представление о теплопроводности какого-либо материала, т. е. о поведении его при переменном термальном режиме, можно сказать, с какими из земных горных пород такой материал более сходен и насколько он подвержен растрескиванию от инсоляции.

Измерения хода изменений абсолютных температур поверхности Луны во время полного лунного затмения, полученные названными авторами, показали, что лунные местности, покрываемые земной тенью во время лунного затмения, охлаждаются чрезвычайно быстро, настолько, что меньше чем за час температура затененной поверхности на Луне падает с абсолютной $T\ 343^{\circ}$ до $T\ 175-160^{\circ}$ (т. е. от $+70^{\circ}\text{C}$ до -115°C). Такое быстрое охлаждение поверхности Луны в области проходящей тени затмения указывает, что лунные породы являются плохими проводниками тепла и в этом отношении наиболее похожи на земные вулканические пеплы или на пемзу¹. По независимым данным В. Г. Фесенкова и О. П. Крамер (1941 г.) тоже выходит, что коэффициент теплоемкости лунной поверхности необычайно ничтожен, вероятно вследствие крайней пористости или разрыхленности.

Инсоляция как фактор разрушения лунного рельефа Вполне понятно, что столь значительные температурные колебания поверхности пород (особенно в скалистых выходах и на заметных уклонах местности), повторяющиеся бесконечно долгое время, должны быть мощным фактором отщепления и раздробления скал. Они, очевидно, могут изменять равновесие осыпей. Но для обстановки Луны очень трудно оценить истинное значение температурного фактора как разрушителя пород в условиях отсутствия воды.

Остаются лишь собственно явления инсоляции, которые в чистом виде (без участия миграции растворов в порах породы) на Земле опять-таки почти неизвестны.

По расчетам Райта, температурные колебания лунных суток неглубоко проникают в толщу россыпей и скал поверхности Луны; уже на глубине немногих десятков метров все время может держаться довольно постоянная температура, близкая к 0°C . На этом уровне должно совершенно прекращаться разрушающее попеременное влияние инсоляции и охлаждения. В условиях коренных скал, благодаря неодинаковой теплопроводности, наличию глубоких трещин и т. д., растрескивание, отщепление и разрушение могут проникать неравномернее и местами глубже, но раз образовавшийся плащ разрушенного элювия достаточной мощности является

¹ Сравни справку Г. П. Кюйпера в справочнике *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*. 1941. p. 403. См. также В. Г. Фесенков. Доклады А. Н. СССР, 1941 г., т. 32, № 1, стр. 25—27.

самой надежной защитой от воздействия температурных колебаний. Создающееся равновесие осыпи, конечно, непрерывно нарушается сползанием дробимых частиц, но в конце концов должно наступить положение устойчивости, которое в условиях отсутствия воды и атмосферы может быть нарушено лишь новыми поднятиями, извержениями и т. д.

В. Форбс и некоторые другие селенологи высказывались в том смысле, что указанные процессы физического выветривания (или, точнее говоря, инсоляционного разрушения) должны были на Луне в конечном счете привести ко всеобщему более или менее совершенному выравниванию почвы.

Поскольку же на Луне наблюдаются целые горные области, по крутизне склонов не уступающие предельному углу сыпучих тел и земным горам (а по относительным высотам даже превосходящие рельеф Земли), Форбс, Баррелл и некоторые другие селенологи считали, что наблюдаемый рельеф Луны возник еще совсем недавно, и революционные события, его создавшие, произошли, говоря геологическим языком, в настоящее время¹.

Принципиальной важности вопрос о возрасте лунного рельефа нам еще придется в других точках зрения рассматривать ниже. Здесь уместно заметить, что заключения Форбса не свободны от ошибки геоморфизма. Неясно, почему в условиях почти полного отсутствия воды и атмосферы профиль равновесия осыпей должен сильно отличаться от критического угла естественного откоса сыпучих тел. Инженерная практика, напротив, основана на том факте, что сухие насыпи сохраняются неопределенно долго, если они не испытывают сотрясений и дополнительной переменной нагрузки. Известно, что даже в обстановке Земли движения оползней почти целиком зависят от грунтовых вод и прекращаются в периоды засух. Элювиальный плащ глубиной в десятки метров, разумеется, не может привести к полному выравниванию громадную поверхность с цоколем из коренных скал и с амплитудами первоначального рельефа в тысячи метров. Слово «плащ» здесь наилучшим образом выражает конечный результат элювиального сглаживания деталей поверхности и вероятное сечение профиля равновесия. Первоначальные резкие неровности будут в большинстве случаев приведены к наклонам, не

¹ Forbes V. S., 1931, стр. 209, 215; Barrell J., 1929, стр. 302. См. Barrell J. On continental fragmentation and the geologic bearing of the moon's surficial features. Wash., 1929. *Smithson. Rep.*, N 2989, pp. 283—306+3 tables; Forbes V. S. The Moon and Radioactivity. *Smithsonian Report* for 1930. Publ. N 3081, Wash. 1931. pp. 207—217 in 8°; Forbes V. S. The Moon and Radioactivity. „*Geol. Mag.*“, v. 66, N 776, Febr. 1929.

превосходящим критического угла откоса сыпучих тел, но все же некоторые почти вертикальные обрывы устойчивых пород могут уцелеть (особенно в откосах узких и глубоких трещин). Напомним, что многие разности вязких стекловатых лав по меньшей мере не уступают по прочности известным сортам лабораторного стекла, постоянно подвергающегося такого рода температурным колебаниям. Плавленый базальт является в этом смысле идеально устойчивым материалом.

В. Форбс не видит на Луне хотя бы даже признаков «деградации рельефа», которая, конечно, должна была наступить в результате геологически длительного физического выветривания. Но в этом Форбс решительно неправ. Как мы видели, ясные следы деградации форм с возрастом на Луне вполне очевидны. Взгляды сторонники геологически юного возраста лунного рельефа находятся в противоречии с заключениями поляризационного анализа физической природы поверхности Луны.

Если рельеф Луны возник недавно, лунные горы должны были бы с поверхности состоять преимущественно из коренных скал. Допустим даже, что (с точки зрения метеоритной гипотезы) это заключение не обязательно, зато великие равнины морей должны были бы изобиловать полями коренных выходов позднейших покровов лав (против чего не возражают и сторонники метеоритной гипотезы). Поляризационные исследования, напротив, приводят к выводу, что в подавляющем большинстве породы равнинных площадей поверхности Луны находятся в тонкораздробленном пылеобразном состоянии.

Резкие температурные колебания на поверхности Луны, повидимому, не существуют извечно. Наблюдаемые вековые неравенства в движении Луны свидетельствуют, что вращение Луны вокруг ее оси с течением времени замедлялось, т. е. длина лунных суток в глубь времен была все более короткой и, следовательно, амплитуды нагревания и охлаждения были менее резкими. Эффективность инсоляционного выветривания на Луне некогда была менее значительной и возрастала постепенно. Этот ход событий также говорит не в пользу заключений В. Форбса.

В итоге мы приходим к предположению, что в совокупности физических условий на поверхности Луны имеется много факторов, благоприятствовавших созиданию резкого рельефа, и почти отсутствуют силы, способствующие его уничтожению. Представление об исключительной долговечности форм рельефа в условиях Луны является едва ли не самым старым среди высказанных точек зрения и тем не менее едва ли не самым верным.

Физические условия на поверхности Луны благоприятны для сохранения рельефа

Необходимо добавить, что не так легко учесть мысленно все существенные факторы физической обстановки на поверхности Луны. Своеобразие условий, вытекающее из почти полного отсутствия атмосферы, может сопровождаться такими явлениями, которых на Земле мы не находим вовсе. Достаточно сказать, что поверхность Луны непрерывно подвергается воздействию космических лучей, способных расшатывать атомные ядра и вызывать наведенную радиоактивность; о прямом воздействии ультрафиолетовых лучей уже говорилось выше.

ФОРМЫ ЛУННОЙ ПОВЕРХНОСТИ, ИХ ГЕНЕЗИС И ОТНОСИТЕЛЬНЫЙ ВОЗРАСТ

**Области, типы,
отдельные фор-
мы и детали
рельефа Луны**

Различные области лунного диска существенно одинаковы по типу рельефа. Видимый невооруженным глазом рисунок на поверхности Луны свидетельствует об огромных размерах отдельных областей, отличающихся друг от друга по рельефу и окраске. Еще Лангрен, автор одной из самых первых селенографических карт, был изумлен крупными различиями частей поверхности и называл Луну «пятнистым шаром»¹.

По размерам на Луне можно различать, во-первых, целые области с особым рельефом, далее — отдельные формы рельефа и, наконец, многочисленные мельчайшие подробности строения в этих формах. По рангу величин можно, стало быть, говорить об отдельных морфологических областях Луны и типах селеноландшафтов, затем об элементах и отдельных формах макрорельефа и о мельчайших деталях строения поверхности. Рассмотрим самые типичные по форме и чаще всего встречающиеся особенности лунного рельефа, по возможности придерживаясь этого порядка,

**Равнины, или
„моря“ Луны**

Среди морфологических типов селеноландшафтов различают два главнейшие: тип горных или материковых областей и тип низменных равнин или «морей». Плоские равнинные впадины на Луне принято называть «морями» со времени Риччюли, когда еще физические условия лунной поверхности вовсе не были известны.

**Морфологиче-
ские особенности
лунных морей**

Равнины или «моря» Луны выглядят огромными округлыми пятнами, вкрапленными на более светлом фоне горных областей. Самые крупные моря группируются ближе к экваториальным широтам лунного диска, тогда как самые

¹ См. Langrenus (van Langren) F. Selenographia sive lumina austriaco philippica Bruxellis, 1645

обширные и высокие горные группы образуют полярные шапки Луны.

Девять главных морей Луны имеют в поперечнике каждое от 400 до 1 200 км. Границы между горными областями и равнинами морей обычно резки. Гористые побережья обычно более круто обрываются на склонах, обращенных к морю, так что получается подобие вала с опустившейся центральной впадиной. В этом состоит сходство морей с самыми крупными кратерными горами Луны, причем между ними действительно наблюдаются переходы по величине и по форме. Отличие заключается в несоизмеримых пропорциях размера и абсолютной величины центральной впадины по отношению к окружающему валу. У морей абсолютные соотношения этих величин достигают пропорции 1 000 к 4—7 км, а у самых больших кратеров только до 350 к 4—7 км. Говорить о вале по отношению к побережью морей можно вообще лишь фигурально, имея в виду указанную более или менее заметную асимметрию соседних областей, усеянных кратерными кольцами. Никакого подобия центральной горки, характерной для некоторых форм кратеров, в середине обширных равнин морей не замечается. В сечении равнинная поверхность больших морей, поперечник которых составляет значительную часть окружности Луны (до $1/10$ — $1/15$), обычно является слабо выпуклой. Самыми пониженными относительно среднего уровня лунной поверхности являются не центральные, а периферические части впадин морей. На периферии морей наблюдаются серии трещин опрочных круговых разломов, хорошо заметные близ линии терминатора при достаточном увеличении. В связи с разломами обычно встречаются фрагменты гористого рельефа, как бы погруженные в поверхность равнины.

Моря и горы Луны различны не только по рельефу Характерен более темный тон окраски поверхности морей, ясно отделяющий впадины от соседних гористых областей и нередко точно совпадающий с гипсометрией. Как уже говорилось, поляризационные свойства поверхности морей также определенно отличаются от гористых областей. По совокупности признаков моря и гористые области Луны, очевидно, отличаются не только рельефом, но и составом вещества и тектонической структурой.

Теперь уже никто не сомневается, что в морях Луны нет и, вероятно, не было воды, однако, этот старинный термин не потерял глубокого сравнительного смысла.

Черты сходства впадин Луны со впадинами Земли Между материками и океаническими впадинами на Земле имеется столь же глубокое различие, в известной мере схожее с видимым на Луне. Как и на Луне, граница океанических впадин и материков обычно резка. Дно океанов также является слабо выпуклым. Земная кора под океанами, до геофизическим данным, иная, чем на материках (под океанами отсутствует сиаль). Рельеф глубоководных океа-

нических впадин в самых крупных чертах отличен от рельефа материков Земли. Новейшие подводные съемки установили множество исключений из этого правила, которые его только подтверждают. Наличие гористого рельефа на океанском дне (например в середине Атлантического океана, в море Банда, в Карском море и др.) считается признаком некогда происшедшего погружения бывших участков гористой суши или же начавшегося воздымания мобильных поясов дна, готовящихся стать сушей.

Среди геотектонистов до сих пор почему-то распространены две метафизические крайности взглядов: одни вовсе не находят никаких существенных различий между областями океанов и материков, другие же абсолютизируют эти различия и вовсе отрицают возможность взаимоперехода обоих типов рельефа Земли.

Едва ли можно отрицать глубоко уходящие в тело Земли и в глубь времен коренные отличия в развитии и в структуре главных океанских впадин и материковых платформ. Ядра большинства материков на Земле, по видимому, никогда после кембрия не бывали глубоководными океанскими впадинами. Нельзя поручиться в обратном насчет прошлого всех океанских впадин, но едва ли можно сомневаться и в глубокой древности существующих океанов (раньше девица).

Тихоокеанское кольцо сверхглубоких землетрясений, обрамляющее величайшую из океанских впадин на Земле, свидетельствует о существовании грандиозных краевых разломов, находящихся в движении до глубин на много сотен километров под корой. Это тихоокеанское кольцо сверхглубоких разломов, вероятно, возникло еще в докембрийские времена, а вместе с ним возник и Тихоокеанский бассейн.

Нельзя на Земле отрицать явной структурной неоднородности скрытых под океанами пространств, поскольку они теперь расшифровываются гравитационными и иными подобными наблюдениями.

Судя по всем существующим в настоящее время данным, под океанами имеются узкие резко-неоднородные пояса, являющиеся продолжением и зародышем складчатых зон материков и островных дуг, а с другой стороны, в центральных впадинах океанов намечаются более однородные и плоские области, структурно, возможно, аналогичные, но противоположные по своему развитию материковым платформам.

Намечаются океанские платформы — впадины (с общей многовековой тенденцией к опусканию), в противоположность континентальным платформам — щитам (с преобладавшей тенденцией к поднятию).

Развиваемый взгляд был впервые наметен А. П. Павловым в статье «Попытка распознать доархейскую эру в истории Земли и определить ее дальнейшее влияние на эволюцию геонда». («Бюллетень Московского общества испытателей природы» за февраль 1922 г.).

Пример строения впадин Луны наводит на мысль, давно разделяемую многими геологами и геологами, что важнейшие отличительные особенности рельефа океанического дна и материковой суши на Земле не могут быть объяснены разницей в условиях разрушения поверхности, отложениями наносов и другими экзогенными явлениями, роль которых, разумеется, нельзя недооценивать.

Для Луны возможны два объяснения возникновения равнины моря на месте прежней гористой суши. Одно объяснение, прекрасно согласующееся с фактами и общепринятое, устанавливает, что равнинная поверхность морей Луны возникла на месте гористой суши в процессе и в результате погружения последней, морфологически словно путем затопления. Лавовый состав поверхности морей свидетельствует, что термин «затопление» здесь надо понимать не метафорически, а буквально.

Второе объяснение, мыслимое, хотя и не высказывавшееся в литературе, может основываться на процессах выравнивания (благодаря гипергенному разрыхлению и раздроблению пород), способных сглаживать прежний гористый рельеф. Это объяснение, приемлемое для анализа некоторых мелких деталей строения лунной поверхности, безусловно негодно по отношению к образованию морей в целом; на Луне мы не находим (на значительных пространствах) ступеней выравнивания, не связанных с трещинами разломов, «выравненные» впадины являются по возрасту рельефа не более древними, а более молодыми.

Другой вариант этого объяснения, уже предлагавшийся в литературе, рассматривает равнинные впадины как результат погребения горного рельефа под массами наносов. Несостоятельность этого варианта тоже доказана; на Луне нет никаких признаков аллювиального, делювиального или гравитативного перемещения огромных масс обломков на огромные расстояния. Короче говоря, идея экзогенного, а не структурного происхождения крупнейших впадин Луны вообще неприемлема.

Разделение поверхности Земли на континенты и океаны, повидимому, тоже было обусловлено более глубокими структурными различиями обширных частей планеты.

С этим обстоятельством для Земли считались и Эд. Зюсс, и Карпинский, и Марсель Бертран, и Вегенер, хотя каждый из названных геологов давал ему существенно иное объяснение. Многие продолжают считать, что на Земле процессы взаимного превращения океанских впадин и материков были с самого начала истории коры направлены в общем в сторону приращения материков за счет впадин.

Луна, как увидим ниже, дает нам пример несколько иного хода эволюции поверхности планеты.

Моря Луны как области опускания бывшей гористой суши

Как мы уже упоминали, рассмотрение рельефа краевых участков материков и морей Луны безусловно и независимо от общих гипотез приводит к выводу, что плоские впадины лунных морей образовались

на месте бывших участков гористой суши в результате грандиозных круговых опусканий и разломов. Повидимому, нет ни одной области из числа морей Луны, не сохранившей следов кратерных колец прежнего рельефа гористой суши, погребенного под существующей поверхностью впадин.

Следы погружения в Море Плодородия

В самом западном из лунных морей, в Море Плодородия, следы образования плоской впадины на месте погружившихся гористых участков поверхности, изобиловавших кратерными кольцами, хорошо заметны, например, в восточной части моря между Тарунцием и Колумбо.

Остатки прежних кратерных полей в Море Кризисов

Дно небольшого соседнего Моря Кризисов на всем своем пространстве сохранило следы сети опустившихся кратерных колец и гребней разломов. Полупогруженные остатки бывшей кратерной суши наблюдаются по всему восточному побережью Моря Кризисов, но в особенности западнее цирка Пикара. В отдалении от берега

здесь проходит линия крупных разломов, за которой остатки прежних кратерных полей погружены на большую глубину. Благодаря более светлой окраске валов кратеров можно, при подходящих условиях освещения и прозрачности воздуха, восстановить полностью схему бывшего расположения погруженных кратерных колец. Такую схему опубликовал недавно Чарльз Ф. О. Смит¹; по его словам, поверхность Моря Кризисов как бы заливаает древний мелкократерный рельеф.

Фрагменты цирков и кражей в Море Спокойствия То же самое можно сказать о Море Спокойствия. К юго-востоку от Коши в Море Спокойствия заметно много обрывков некрупных цирков, нарушенных разломами и в значительной мере погружившихся под равнину моря. В северо-восточной части Моря Спокойствия между Янсенем и Сабинной заметны следы мощного пучка гребней и разломов, ныне полупогруженного. Эта погребенная система кражей отщепляется от погруженной группы больших кратеров Ламонта (к юго-востоку от Араго).

Примеры частичного затопления цирков в Море Ясности, в Озере Сновидений и в Море Облаков На берегах обширного Моря Ясности можно видеть множество случаев частичного погружения кратерных колец, от начальной (Посидония) до конечной стадии (Лемонье и другие). К северу от гор Гэмус и от Мыса Ахерузии через Море Ясности тянутся хорошо заметные руины группы обширных цирков, на которых по стыкам линий разломов расположились существующие мелкие одиночные кратеры Деселлини, Бесселя, Лютера и др.

Область так называемого Озера Сновидений — тоже архипелаг погруженных обломков гористой суши. Эта картина типична для ряда других мелких морей и заливов в северо-западном квадранте видимого полушария Луны.

Классическую область в этом смысле представляет Море Облаков. Сложный орнамент из гребней и погруженных кратерных колец, разбитых разломами (Прямая Стена и др.), заметный здесь, изображается теперь даже на мелких обзорных картах, например в каталоге Мэри Блэгт (см. рис. 6). Есть основания думать, что многие из сохранившихся кратеров, подобные Опельту, Максу Вольфу, Гульду и другим, являются очень древними, мало отличающимися по возрасту от погруженных цирковых колец. Полоса погруженных древних кратеров на грандиозной линии разломов отсюда тянется очень далеко на север западнее Коперника до Залива Жары и дальше через Море Дождей к Заливу Радуги (полуразрушенные кратеры Герике, Бонплан, Парри, Фра Мауро, Гамбар, Стадий, Эратосфен и другие).

¹ Smith C. F. O. Markings on the Lunar „Seas“. „Journ. Brit. Astr. Ass.“, 1936, v. 46, N 3, pp. 94—96+1table.

Круговые разломы в Море Влажности

Море Влажности обрамлено целым амфитеатром круговых разломов, тянущихся по обе стороны от Дюппельмайера к Гаспенди. Цирки Дюппельмайера, Гиппала, Агатархида и многие другие, образующие полукруглые бухты по краям равнины моря, являются яркими свидетелями погружения древней кратерной суши.

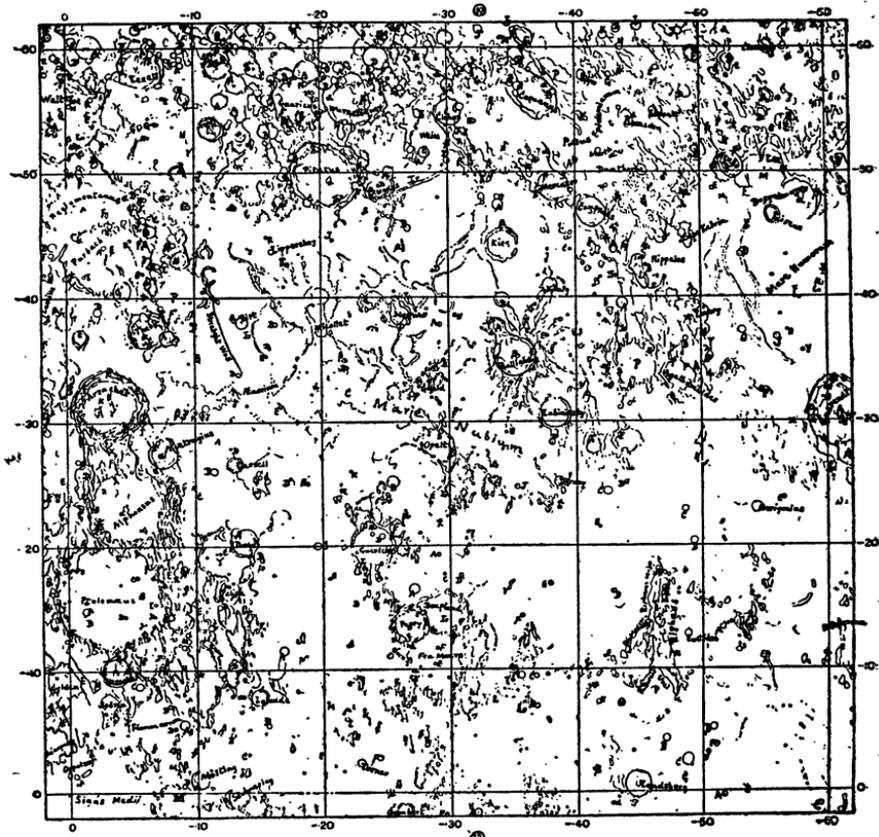


Рис. 6. Следы прежних кратерных гористых областей, затопленных под лавами в Море Облаков (по карте М. Блэгг).

**Происхождение
Океана Бурь и
Моря Дождей**

Самыми обширными равнинами лунной поверхности являются Море Дождей и соединяющийся с ним Океан Бурь, которые занимают большую часть северо-восточной четверти Луны. Погружение здесь в ряде районов зашло так далеко, что, к сожалению, нельзя доказать, что вся эта грандиозная низменность в целом возникла на месте бывшей гористой суши. Мы можем, однако, сказать, что утверждение это верно для

значительной части Моря Дождей и Океана Бурь. Опускание с обрушением фрагментов прежней гористой суши заметно, как было сказано, в центральной и в западной частях Моря Дождей, особенно на побережье Апеннин и Кавказа. Апеннины представляют собою пример грандиозности погружения, прекрасно изученный и постоянно цитируемый в учебниках. В восточной части Моря Дождей не менее ярким примером погружения гористых побережий по нескольким ступеням сбросов является область Залива Радуги. Сбросовая тектоника в Заливе Радуги недавно была подробно описана пражским астрономом Матушеком¹.

Почти в центре Океана Бурь в окрестностях молодого цирка Кеплера наблюдаются обширные группы почти погруженных кратерных колец Вихмана, Флэмстида и многих безымянных. Между Кеплером, Аристархом и Карпатами близ Диофанта и Делиля находится множество островков — обломков прежних горных кряжей и кратеров. Восточнее от Волластона к Рейнеру проходит большая линия разломов, на краях которой кое-где уцелели остатки глубоко погруженной суши. По ее продолжению на юг мы видим группы крупных почти погруженных колец между Дамуазо и Флэмстидом. Не вызывает сомнения, что все юго-восточное побережье Океана Бурь располагается на месте погружения обширных областей гористой суши. В отличие от обычного, это погружение было здесь спокойным и не сопровождалось ступенчатым обрушением по линиям разломов. Последние, видимо, располагались значительно восточнее. Картину разграничения кратерной «суши» и равнины «моря» на юго-восточном берегу Океана Бурь точнее всего можно определить как спокойное подтопление рельефа гористой суши. Любопытно, что здесь (и не только здесь) уровень равнины моря лежит выше некоторых днщ позднейших кратеров.

Северный конец Океана Бурь, или так называемый Залив Росы, возник подобным же образом. Спокойное распространение равнины на поверхность прежней гористой суши отразилось в контурах неполных плоских колец древних кратеров в районе Баббэджа.

По краям лунного диска есть еще несколько небольших равнин, топография которых стала известна лишь сравнительно недавно, так как они видны в очень косом ракурсе. По северо-восточному краю Луны лежат Море Холода и Гумбольдтово Море, на юго-востоке видны части Восточного Моря, наконец, на юго-западном крае диска находятся Южное Море, Море Смита, Море Абея, Море Пенны, Краевое Море, Новое Море и др. Кроме прежних исследований Ю. Франца, имеется много

¹ Matoušek Otakar. Tectonics of the Moon. „Pan American Geologist“, Sept. 1930, v. IV, pp. 81-86, plates XII-XIII, Sinus Iridium; Matoušek O. Die Gegend Sinus Iridium am Monde. „Zentralbl. f. Min.“, 1934, Ss. 10-17.

новых работ, посвященных подробно описанию рельефа этих краевых равнин (например Болла, Эмли, Смита, Баркера и др.). Результаты исследований сводятся к тому, что и краевые моря образовались по всей вероятности тоже на месте погружившихся участков кратерных полей.

Общее заключение о генезисе и возрасте морей Луны Мы намеренно ограничились несколькими общеизвестными примерами из истории рельефа лунных морей. Они оцениваются одинаково всеми исследователями Луны независимо от различия точек зрения. Фай и Пуанкаре, Франц и Шэлер, Павлов и Зюсс, Баррелл и Чемберлен, а также в особенности Леви и Пюизё и, с другой стороны, даже Вегенер вполне согласны, что великие равнины морей Луны образовались относительно поздно и возникли на месте погружившихся областей прежней гористой суши¹.

Забегая несколько вперед, необходимо подробнее сказать о связи морей с кратерными формами рельефа Луны, хотя этот вопрос еще будет рассмотрен в другом месте.

Моря Луны как этап эволюции кратерных форм По величине, очертаниям и по гипсометрическим отношениям существует ряд переходов от морей к большим кратерам. Море Кризисов, Море Нектара, Море Абеля и другие одинаково могут быть названы самыми малыми морями или самыми крупными кратерными кольцами Луны.

Аналогично циркам моря имеют очертания круга или гроздьев кругов. Реже их контуры являются округло-многоугольными (Залив Радуги, Море Кризисов и др.), подобно контурам некоторых древних кратеров. Гипсометрические профили небольших морей довольно близки к профилям самых крупных кратеров.

По времени образования моря представляют естественную ступень в общей эволюции кратерных форм. Цирки, возникшие позже периода образования морей, отличаются в массе меньшими размерами, причем по взаимному наложению колец можно установить, что процесс кратерообразования в позднейшие эпохи был направлен в сторону возникновения все более и более мелких цирков. Между тем погруженные древние кратерные поля отличаются наложением все более крупных колец, завершившихся образованием относительно небольших цирков.

Основу тех и других составляют фрагменты древнейших кражей с подчиненными цирками. Таким образом, как нам придется увидеть ниже, период образования морей в истории поверхности Луны являлся критическим моментом в истории лунного рельефа.

¹ См. Вегенер А. Происхождение Луны и ее кратеров. Гиз, 1923, стр. 41—42, 46.

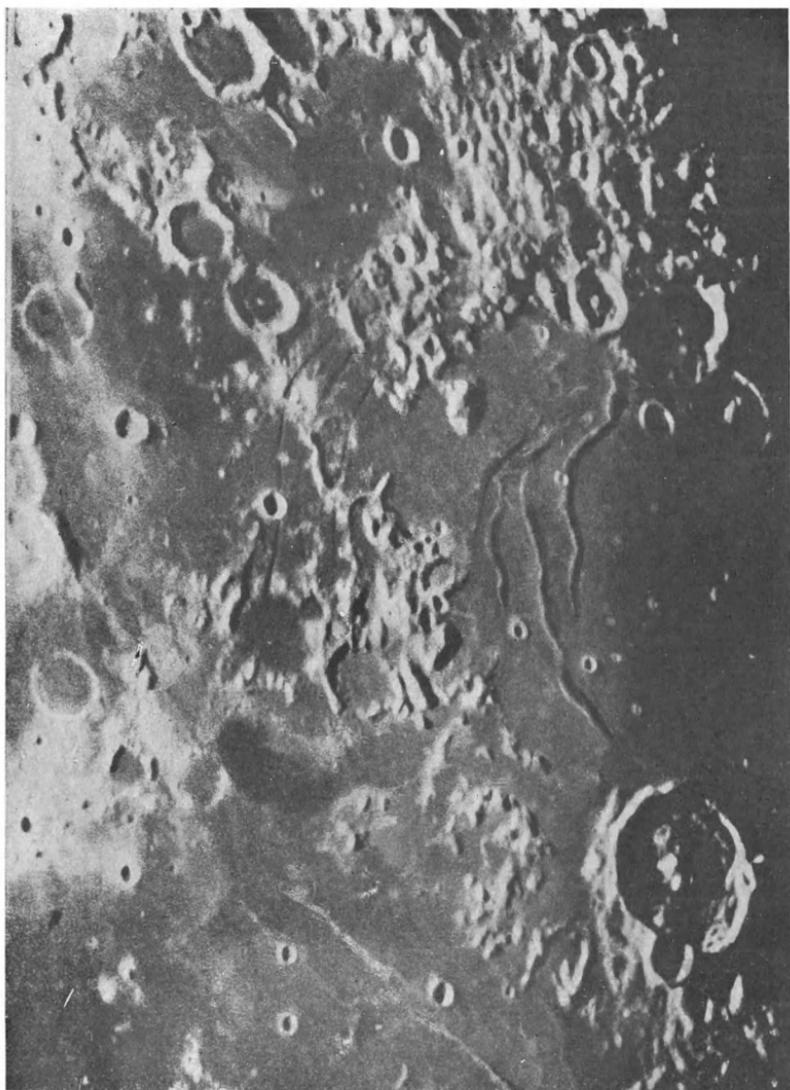


Рис. 7. Круговые разломы с обрушениями в западной половине Моря Влажности.

Крупный сложностроенный кратер в нижнем правом углу снимка—Гассенди.
Кратер с центральной горкой на противоположном берегу моря — Вителло.



Рис. 8. Море Влажности и горные области к востоку и к югу от него.

Хорошо заметны полузатопленные кратерные поля побережий и краевые округлые обрушения близ восточного берега Моря. Большой кратер с выпуклым дном у правого края снимка — Мерсеннь.

Периоды образования впадин Луны. Следы древнейших погребенных морей на Луне

В литературе до сих пор считалось, что в истории Луны был только один период образования больших равнин, поскольку нет никаких морфологических данных в пользу одновременности возникновения девяти главнейших морей. Новейшие исследования внесли существенную поправку в прежние представления. Среди кратеров, по возрасту более древних по сравнению с существующими впадинами морей, на Луне различимы по меньшей мере два великих множества кольцевых гор, характеризующихся последовательным увеличением и убыванием размеров. В районе Алтайских гор на Луне заметен разъединенный цирками кругообразный обрыв, намечающий линию грандиозного опускания, по возрасту более древнего по сравнению с кратерными полями, затопленными в южном конце Моря Плодородия и в Море Нектара. Нельзя не согласиться с мнением Мак Юэна¹, что в районе Алтайских гор на Луне имеются признаки былого существования очень древнего моря, впоследствии разъединенного кратерами, возникшими раньше периода генезиса существующих морей.

Распространение лунных морей Распределение морей на поверхности Луны далеко не случайно. Море Плодородия, Море Спокойствия, Море Ясности, Море Дождей и Океан Бурь — располагаются по кругу.

Они образуют пояс грандиозных опусканий, охватывающий фигуру Луны в сечении, отличающемся от ее современного экватора. К этому Великому поясу морей причленяются сбоку меньшие равнины Моря Кризисов, Моря Облаков, Моря Влажности и Моря Холода.

Любопытно, что это удивительное обстоятельство, которое замечает теперь всякий наблюдатель Луны, могло быть доказано лишь сравнительно недавно.

Вероятное устройство поверхности обратной стороны Луны Время от времени при подходящих фазах либрации приоткрываются участки, относящиеся уже к противоположной стороне лунного шара. По ним можно сделать важные заключения о вероятном устройстве поверхности недоступной глазу задней стороны Луны.

Впервые Ю. Франц выяснил, что в полярных частях лунного глобуса в стороны от Великого пояса морей на краях диска нет никаких признаков присутствия значительных равнин. Напротив, можно думать, что горные области, здесь преобладающие, заходят и на ту сторону Луны. Зато несомненно, что Великий пояс морей продолжается в особенности

¹ См. Mac Ewen H. Mercury III. „The Journ. of the Brit. Astron. Ass.“, v. 39, N 8, June 1929, pp. 297—311.

на юго-западе на заднюю сторону Луны. По словам Ю. Франца, «...на юго-западе находится Южное Море, Море Абеля, В. Гумбольдта, Моря Смита, Пены, Волн, Краевое, Новое и море, находящееся по ту сторону кратера Гана. Они заставляют предположить, что по ту сторону западного края находится еще много других морей, и Море Смита, так же, как и три последних из названных морей, продолжаются на задней стороне Луны. Возможно, что на обратной стороне Луны, позади от ее западного края, существует большой океан, заливами которого и являются моря Смита, Краевое, Новое и Транс-Ган.

При вrocławских измерениях Луны в благоприятных фазах либрации на восточном крае Луны также были обнаружены новые моря. Из них Восточное Море... так же, как и его длинный южный залив, заходит далеко на ту сторону Луны. С другой стороны, при этом стало известно, что по ту сторону от Океана Бурь начинается богатая кратерами возвышенность, переходящая через восточный край Луны. Там видна даже система светлых лучей, исходящая из центра, который лежит на задней стороне Луны; измерениями их можно даже определить положение излучающего их кратера, которого мы никогда не видим... Принимая во внимание все эти соображения, нам приходится сделать вывод, что на задней стороне Луны, позади ее северо-восточного края севернее пояса морей, находится обширная, светлая, богатая кратерами возвышенность, совершенно лишенная морей»¹.

**Существует ли
второй пояс
морей?**

Дополняя выводы Франца, Леви и Пюизё рассматривали впадины Моря Влажности, Моря Облаков, Залива Росы и некоторые другие, как намечающие линию второго круга, поперечного к главному поясу морей. Эта интересная гипотеза еще не подтверждена детальным сравнением соответствующих участков края лунного диска. В пользу этого предположения говорит то обстоятельство, что на обратной стороне Луны должна существовать большая впадина, служащая антиподом наблюдаемому приливному удлинению формы Луны, обращенному к Земле.

Точна ли аналогия с расположением структурных линий Земли?

Леви и Пюизё полагали, что круговое распределение областей опусканий на Луне напоминает круговое расположение важнейших структурных линий Земли. Но мы должны иметь в виду, что старая идея о расположении основных структурных линий по большим кругам на Земле оказалась недостаточной для объяснения всей исторически сложившейся картины деформаций земной коры или тем более для сколько-нибудь подробного ее воспроизведения. Действительное положение вещей на Земле оказалось гораздо более сложным, что и понятно, ввиду гораздо более дифференцированного состава

¹ Франц Ю. Цит. соч., 1923 (русский перевод), стр. 108—109.

коры, содержащего на Земле слоистые осадочные массы, образование которых едва ли могло иметь место на Луне.

Так или иначе, закономерное расположение морей на Луне знаменует собою кольцевой пояс грандиозных опусканий. Масштаб этой зоны опусканий исключает возможность локального объяснения.

Великий пояс морей как следствие деформации лунного глобуса в целом

Возникновение субэкваториального Великого пояса морей возможно связано с изменениями формы лунного глобуса в целом. Франц, а также Леви и Пюизё считали самым естественным объяснением расположения морей то, какое вытекает из анализа движения Луны, данного Джорджем Говардом Дарвином. Как было выяснено Дарвином, Луна некогда обращалась вокруг Земли значительно быстрее. Ее вращение вокруг оси тоже было более быстрым. Сжатие лунного глобуса у полюсов в эти эпохи должно быть заметно большим. При вековом замедлении вращения происходило приспособительное изменение формы планеты в сторону уменьшения сжатия шара у полюсов (которое теперь, как мы знаем, чрезвычайно незначительно). В процессе подобного изменения формы Луны ее экваториальные части должны были стать ареной грандиозных опусканий, тогда как полярные шапки должны были испытать под давлением перемещавшихся масс обширные поднятия и разломы.

Происхождение морей согласуется с теорией Дж. Г. Дарвина

Объяснение генезиса морей в духе теории Дарвина замечательным образом предсказывает связь расположения пояса опусканий с явлением так называемой радиации кратеров и разломов, о чем будет идти речь ниже. Кроме того, из теории следует, что положение морей наметилось при ином положении оси вращения, чем существующее. Как говорит Ю. Франц, «прежде пояс морей должен был лежать на экваторе, и его теперешнее смещение может быть объяснено скольжением лунной коры по находившейся под нею жидкой магме»¹. Нужно, однако, добавить, что последнее предположение далеко не обязательно.

Способы смещения пояса опусканий по отношению к лунному экватору

Имеются по крайней мере два одинаково возможных способа смещения пояса опусканий по отношению к экватору. Или действительно могла сместиться оболочка по отношению к вращавшейся магматической массе или, что морфологически более вероятно, перемещалась самая ось вращения в целостной массе планеты, т. е. имело место действительное, а не мнимое движение полюсов. Хотя к перемещению полюсов и предпочтительнее, по вполне понятным физическим основаниям, прибегать лишь в крайнем случае, тем не менее в данных условиях оно было возможно и наиболее вероятно.

¹ Франц Ю. 1923. стр. 111.

Перемещение полюсов как следствие опусканий (по Дарвину)

Дж. Г. Дарвин в одной из работ, специально посвященной анализу возможных изменений движения планеты под влиянием геологических причин, показал, что поднятия или опускания обширных частей вращающегося сфероида, не нацело твердого, могут вызвать перемещение оси вращения. Дарвин, правда, подчеркивал, что для сколько-нибудь заметного перемещения полюсов требуются очень большие площади опусканий или поднятий. По расчету Дарвина, в условиях Земли погружение всей Африки могло иметь следствием перемещение полюсов примерно лишь на полтора градуса.

Возможные перемещения полюсов в зависимости от размера площадей поднятий или опусканий (по Дж. Г. Дарвину)

| Площадь поднятия или опускания в долях земной поверхности | Отклонения полюса |
|---|-----------------------|
| 0,001 | 2 $\frac{1}{4}$ ' |
| 0,005 | 11 $\frac{1}{8}$ ' |
| 0,01 | 22 $\frac{1}{8}$ ' |
| 0,05 | 1° 46 $\frac{1}{2}$ ' |
| 0,1 | 3° 17' |
| 0,15 | 4° 33 $\frac{2}{8}$ ' |
| 0,2 | 5° 36 $\frac{2}{8}$ ' |
| 0,5 | 8° 41 $\frac{1}{2}$ ' |

Площадь всех впадин лунных морей составляет вероятно ¹ 7—7,5 млн. кв. км, т. е. в абсолютном значении всего около четверти территории Африки. Однако эта площадь уже составляет около 20% всего лунного шара. В условиях Земли погружение 20% площади (т. е., например, одновременное погружение Европы, Азии, Африки и Северной Америки, вместе взятых), могло, по Дж. Г. Дарвину, повлечь за собою отклонение полюсов лишь на пять с половиной градусов.

Для Луны с ее резкими амплитудами высот, небольшими размерами, меньшей массой и более медленным вращением погружение 20% площади могло дать более значительный эффект перемещения полюсов, особенно при наличии обширных

¹ Принимая пространство морей этой стороны Луны за половину.

резервуаров или даже почти сплошного слоя жидкой магмы. Согласно с теорией Дарвина было бы довольно полным, если бы удалось доказать, что, например, южный полюс Луны в периоде образования морей долгое время находился в окрестностях Тихо или Магинуса, т. е. на расстоянии 35—40° от современного местонахождения полюса.

Вероятное положение полюсов в период образования морей Луны

Приняв пояс морей за прежнюю экваториальную плоскость и непосредственно проектируя выход полюса на глобус, мы тоже получаем отклонение градусов на 25—30, но местоположение полюса попадает при этом значительно западнее в район гористой древней суши между Алтайскими горами и Южным Морем. Физически именно эта область представляется наиболее правдоподобным прежним местоположением полюса (до сформирования пояса морей). Полезно было бы провести обратную математическую проверку, исходя из указанных данных, предполагаемого смещения оси вращения, глубины и площади опускания. В плане настоящего очерка мы, однако, не можем больше углубляться в гипотетические расчеты и должны вернуться к описанию самих форм поверхности Луны. Следует отметить, что субэкваториальный пояс морей не является единственной замечательной особенностью фигуры Луны.

„Приливная опухоль“ на Луне

Распределение неровностей видимой половины лунного диска в общем указывает на довольно заметную асимметричную вытянутость фигуры Луны по направлению к Земле. Это удлинение является следствием перемещения масс под влиянием взаимного притяжения Земли и Луны. По определению Фая и Дж. Г. Дарвина, мы видим на лице Луны как бы «приливную опухоль» или «окаменелый прилив».

Размер удлинения лунного шара

Теоретически из анализа движения Луны у разных авторов получались слишком различные величины удлинения лунного шара. Практически наблюдатели вначале тоже сильно преувеличивали значение приливной вытянутости лунного глобуса.

Приводим на 70 стр. табличку вычисленных величин удлинения Луны по направлению к Земле в долях лунного радиуса (по Х. Риттеру) ¹:

Из гипсометрических измерений, о которых будет упомянуто ниже, Риттер дает цифру, сходную с цифрой Майнка. Удлинение Луны по направлению к Земле, по Риттеру, тоже равно 0,004 лунного радиуса, т. е. около 696 м.

¹ Ritter Hellmuth. Versuch einer Bestimmung von Schichtenlinien auf dem Monde. „Astronomische Nachrichten“, Bd. 252, 1934, Ss. 157—172.

**Величины удлинения Луны по направлению
к Земле в долях лунного радиуса**

(по Х. Риттеру)

| | |
|-------------------|---------------------------|
| Ньютон | +0,000016 лунного радиуса |
| Лагранж | +0,00037 |
| Лаплас | +0,000075 |
| Ганзен | +0,034 |
| Гусев | +0,07 |
| Кайзер | +0,031 |
| Бек | +0,021 |
| Саундер | +0,0052 |
| Франц | +0,00114 |
| Маинка | +0,004 |
| Виртц | +0,0014 |

**Приспособлен-
ность формы Лу-
ны к условиям
движения**

Что касается сжатия лунного шара у полюсов, то, как и следовало ожидать по медленному ее вращению вокруг оси, величина его ничтожна, что подтверждается и непосредственным наблюдением.

Короче говоря, современная форма Луны очень точно приспособлена к условиям движения, распределению масс и взаимодействию с Землей. В ходе времен эти условия (скорость вращения, физическое состояние, приливные силы) изменялись. Очевидно, и форма Луны должна была претерпевать существенные перемены, которые, в свою очередь, могли произвести крупные изменения вида поверхности. И в самом деле, познакомившись с особенностями лунных морей, мы видим, что эти бывшие превращения, диктуемые эволюцией условий движения Луны, бесспорно имели место. Невозможно переоценить сравнительно-геологическое значение дальнейших исследований формы Луны и Земли, казалось бы специальных и абстрактных. Не приходится сомневаться, что дальнейшее развитие точных представлений о фигуре планет по отношению к условиям их движения позволит более глубоко проникнуть в их геологическую историю.

Ряд ученых пытался выразить наблюдаемую картину распределения основных неровностей поверхности Луны графически в виде карт-схем распределения средних высот или аналитически в виде формул, связывающих средние высоты лунных местностей с их географическим положением. Эти попытки представляют большой теоретический интерес.

Карта изогипс Франца

Ю. Франц составил карту изогипс поверхности Луны, учитывая отклонения высот отдельных кратеров от некоторого среднего уровня (по измерению положения точек от либрации). Наибольшие впадины на Луне располагаются среди Великого пояса морей в северо-восточном квадранте видимой половины лунного диска. Эту наиболее глубокую впадину, лежащую более 2 400 м ниже среднего уровня, составляет большая часть Океана Бурь и Моря Дождей (к юго-востоку от Платона, между Коперником и Аристархом).

Интересный способ для определения формы Луны применил Х. Риттер (в работе, цитированной выше). Он воспользовался наблюдениями линии терминатора, т. е. границей света и тени при различных фазах Луны. Если бы Луна была совершенным шаром, вид линии терминатора был бы вполне геометрически правильным, причем освещенная площадь каждой фазы, вычисленная из теории движения Луны, абсолютно точно совпадала бы с наблюдаемой. Риттер получал нарочно передержанные фотографические снимки Луны в разных фазах и по ним рассчитывал разницу величин освещенных участков, вычисленных и наблюдаемых. Простой по сути дела способ определения и вычисления практически крайне осложняется поправками на либрацию. Результаты своих вычислений Риттер представил в виде серии широтных профилей средних высот Луны и в виде подробной карты изогипс (в масштабе около 1 : 7 000 000).

Полученная картина в общем соответствует прежней схеме Франца.

Жоржетта Ноккер¹ дала недавно аналитическое выражение имеющихся гипсометрических данных в виде следующей формулы, определяющей высоты точек поверхности Луны:

$$\Delta r = +4,55 \cdot \cos \theta + \sin \theta \cdot (0,56 \cos \alpha + 7,54 \sin \alpha) + 4,83 \frac{(3 \cos^2 \theta - 1)}{2} + + 5 \cos \theta \cdot \sin \theta \cdot (2,09 \cos \alpha + 5,01 \sin \alpha) + 3 \sin 2\theta (1,18 \cos 2\alpha + 1,8 \sin 2\alpha),$$

где θ — лунная широта, считая 0 — 180° от южного полюса, а α — долгота 0 — 180°, считая с востока; гармоники первого порядка отвечают эксцентрисической позиции фигуры Луны по отношению к соответствующей сфере, а гармоники второго порядка выражают уплощение по лунным меридианам.

Фигура поверхности Луны по формуле Ноккер довольно хорошо совпадает с результатами Ю. Франца.

¹ См. N o c k e r e G. Representation analytique du relief lunaire. „Comptes-rendus hebdomadaires de l'Acad. Sci. Paris“, v. 202, 1936, pp. 1657—1688.

Сложный рельеф поверхности возвышенных областей Луны Слабой стороной характеристик гилсометрии Луны является несовершенство определений средней высоты поверхности так называемых «областей суши», т. е. гористых частей лунного глобуса.

В отличие от впадин, возвышенные области Луны почти никогда не представляют собою плоских равнин. Напротив, рельеф их чрезвычайно сложен и нередко состоит из многоярусного нагромождения кольцевых гор и пиков, горных гребней, бугров, ступеней, борозд и глубоких расщелин. Амплитуда высот в горных областях Луны часто достигает до 7 000—9 000 м (считая от дна трещин до вершин высочайших пиков). Отдельные неровности рельефа имеют самые различные размеры, от мельчайших холмов и скалистых блоков в несколько сот метров, лежащих на пределе видимости телескопов, до грандиозных кольцевых хребтов, окаймляющих кратерные впадины в сотни километров в диаметре, приближающиеся по величине к необъятным равнинам морей. Крутизна склонов, порою доходящая до предела естественного откоса сыпучих тел, обычно умеренна и по новейшим данным профилей, составленных Гудэкром, в среднем не превышает 16—20°.

Судя по шагреневанности теней на склонах, замечаемой при больших увеличениях, а также по аномально-большой поглощаемости света от поверхности Луны, полагают, что в мельчайших деталях, находящихся уже за пределами видимости, поверхность горных возвышенностей Луны не менее сложна. Она, вероятно, похожа на микрорельеф земных глыбовых россыпей, скалистых обвалов и лавовых полей.

Ясно, что при такой сложности рельефа задача точного определения средних высот поверхности горных областей Луны еще далека от окончательного разрешения. Даже способ Риттера не свободен от возможности грубого искажения действительных отношений высот, поскольку он основан на суммарном анализе положения тени терминатора; и только.

Целесообразно для этого применить приемы морфологического анализа.

Надо отличать гипотетическую поверхность, образуемую высотными отметками наибольших вершин горной области, от поверхности страны, являющейся пьедесталом для отдельных пиков и других возвышенностей. Первая из названных поверхностей соответствует (на языке земной морфологии) так называемому «уровню вершин» горных стран, а вторая — «остову» или «цоколю» горной области. В рельефе Луны следует отмечать еще и третий, самый низкий, уровень высот, который отвечает отметкам дна зияющих трещин, обычно весьма распространенных на поверхности горных областей.

В литературе до сих пор не было обращено должного внимания на взаимоотношения названных высотных уровней в

различных горных областях Луны. А между тем анализ взаимоотношений «уровня вершин», «уровня цоколя» и «уровня трещин» может дать существенные указания о генезисе лунных гор. Допустим, что исследование обширной площади на Луне покажет повышение уровня вершин кратеров, сопровождаемое повышением уровня цоколя всей этой местности. Таким образом будет установлена связь более интенсивного кратерообразования с региональным поднятием поверхности данного участка лунного глобуса. Можно представить, напротив, что никакого изменения уровня цоколя, отвечающего повышению уровня вершин, не найдется.

Мыслимы и другие случаи зависимости, например, наличие резких скачков в положении уровня вершин и уровня цоколя, которое свидетельствовало бы о дизъюнктивных нарушениях, происшедших после кратерообразования.

Детальный анализ гипсометрии горных областей Луны, остающийся в значительной мере задачей будущих исследований, чреват последствиями для гипотез о генезисе лунной поверхности. Очевидно, что взаимосвязь в расположении кратерных полей и региональных общих поднятий поверхности, т. е. зависимость «уровня вершин» от «уровня цоколя», если таковая существует (см. ниже), не может быть понята с точки зрения экзогенного происхождения групп лунных кратеров (вследствие ударов и взрывов при метеоритной бомбардировке). Напротив, отсутствие взаимосвязи между районами регионального общего поднятия поверхности и наиболее мощного кратерообразования, если бы оно было установлено, составило бы загадку для точки зрения, считающей кратеры порождением внутрипланетных сил развития поверхности Луны.

Расположение горных областей Луны

Расположение горных областей на Луне не обратное положению впадин лунных морей. Главные гористые области лежат по обе стороны субэкваториального пояса главных впадин лунной поверхности. Околополярные части лунного глобуса, в особенности окрестности южного полюса, являются обширными горными массивами. Отдельные участки гористой суши уцелели местами и среди Великого пояса морей. Как мы уже знаем, впадины морей содержат погребенные остатки бывших гористых областей, впоследствии погружившихся и затопленных лавами. Таким образом, изучение горных областей дает ключ к пониманию генезиса более древних формаций рельефа Луны.

Лунные кордильеры—краевые поднятия типа Апеннин

Недалеко от середины лунного диска среди пояса морей между цирком Коперника и круглой низиной Моря Ясности находится одна из самых своеобразных возвышенностей Луны — Апеннины. В отличие от большинства

горных областей Луны, Апеннины представляют собою линейно вытянутую горную цепь, чуть дуговидно изогнутую и почти лишенную кратеров на склонах. Горная цепь эта местами достигает 5 600—6 000 м высоты над берегом соседнего Моря Дождей. Ее северо-восточный склон очень крут и обрывист. Юго-западный склон Апеннин более покат и широк (см. рис. 2).

Апеннины тянутся почти прямо на северо-запад километров на четыреста от цирка Эратосфена. На широте между Автоликом и Линнеем Апеннинская цепь становится низкой, узкой и затем обрывается в архипелаг мелких бугров на перешейке между морями Дождей и Ясности. Юго-западное подножие Апеннин погружается в Море Паров постепенно и образует сложно изрезанные зигзаги скалисто-бугристых шхер и островков, прослеживающихся на сотни километров к юго-западу вплоть до кратеров Манилия и Сульпиция Галла. Напротив крутые утесы противоположного, обращенного к Моря Дождей склона Апеннин на значительном протяжении являются местами волнисто-ровными, словно по ним прошла плоскость скольжения. И в самом деле, берег Моря Дождей у подножия Апеннин загроможден обломками хребта, раздробленными параллельно протяжению горной цепи на множество отдельных кусков и клинбев.

Аналогичная продольная раздробленность замечается даже среди удаленных фрагментов гор, лежащих в Море Дождей у цирка Архимеда.

Кроме продольных нарушений в Море Дождей, обусловивших крутизну обрывистого северо-восточного склона, в рельефе Апеннин заметны многочисленные поперечные разломы, секущие хребет с юго-запада на северо-восток от берега одного моря до другого. Они особенно отчетливо видны при подходящем освещении в юго-восточном конце горной цепи ближе к Заливу Жары. Параллельно им от главного гребня горной цепи отходят боковые контрфорсы — гребни, свидетельствующие о том, что рельеф более пологого склона Апеннин является более древним сравнительно с продольными нарушениями, впоследствии создавшими обрывы берега Моря Дождей (см. рис. 9).

Картина строения тут настолько ясна, что к такому выводу приходят все новейшие исследователи морфологии лунных Апеннин.

Апеннины в целом составляют часть гористого побережья грандиозной круговой впадины Моря Дождей. Асимметричное краевое поднятие древней суши, обусловившее наклон поверхности хребта от моря, в районе Апеннин сопровождалось или вскоре сменилось опусканием области морской впадины, благодаря чему и возник этот своеобразный морфологический тип краевых хребтов, или кордильер.

Другие примеры лунных кордильер (кордильеры Залива Радуги, горы Гэмус и другие)

Типичные особенности береговых хребтов наблюдаются и у нескольких других горных местностей Луны.

Взять хотя бы противоположный берег того же Моря Дождей. Здесь, над берегом Залива Радуги, высится безымянная горная цепь совершенно аналогичного вида, как бы представляющая

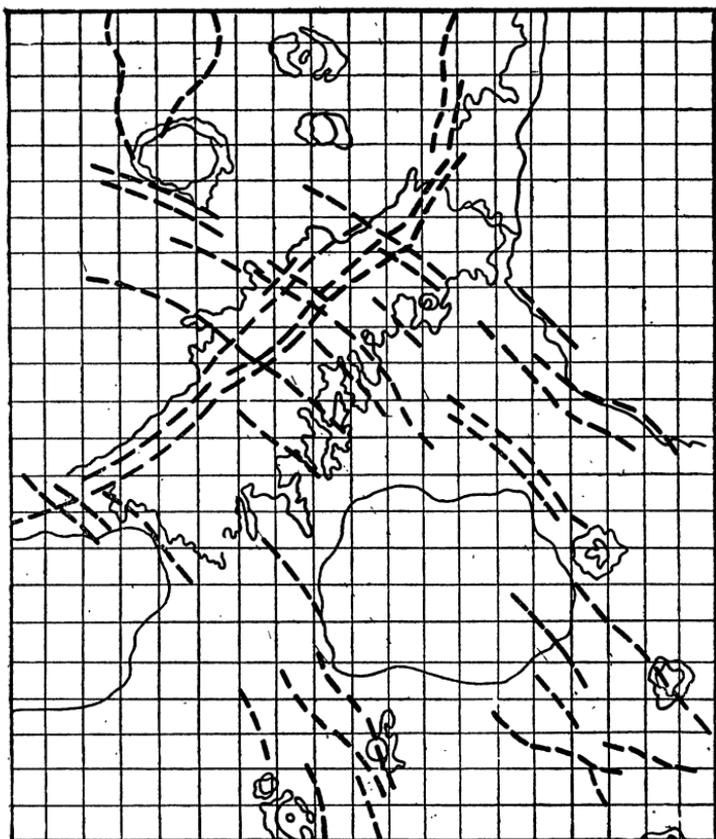


Рис. 9. Схема тектоники горной области лунных Апеннин.

Прерывистыми черными линиями намечены отчетливо выраженные в рельефе разломы; пояс СВ—ЮЗ разломов пересекается более молодыми СЗ—ЮВ обрушениями

Апеннины в миниатюре, столь же асимметрично наклонная от моря и с подобными же линиями нарушений, тянущимися параллельно побережью залива. Остаток асимметричного гористого борта на южном побережье Моря Ясности известен под именем гор Гэмус. Гораздо менее резко выражена асимметрия у кордильер южного и северо-восточного берегов Моря Кризисов.

К типу кордильер, возможно, относится и плоско-асимметричный зубчатый обрыв Алтайских гор, уже почти разрушенный и перекрытый позднейшими кратерами. Как мы уже говорили, Мак Юэн и другие авторы не без основания полагают, что лунный Алтай представляет остаток кордильеры, окаймлявшей край очень древнего некогда бывшего моря. Древнейшая впадина, составлявшая подножье Алтайских гор, была впоследствии нацело застроена валами кольцевых гор, которые, в свою очередь, возникли гораздо раньше впадин существующего Великого пояса лунных морей.

Известные Рифейские горы (в восточной части Моря Облаков) тоже имеют вид асимметричного берегового хребта, связанного скорее не с побережьем моря, а с контуром относительно небольшого, почти целиком подтопленного цирка. Образований, подобных Рифейским горам, довольно много как в области Моря Облаков, так и на побережьях Океана Бурь.

Между кордильерами и валами крупных кратеров нет резкой границы

Между кордильерами, если их рассматривать как береговое обрамление впадин морей, и между валами крупных кольцевых гор на Луне нет принципиальной границы, подобно тому, как нет безусловной границы

между небольшими морями и самыми крупными кратерами. Мы видели, однако, что большинство побережий лунных морей имеет гораздо более сложные и постепенные переходы от поверхности впадин к рельефу гористой суши. И поскольку кордильеры среди побережий морей представляют редкие примеры того, что в крупных кратерах становится правилом, можно думать, что возникновение береговых хребтов типа Апеннин на Луне происходило главным образом в эпохи, завершающие периоды образования морей.

Лунные Кавказ, Альпы, Карпаты как примеры типа сложнобугристых нагорий

Северным продолжением Апеннин является лунный Кавказ. Это — многовершинный горный массив, гораздо менее асимметричный и вытянутый ближе к направлению меридиана. Своеобразные и сложные ломано-угловатые очертания подножий Кавказа обусловлены ортогональной сетью разломов. Зубчато-прямоугольный край западного берега Кавказа и сопряженные с ним волнистые трещины в соседней северо-восточной части Моря Ясности отчетливо видны лишь при очень косом освещении.

Название этой горной области, данное Гевелием, очень неудачно. Лунный Кавказ, с его сложнобугристой, кое-где испещренной кратерами поверхностью, более похож на земные Апеннины, а лунные Апеннины — на земной Кавказ. Восточный край Кавказа обрывист, а западный более покат, и в этом отношении Кавказ является продолжением лунных Апеннин.

Многовершинный, беспорядочно бугристый массив гор Кавказа образует мыс между Болотом Туманов и Морем Яс-

ности. Он повышается и расширяется к югу до гигантского цирка Эвдокса, лежащего несколько в стороне. За Эвдоксом Кавказские горы постепенно суживаются и распадаются на группы вершин, которые достигают берегов Моря Холода близ кратера Аристотеля. По обе стороны Кавказского горного массива заметны полосы бугристых понижений, подтопленные соседними морями.

У северо-западного конца Кавказских гор начинается более низкая сложнобугристая горная область лунных Альп, слегка повышающаяся в сторону Моря Дождей. Альпы разделены широким поперечным рубцом Долины Альп (о происхождении Долины Альп потом придется сказать особо, поскольку этот вопрос породил много толков среди селенографов). Юго-восточный край Альп довольно высок и круто обрывается над Морем Дождей.

Лунные Карпаты (на южном берегу Моря Дождей) являются еще более неправильным образованием. Они составляют самую высокую часть обширного и плоского древнего нагорья, перекрытого и заметно преобразованного темноцветными лавовыми покровами кратера Коперника. Южный конец этой области тянется до цирков Гамбара и Ландсберга. Карпаты слегка асимметричны, с уклоном на юг. Вскоре на небольшом расстоянии от побережья они переходят в плоское гребнистое нагорье, по рельефу независимое от очертаний впадины Моря Ясности. В отличие от Кавказа и Альп главные структурные линии в рельефе Карпат являются поперечными к направлению побережья морской впадины.

Элементы асимметрии, проявляющиеся в наклоне поверхности лунных Альп и, частично, Кавказа, связывают представителей типа нагорий с типом лунных кордильер. Нагорья представляют собою фрагменты краевых участков древней суши, несколько более удаленные от края морей или же менее резко приподнятые (сравнительно с типичными кордильерами).

Гребни—самый обычный тип горных местностей Луны Линейное или гребнистое расположение бугров и гряд, которое мы наблюдаем в Рифейских горах и в Карпатах, является характерным для множества других участков гористой суши на Луне. Почти параллельные пучки или спутанные ветвящиеся пряди гребней и гряд, группы бугров, пиков и кратерных гирлянд, рассеченные рядами борозд и трещин, тянутся широкими полосами в одном направлении на целые сотни километров. Они прослеживаются не только в рельефе горных областей Луны, но и во впадинах морей, просвечивая там под покровом последующих лавовых излияний. Вид гребней чрезвычайно разнообразен. То это тесно собранные пучки линейно сгруппированных вершин и борозд, то по существу не ориентированный линейно рельеф кратерных полей, рассеченный более или менее густыми рядами трещин.

Во впадинах морей видны или такие же пучки погруженных горных гребней или отдельные, нередко разветвляющиеся, узкие кряжи, похожие на жилы, или же, наконец, уступы, намечающие границы надломов и трещин. Среди кратерных полей гребни и борозды обычно бывают более развиты, главным образом в промежутках между цирками. Нередко ландшафт линейных пучков гребней и борозд сильно разрушен, сглажен или нацело погребен под этажами позднейших цирков, разломов и покровов. Местами линейное расположение становится заметным лишь при определенном освещении возле самой грани терминатора. При изучении борозд и трещин даже самые подробные снимки из фотографических атласов Луны не заменяют преимуществ визуального наблюдения.

Наилучшим справочником являются цитированные карты-схемы Мэри Блэгг, на которых линейная ориентировка описываемого типа горных ландшафтов Луны передана замечательно ясно и верно. Бесчисленное количество таких горных гребней, подобных Рифейским горам, остается еще безымянным и нуждается в более точных изображениях и описаниях. Классическими местами развития горных гребней на Луне являются: область больших кратеров между срединным заливом и цирком Арцахель, фрагменты суши в Море Облаков, юго-западное побережье Моря Влажности и многие другие.

Внешний облик отдельных элементов

Морфологическое разнообразие типа гребней. Возможное различие их генезиса

рельефа, которые можно отнести к типу горных гребней, бывает весьма разнообразным. Так, в знакомой нам области Карпат бросается в глаза различный вид гребней и борозд на самом берегу Моря Дождей, т. е. собственно в Карпатских горах и юж-

нее в районе окрестностей кратера Коперника. Гребни Карпат — неправильные, бугристо-расщепляющиеся, включающие остатки небольших цирков, в целом на большом расстоянии почти прямолинейны. Ложбины между буграми и гребнями иногда имеют облик широких трещин — как бы «разводьев» между фрагментами гористой суши, т. е. разломов, сильно разрушенных и погребенных под последующими образованиями.

Поблизости к Копернику гребнистость такого рода сменяется диссимметричным венцом тонких и мелких валиков и ложбин. Они становятся более грубыми, петельчато-волнистыми по мере приближения к кратерному валу. В южном конце этой области суши снова преобладает прямолинейная бугристость, более плоская и расплывчатая, где многие ложбины и борозды явно связаны с залеченными или разрушенными трещинами разломов. Наконец, к западу от Коперника на берегах Залива Жары гребни и гряды становятся разреженными и одиночными. Они отчетливо намечают линии, по которым происходило опускание впадины моря.

В данном случае очевидно, что венец борозд и валиков вокруг Коперника имеет иное происхождение по сравнению с линейным рельефом Карпат и в особенности по сравнению с жилообразными гребнями дна Залива Жары. В то время как ореол валиков и ложбин вокруг Коперника является периферической каймой вала кратера и представляет собою по существу аккумулятивную форму рельефа, грядово-гребнистые горы лунных Карпат связаны не только с нагромождением материала, но и с раздроблением коры, а одиночные гребни на побережье между Эратосфеном и Герике определяются главным образом разломами.

Можно было бы привести множество подобных примеров морфологического разнообразия деталей рельефа, объединяемых в типе горных гребней.

Линейно-гребнистый рельеф на Луне обычно связан с региональными системами разломов

Если не считать венцов радиально направленных неровностей вокруг некоторых кратеров (Коперника, Кеплера, Буллиальда и др.), можно сказать, что ребристо-бороздчатый или гребнистый рельеф на Луне обычно связан с разломами. Региональные системы разломов и связанные с ними ряды бугров и гребней бывают различной сохранности: от сквозных висящих трещин и резких надломов, секущих острые бугры, до широких расплывчатых желобов, чередующихся с пологими сглаженными возвышенностями. Порою в одной местности наблюдается несколько генераций разломов и возвышенностей линейно-гребнистого типа, накладывающихся друг на друга. Разная степень сохранности форм ландшафта такого типа указывает на неодинаковый возраст подобных образований в различных областях Луны. Но в общем линейно направленный ребристо-бороздчатый рельеф относится, как правило, к числу очень древних лунных формаций.

Являются ли борозды и трещины на поверхности Луны настоящими разломами?

Нужно иметь в виду, что термин разломы здесь употребляется исключительно лишь в том смысле, как его принято понимать в геологии, т. е. только в отношении нарушений сплошности в структуре коры, обусловленных тектоническими движениями и сопровождавшихся перемещениями.

Старый взгляд на борозды и трещины на Луне, как на результат термического растрескивания

До сравнительно недавнего времени в селенологии было распространено обратное убеждение. Полагали, что большинство борозд и трещин на Луне обусловлено внешними метеорологическими факторами. В течение долгого дня, продолжающегося на Луне больше семи наших земных суток, когда солнечные лучи непрерывно накаляют каменистую почву, не защищенную атмосферой, должно происходить сильное

разогревание горных масс (как мы видели, вероятно до 80—120°). С наступлением столь же длинной ночи температура на затененной поверхности быстро, в течение немногих часов, на закате солнца падает почти на 100°, приближаясь к 0, и затем продолжает понижаться, повидимому, до минус 80—115° С. С восходом солнца должно начаться новое быстрое разогревание. Картина термических колебаний должна сильно варьировать в зависимости от сложности рельефа лунной поверхности. Крутые склоны, находящиеся в тени или обращенные в обратную сторону от солнца, будут нагреваться меньше и короче по сравнению с пологими, обращенными к свету участками поверхности. Обширные плоские равнины будут охлаждаться и накаливаться больше и равномернее горных стран.

Отсюда можно заключить, что изменение температур, как следствие нагревания и охлаждения, в областях лунных равнин может быть наибольшим и естественно должно дать более резкий возможный эффект растрескивания и раздробления поверхности. Подобные термические колебания, если они повторяются изо дня в день в течение множества веков, представляют внушительную силу разрушения. Ее геологическую роль в истории рельефа Луны, разумеется, не следует игнорировать. Таково мнение многих старых исследователей Луны, поддерживаемое в новейшей литературе Ю. Францем. Но это мнение следовало бы проверить наблюдениями.

Трещины поверхностного термического происхождения в плане должны образовать мозаику, по густоте, размерам и общему узору прямо зависящую от местных условий микро-рельефа, прежде всего от направления и крутизны склонов. В такой мозаике самыми обычными должны быть переплетающиеся звездчатые и полигонально-кольцевые растрескивания, бороздящие поверхность по различным направлениям.

Метеорологическое объяснение применимо лишь к мельчайшим полигональным растрескиваниям лунной поверхности

Нечто похожее было замечено Кригером и другими наблюдателями в днищах нескольких лунных кратеров. Но здесь речь идет лишь о полигональных растрескиваниях ничтожной величины (150—50 м) в поперечнике, лежащих на пределе видимости при самых больших увеличениях телескопов.

А нас интересует обычный ландшафт лунной поверхности, морфологически и по масштабу совсем иной. Как увидим ниже, на поверхности Луны встречаются борозды и зияющие трещины шириной в сотни метров, уходящие вглубь тоже на много сот метров, кривые, угловатые или прямолинейные, нередко параллельно тянущиеся на десятки и даже на сотни километров (например, трещина у Тризнекера более 350 км). К таким обычным образованиям лунного рельефа метеорологическое объяснение очевидно уже неприменимо.

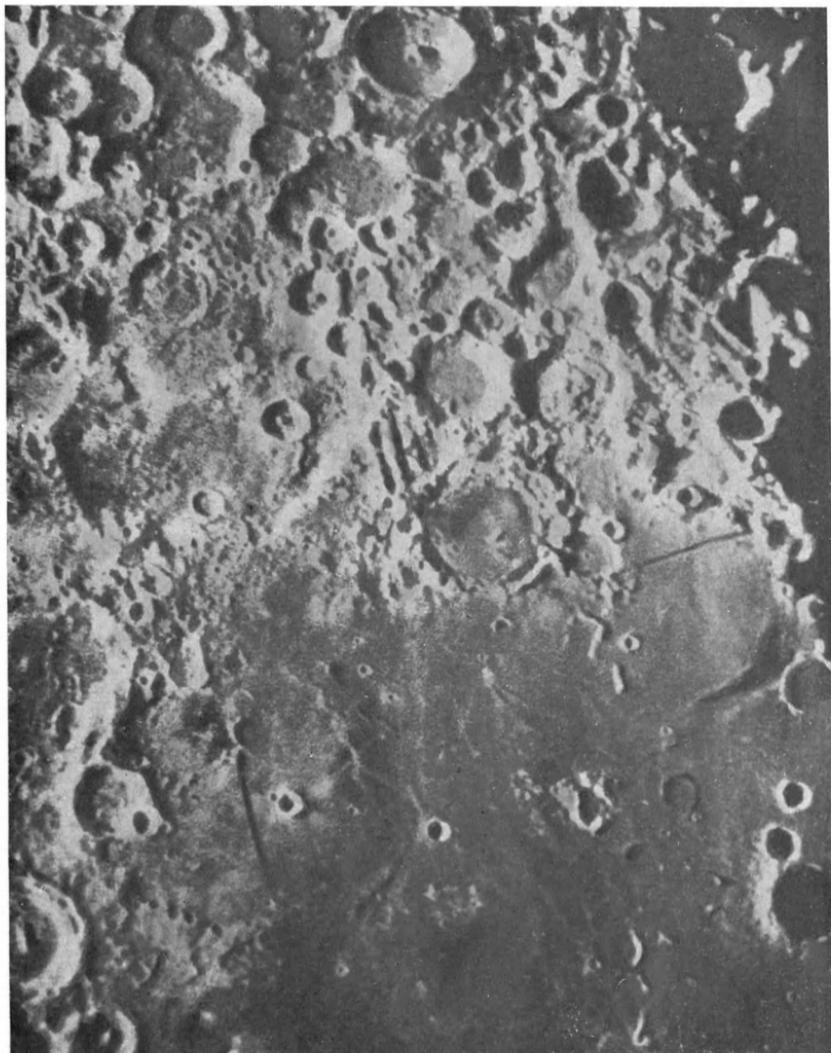


Рис. 10. Южная часть Моря Облаков.

Повсеместно видны следы затопленных на дне Моря древних кратеров (см. нижний правый угол снимка). Прямая стена—обрыв сброса, тянущегося более чем на 100 км (внизу ближе к левому краю снимка). Видны и другие разломы, сказывающиеся в очертаниях кольцевых гор. В верхней половине снимка — обширная древняя горная страна с крупными кольцевыми горами, образовавшимися в большинстве еще до возникновения Моря Облаков.

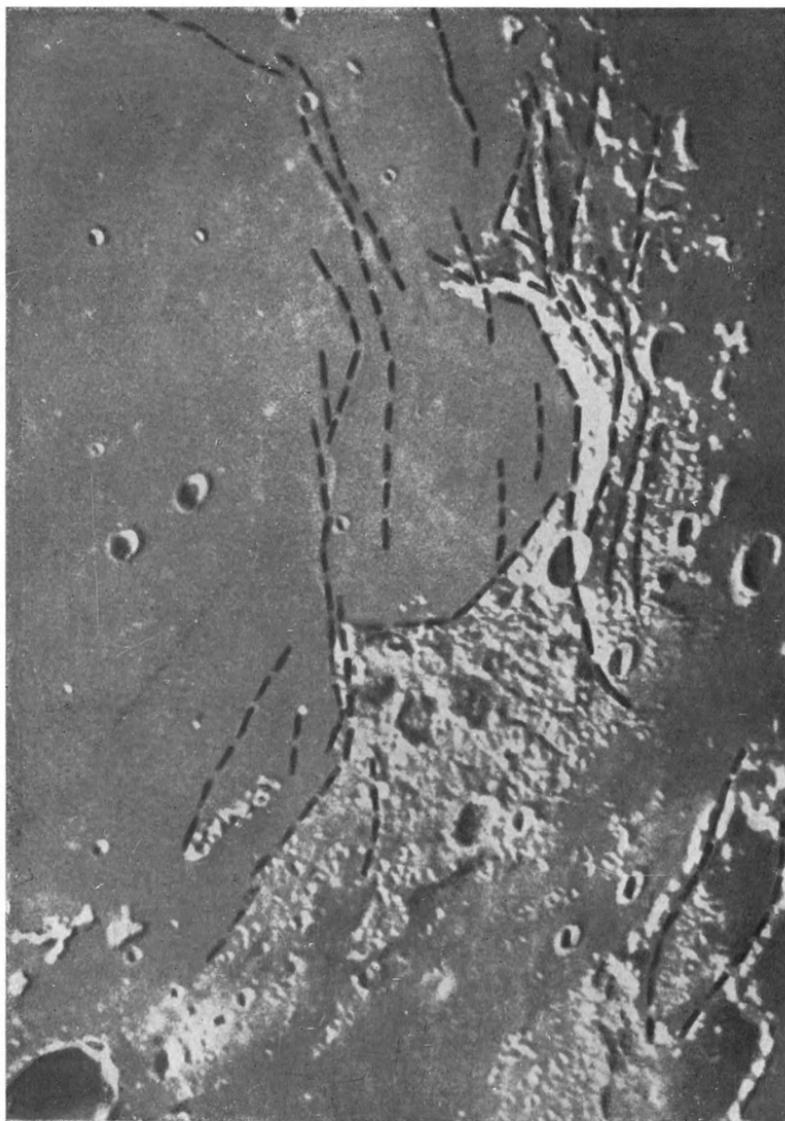


Рис. 11. Многочисленные разломы, обрамляющие Залив Радуги.
Обратить внимание на многоугольные очертания берегов, особенно на сдвиги,
обусловленные разломами (на мысе Гераклида и др.).

Взгляд на борозды и трещины как на следствие общего остывания и сжатия прежде расплавленного лунного шара

На смену взгляду о поверхностном метеорологическом происхождении линейных форм лунной поверхности пришли представления о региональном распространении крупных гребней, борозд и трещин как следствии охлаждения и контракции прежде расплавленного лунного шара. Нэсмит и Карпентер сравнивали гребни и борозды, видимые на Луне, с поверхностью сморщенного яблока. Другие селенологи рассматривали трещины безотносительно к контракции, как результат простого растрескивания застывавших лавовых полей.

Подобная точка зрения, развивавшаяся, кроме того, Леком и отчасти Менье, кое-как справлялась с объяснением величины гребней, борозд и трещин¹. Однако и она была бессильна понять наблюдаемые закономерности региональной ориентировки линейных форм и определить их возрастную последовательность.

Доля истины в этом взгляде заключалась в признании зависимости генезиса борозд и трещин от общего вулканогенного типа лунных пород и ландшафтов.

Но при этом не вполне учитывалось или вовсе упускалось из виду самое характерное свойство множества линейных форм поверхности Луны: их связь с движениями различных участков лунной коры. Упомянутый пробел старых описаний был с лихвою восполнен в новейшей селенографической литературе.

**Опускание—
обычный тип перемещений лунной коры**

Найдено большое число доказательств тому, что весьма обычным типом движения участков лунной коры, связанного с образованием борозд и трещин, являются опускания. В начале этой главы уже был подробно изложен материал наблюдений, относящихся к разломам, обрамляющим главные впадины лунной поверхности.

Теперь мы должны рассмотреть подробнее связь разломов с перемещениями лунной поверхности и различия типов разломов.

Из приведенных хорошо известных примеров строения поверхности впадин Моря Плодородия, Моря Кризисов, Озера Сновидений, Моря Облаков, Влажности, Дождей и Океана Бурь должно согласиться с очевидностью опусканий, огромных не только по площади, но и по масштабу перемещения.

¹ См. Meunier St. Les Volcans lunaires et la Géologie. „Bull. Soc. Astr. France“, 1871, v. 29, pp. 275—289.

² Менье Станислав. Сравнительная геология, или геология небесных тел (изд. ред. „Научн. обозр.“), СПб., 1896, 159 стр. Meunier St. A theory of terrestrial volcanism and the geography of the Moon. „Journ. of Wash. Acad. Sci.“, vol. 6, 1916, pp. 637—649.

Пример круговой системы разломов, связанной с опусканиями впадин морей (разломы в Море Влажности)

Остается подробнее рассмотреть морфологические особенности систем разломов, типичных для этих областей опускания в Великом поясе морей. Поучительной является, например, система разломов, связанных с опусканием круговой впадины Моря Влажности (см. рис. 7). Эти разломы образуют сложное кольцо трещин, надломов и гребней, широко захватывающих прибрежные области кратерной суши и самую морскую равнину. Вид и степень сохранности разломов весьма различны, что указывает на длительную эволюцию процессов формирования впадины моря. Самые крайние ряды этой системы обрушения, распространяющиеся в архипелаг островов затопленной гористой суши к западу от Гассенди (между Херигонием и Любинецким), являются наиболее разрушенными и вероятно самыми древними. По большей части от них остались лишь следы, отличающиеся более светлой окраской от остальной поверхности морской равнины. К северо-востоку от Херигония белесые нити на месте прежних гребней и борозд приобретают большую рельефность и переходят в ребристые надломы поверхности, довольно отчетливо заметные в терминаторе. На противоположной восточной стороне Моря Влажности, повидимому, столь же древними являются дуговые линии опускания, намеченные двумя кордильероподобными куэстами, отходящими от кратерного вала Гассенди, и каналобразной широкой бороздой, соединяющей подтопленные цирки к юго-западу от Мерсенния (см. рис. 8). На южном берегу Моря Влажности (близ Вителло и др.) подобных древних круговых разломов не заметно; здесь видны лишь поперечные к нынешнему побережью древние борозды, тянущиеся среди гребней и цирков гористой суши на юго-запад.

На северном берегу, к северу от Гассенди, древние борозды тоже приобретают долготное направление. В эти начальные времена круговая впадина Моря Влажности, надо думать, еще не была вполне оформленной. Более четкое круговое очертание имеют более свежие надломы поверхности, расположенные ближе к центру впадины Моря Влажности. У кратера Вителло начинается замечательный дугобразный четверной пучок надломов, местами сливающихся друг с другом, который сопровождается большими изменениями уровня поверхности морской равнины. Крайняя восточная линия пучка разломов отделяет самую пониженную центральную часть впадины Моря Влажности. Начало этой линии отщепляется от бреши в валу кратера Вителло. Оно едва заметно. Затем надлом становится более резким и включает в себя обломок вала погруженного цирка, находившегося рядом с кратером Пюизё. Здесь нарушение приобретает вид узкого гребня (на границе уступа между двумя частями поверхности равнины), обрыва-

ющегося стеной (до 100 м высоты) на северо-восток к центру впадины моря.

К северу разница в уровнях раздробленных участков поверхности равнины сглаживается, и пребень на линии разделяющего их надлома понижается. Недалеко от двух маленьких цирков (помеченных на обзорной карте М. Блэгг¹ индексами О и Т) гребень выполаживается совсем, соединяясь зигзагом еле заметных неровностей с более западной линией нарушений. Она протягивается сюда от самого края внешнего вала кратера Гассенди, на середине пути расщепляясь на две слегка извилистые ветви менее рельефных жилообразных надломов. Еще менее рельефны надломы крайней западной линии описываемой группы. Южный конец второй и третьей линии лежит на широте мыса Кельвина. Обе они в этом месте обрываются на северо-восток уступами, подобными предыдущему. Севернее понижение дна Моря Влажности происходит более постепенно. Надломы здесь (ближе к горной области между Агатархидом и Гиппалом) намечают овальную ложбину или как бы вмятие поверхности моря. Это вмятие поверхности наглядно указывает на прежнюю пластичность глубин под затвердевшей тонкой корой.

Аналогичная кромка оседания на восточном побережье Моря Влажности более проста и определена. Берег плоской кратерной суши между Гассенди, Мерсеннем и Доппельмайером ограничен дугой невысокого, но ровного обрыва.

Иной облик имеют дуговидные борозды, рассекающие западное побережье Моря Влажности от кратера Кампана до Агатархида. Три из них начинаются в одном пункте гористой страны между Рамсденом и Вителло. Четвертая отщепляется сбоку из выгупа вала кратера Кампана. В общем получается изогнутый пучок борозд, расходящийся к северу. Они почти на всем протяжении ровны, узки и почти на одинаковую глубину прорезают бугры и цирки. В днищах Агатархида и соседнего подтопленного кратера борозды прерываются, но зато сказываются весьма заметно на структуре валов этих кратеров, а также в ориентировке пребней соседних горных районов. По линиям борозд не видно никакого ступенчатого изменения уровней поверхности, словно нарушение свелось здесь лишь к растрескиванию коры.

Аналогичные более прямолинейные тонкие борозды видны и на противоположной окраине Моря Влажности к западу от цирка Мерсення.

¹ Blagg Mary A. (under dir. of the S. A. Saunder) Collated list of lunar formations named or lettered in the maps of Neison, Schmidt and Mädler. Neiland Co, Edinb., 1913, VIII+182 pp.; Blagg Mary A. and Muller R. Named Lunar Formations, vol. I, Catalogue XI+196 in 8°. Lond. Percy Lund, Humphrey and Co, vol. II, Maps. By W. H. Wesley and M. A. Blagg.

Картина круговых разломов в Море Влажности в целом оставляет впечатление прогиба хрупкой и тонкой коры, осевшей во впадину на более пластичном субстрате.

Прямая Стена
и другие разло-
мы в Море
Облаков

Несомненный обросовый обрыв, разделяющий одну опустившуюся часть поверхности от другой, оставшейся неподвижной, представляет так называемая Прямая Стена (Mur Droit) в юго-западной окраине Моря Облаков (см. рис. 10). Прямолинейный обрыв Прямой Стены, высотой в 150—300 м, тянется прямо на северо-северо-восток на расстоянии свыше 100 км. Он начинается от обломка вала попруженного цирка между Биртом и Тебитом, повидимому составляя лишь небольшую часть огромной линии дизъюнктивных нарушений. К югу от Прямой Стены, совершенно точно на ее простирании, находится прямолинейный срез края вала небольшого цирка, лежащего восточнее Пурбаха (цирк с индексом Н на карте М. Блэгг).

Еще далее по простиранию Прямой Стены замечается прямолинейное обрамление гробней у восточного края колец Региомонтана и Вальтера. Если мы двинемся в обратном направлении на северо-северо-восток от Прямой Стены, то и там найдем отголоски этой гигантской линии нарушений. Так, километрах в 120 от северного конца обрыва Прямой Стены неподалеку от кратера Ласселя замечен небольшой фрагмент нарушения аналогичного типа.

Почти параллельно направлению Прямой Стены намечается линейный разлом более древнего облика, сплошь застроенный кратерами к западу от Гаурика и Питата; там, где он попадает в середину цирков, возникает ребро, перегораживающее их валы (см. рис. 10; почти в середине); там же, где линия нарушения приходится на край кольца, образуется более прямая и высокая кромка вала. Во впадине Моря Облаков от Питата до Николле по пути этого разлома тянется лишь расплывчатый более светлый след, но близ самого кольца Николле обнаруживается ложбина, переходящая затем в более рельефную каналообразную борозду, идущую косо на северо-запад.

Вообще, как упомянуто в начале этой главы, поверхность Моря Облаков имеет множество заслуживающих изучения деталей. Здесь видна сложная паутина расплывчатых светлых нитей и полос, то кольцевых, то извилистых, то почти прямолинейных, слабо отражающихся в рельефе поверхности. Большинство наблюдателей согласно в том, что барельефная мозаика эта представляет собою следы множества погрузившихся прежних кратеров, горных гребней и разломов. Отчетливее других намечаются широкая ложбина, обрамленная разломами, которая тянется от кольца Киза к остаткам кратера Макса Вольфа, и полоса разломов, идущая отсюда к Опельту. Они

как бы просвечивают из глубин Моря Облаков, которое потому вероятно и получило свое название.

Любопытным случаем прямолинейного растрескивания без большого смещения Широтная борозда у Гезиода уровня поверхности в Море Облаков является борозда, идущая на восток от кратера Гезиода. По длине она не уступает Прямой Стене. Возраст борозды Гезиода, видимо, почтенный, ибо она застроена соседними цирками.

Отсутствие разломов с относительным перемещением против силы тяжести Название «сбросы», широко применяемое в новой селенографической литературе для разломов, подобных рассмотренным выше, является весьма условным, ибо в зависимости от локальной обстановки действительное перемещение, связанное в общем с погружением, может приводить к взаимным относительным передвижениям дробимых участков коры в направлениях, далеких от вертикального опускания, вплоть до горизонтальных сдвигов. О них еще будет сказано ниже.

Но что прежде всего бросается в глаза среди всех типов дизъюнктивных нарушений, замеченных на Луне, это — отсутствие разломов типа взбросов, надвигов и пр., связанных с преобладающим перемещением масс вверх, т. е. против силы тяжести. Единственный тип нарушений, какой мог бы быть истолкован подобным образом, — разломы в кордильерах (которые, как мы знаем, связаны с краевым поднятием бережий круговых морей), по данным новейших исследований, тоже обусловлен опусканиями. Наблюдения, сделанные Эдуардом Зюссом, М. Леви и П. Пюизё, Ф. Р. Сакко, О. Матушкой и многими другими селенологами¹, показали, что разломы в лунных кордильерах происходили не в самый момент поднятия береговых хребтов, а после, во времена опускания впадин морей. Наблюдательный материал позволяет более подробно охарактеризовать стадии образования береговых хребтов, но пока следует ограничиться сказанным.

¹ Особенно важны работы:

Sacco F. Selenologie oder Mondkunde. „Handwörterbuch der Naturwissenschaften“, Jena, 1913, Bd. IX; Sacco F. Le frutture e le rughe della Luna. „Rivista di Astron.“, 1907, v. I, pp. 234—239, pp. 261—264; Sacco F. L'Évolution sélénologique. „Ciel et Terre“, 1909, v. 30, pp. 349—362; Sacco Federico, Essai schématique de Sélénologie. Turin, 1907, 47 pp. + IV pl.; Suess E. Einige Bemerkungen über den Mond. „Sitzungsber. d. Königl. Akad. d. Wiss. zu Wien“, 1895 (I), 104, Ss. 21—24 (I), 106; Ss. 3155—3166; Suess E. Gestalten der Mondoberfläche. Mittheilungen der Geologischen Gesellschaft in Wien, 10, Ss. 218—248; Suess E. Ueber Einzelheiten in der Beschaffenheit einzelner Himmelskörper. „Sitzungsberichte math. naturhistorisch. Klasse K. K. Akademie der Wissenschaften zu Wien“, Bd. 116; Abt. I, 1907, Ss. 1355—1361; Suess E. Antlitz der Erde, Bd.: III, Th. 2, Ss. 683—690, 627.

Механизм обрушений в кордильере Залива Радуги (по О. Матушек)

К уже приведенным выше примерам обрушений в береговых хребтах лунных Апеннин, Кавказа, Карпат можно добавить еще один характерный случай.

В кордильере Залива Радуги Отакар Матушек различает три системы сбросов. Одна из них имеет широтное направление. Вторая ориентирована на северо-запад и местами образует параллельные ряды разломов. Обе эти системы, по О. Матушеку, одновременны. Третья более молодая система разломов имеет почти меридиональное направление; сбросы этой системы определяют очертания западной окраины Залива Радуги (см. рис. 11).

На основании анализа особенностей рельефа в плане О. Матушек пытался построить тектонический профиль через Залив Радуги (см. цит. выше работы). Профиль изображает предполагаемое строение местности между мысом Лапласа и мысом Гераклида. Линии разломов, изгибающиеся параллельно берегу Залива Радуги, которые прослеживаются на склоне кордильеры к югу от кратера Бианчини, трактуется как ступенчатые сбросы, круто наклоненные к морю, что хорошо согласуется с обликом ступеней, заметных в рельефе склона.

Трактовка вещества гор, как «гранито-гнейса», лежащего в основании несогласно перекрывающих горизонтальных покровов «базальта», в профиле, даваемом Матушеком, конечно, совершенно произвольна и противоречива (ибо этим предполагается появление глубинного типа пород на самой поверхности в условиях, исключаяющих собственно эрозию).

Разломы, обусловленные растяжением лунной коры

Тип разломов, связанный с обрушениями и опусканиями, является обычным, но не единственным типом дизъюнктивных нарушений, наблюдаемых на Луне.

Нередко, в особенности среди древних лунных формаций, наблюдаются обширные поля борозд и трещин, самым характерным признаком которых является не перемещение раздробленных фрагментов коры в вертикальном направлении, но, главным образом, тангентальное размыкание их друг относительно друга.

Борозды такого типа отличаются значительной шириной (обычно от полукилометра до нескольких десятков километров). Часто они напоминают долины с широким днищем или каналы. Местами они группируются в огромные пояса ложбин, почти параллельных горным гребням; местами же образуют сеть пересекающихся трещин, раздробляющих обширные области лунной поверхности.

Морфологическая обстановка при этом чаще всего такова, что значительную ширину борозд нельзя удовлетворительно объяснить провалом узких линейных полосок поверхности дна таких «долин», аналогично структуре земных грабенов

и т. п. Полное соответствие деталей рельефа по краям борозд свидетельствует именно о размыкании, отчленении или раздвижении фрагментов лунной коры на расстоянии ширины борозд, а не о провале узких полос их дниц.

Такое объяснение является единственно приемлемым в тех случаях, когда наблюдаются переходы от широких каналовидных борозд или долин к бороздам более узким и, наконец, к зияющим трещинам. В областях развития долин, борозд и трещин лунная поверхность кажется как бы покрытой рубцами или расщеченной (в виду клиновидного, расширяющегося вверх, сечения расщелин).

Давно и хорошо изученным примером Долина Альп широких борозд указанного типа является так называемая Долина Альп, разрезающая северо-восточную часть Альпийских гор Луны. Топография долины была весьма подробно описана Эльгером, Фаутом, Пьеро и другими селенологами¹. Долина Альп отличается удивительной прямолинейностью. Она тянется более чем на 120 км к юго-востоку почти от самого берега Моря Холода². Ширина долины неодинакова (от 5 до 10 и даже до 15 км) и постепенно увеличивается в глубь окружающего горного массива, а затем ближе к побережью Моря Дождей неравномерно снова убывает. Вид долины сильно изменяется в зависимости от условий освещения, и чтобы получить правильное представление, нужно наблюдать эту местность при разном положении линии терминатора. В своем северо-западном конце Долина Альп соединяется с боковыми бороздами.

В нескольких местах ее пересекают позднейшие сквозные расщелины. Каналовидное дно долины довольно ровно, с чуть заметными продольными повышениями и мельчайшими трещинками. Берега долины круты и обрывисты. Замечается подобие деталей очертания обоих бортов долины и соседних возвышенностей горной области. Небольшим выступам одного берега обычно соответствуют изгибы и ниши другого. Однако в одном месте, ближе к юго-восточному концу Долины Альп, юго-западный берег выступает углом без соответственного излома контура противоположного борта. Немного ближе этого места северный берег образует

¹ См. Фаут Ф. Природа Луны. Перев. под ред. проф. А. Иванова (Дешев. 6-ка естествознания, № 5), СПб., 1911, изд. Брокгауза-Ефрона, 137 стр. + 48 рис.; Elger. The Moon. A full description and map of its principal physical features, 1895; Elger T. Gwyn. On certain Obscure and partially destroyed formations on the Moon. „Journ. Brit. Astr. Ass.“, v. VI, № 5, 1896, pp. 202—210; Pierot A. Sélénologie. Posidonius. La vallée des Alpes. Mare Smythii. Lee et Doppelmayr. Agatharchides. La région de Kepler. Platon. „Ciel et Terre“, 1925, v. 41, v. 42, pp. 38, 101, 138, 142, 200, 205; v. 43, pp. 58, 131.

² У Леви и Пюизэ (Atlas fotogr. de la Lune, f. III, pag. 26) указана втрое меньшая длина — 40 км (опечатка?).

широкую более пологую выемку против обрывистого южного. За горным гребнем, тянущимся поперек к Долине на север, замечается «озеровидное» расширение дна, после которого борозда почти совсем замыкается и переходит в еле заметную расселину.

Совокупность деталей рельефа позволила исследователям этой местности сделать вывод, что по всей вероятности оба борта Долины Альп некогда соприкасались почти вплотную и затем разошлись на расстояние ширины образовавшегося канала, который позже был затоплен лавами, проникшими и в ряд других впадин на побережье соседних морей. Нет никаких признаков в пользу предположения, что генезис Долины Альп мог быть обусловлен обрушением узкой полоски самого дна борозды, хотя нельзя и отвергнуть возможность частичных мелких обрушений при размыкании ее бортов.

Еще более произвольной является догадка, разделяемая Ю. Францем и некоторыми другими авторами, будто Долина Альп «похожа на след крупного метеора, пролетевшего там и задевшего за горную цепь»¹, т. е., иными словами, была протаранена с поверхности и выкопана вдоль к ее направлению. На склонах долины не заметно никаких черт продольного скольжения масс; ее поперечный профиль не похож на выбуравленную выемку; в окружающей местности не видно и следа напроможенных обломков, которые должны были быть выброшены при таком косом ударе; и, наконец, поперечные выступы и изгибы бортов Долины Альп противоречат возможности ее образования путем экскавации.

Необходимо добавить, что Долина Альп не является единственным объектом подобного типа в данной части лунного диска. Она аналогична по направлению нескольким другим бороздам бореальной области Луны (сравни параллельные борозды близ Эвдокса, В. Бонда и пр.).

Разломы в области между Морем Ясности и Морем Холода Соседняя с Альпами область гористого побережья Моря Ясности, Моря Холода и Моря Холода и Морем Ясности

Озера Сновидений изобилует бороздами. Эти борозды пересекаются в различных направлениях и захватывают как горные массивы, так и впадины морей. В морях они чаще затоплены позднейшими лавовыми покровами. Картина устройства поверхности здесь может быть точнее всего определена как региональное раздробление огромной площади лунной коры, предшествовавшее образованию впадин морей. На пространстве свыше полумиллиона квадратных километров в северо-западном квадранте Луны мы видим целую сеть разломов, обусловившую общее раздробление коры. В бороздах, пересекающих гористый мыс между Озером Сновидений и Озером Мертвых,

¹ Франц Ю., русск. изд., 1923, стр. 94.

заметно расщепление фрагментов коры без существенных вертикальных перемещений их друг относительно друга. В местах пересечения трещин наблюдаются местные обрушения более мелких фрагментов коры. Сюда относятся, например, пентагональная впадина Бурга и многие другие участки берегов морей. Но в целом описываемый механизм «фрагментации континентов» (по терминологии Дж. Баррела) характеризуется раздроблением коры, которое нельзя объяснить сокращением поверхности, т. е. общими или локальными опусканиями.

Связь разломов типа долин и борозд с периодами расширения объема Луны

Аналогичные картины фрагментации лунной коры с образованием открытых трещин, указывающих на растяжение поверхности, как будет показано ниже, наблюдаются и во многих других областях Луны. Раздробление коры с образованием открытых трещин (долин, борозд и зияющих расщелин) происходило на Луне в масштабе планетарном и захватывало более грандиозные площади по сравнению с разломами, связанными с обрушением коры, которые сосредоточены главным образом в субэкваториальном поясе морей. В новейшей селенологической литературе уже приводились доводы в пользу планетарного масштаба распространения разломов описываемого типа и в пользу связи раздробления лунной коры с процессами растяжения поверхности.

В самом деле, чем иным могло быть вызвано подобное региональное раздробление коры с образованием открытых широких трещин? Внешние (термические) факторы растрескивания, как сказано, совершенно недостаточны. Локальные обрушения неспособны объяснить явление в целом. Общее сокращение площади поверхности, т. е. сжатие ее (благодаря уменьшению объема лунного шара), тем более не могло привести к образованию региональной сети открытых разломов. Очевидно как раз обратное, а именно—расчленение коры на фрагменты под влиянием расширения глубже лежащих оболочек недр планеты. И поскольку явление раздробления коры (вследствие растяжения) наблюдается среди древних формаций Луны почти повсеместно (подробности см. ниже), приходится связывать возникновение широких борозд и зияющих трещин в общем с периодами расширения объема всего лунного шара.

Я уже упоминал, что разломы типа долин встречаются, главным образом, среди более древних формаций рельефа Луны. Нет ни одной значительной области из числа гористых районов поверхности Луны, где относительная древность многих разломов типа долин не бросалась бы в глаза.

Вспомним факты, которые нам знакомы из приведенных описаний отдельных лунных местностей. Как мы видели;

более древний возраст многих борозд и долин в северо-западном квадранте лунного диска датируется затоплением их под последующими лавовыми излияниями времен образования Моря Ясности и Моря Дождей. Древность рядов горных гребней и борозд, которые пересекают склоны Апеннин, определяется благодаря позднейшим идущим к ним вкрякст обрушениям берега Моря Дождей.

Фрагменты прямолинейно-гребнистой горной суши с продольными каналовидными бороздами между Морем Паров и Морем Ясности явно старше соседних впадин и многих генераций кольцевых гор. Обширные пояса древних борозд и гребней погребены под равнинами дна Моря Спокойствия. Борозды и гребни Карпат тоже очевидно возникли раньше образования впадины Моря Дождей. Каналовидные широкие борозды, соединяющиеся с почти затопленными кольцами цирков между Эратосфеном, Гамбаром и Герике, как мы видели, перекрыты венцом мельчайших бугров подножий вала кратера Коперника. Столь же ясна картина погребения древнего рельефа каналовидных трещин, которую мы уже отмечали при описании реликтовых образований на дне Моря Облаков и т. д.

В том, что приводимые примеры обыкновенны и типичны, читатель должен убедиться сам с помощью анализа других горных областей Луны (на основании сравнения приводимых фотографических снимков или, еще лучше, непосредственно путем визуальных наблюдений).

Разломы типа долин и борозд на Луне, как правило, древнее сбросов и надломов, связанных с опусканием впадин Великого пояса морей.

А ведь образование последних тоже, как мы видели, определялось деформацией планеты в целом.

Оба типа разломов, следовавшие друг за другом во времени, противоположны по характеру процессов, их породивших. Более древний тип долин и борозд, повсеместно развитый, подобно всяким открытым разломам, в конечном счете, обуславливался расширением объема лунного шара.

Позднейшие радиальные дизъюнкции, связанные с обрушением фрагментов коры по круговым впадинам, свидетельствуют о последовавшем сокращении пространства в недрах планеты.

Первый тип разломов характерен для времен возникновения горных гребней и нагорий. Времена эти, по видимому, предваряли этап наиболее интенсивного кратерообразования. Второй (сбросовый) тип разломов свойственен эпохе образования морей, завершившей века нагромождения цирков.

И поскольку в истории Луны, судя на примере Алтая и других древнейших реликтов рельефа, кратерогенная и талас-

согенная эпохи сменились по крайней мере дважды, мы приходим к предположению о многократной смене периодов расширения и периодов сокращения объема лунного шара. Как будет видно из дальнейшего, с этим предположением согласуются многие другие факты, в частности периодичность процессов расплавления и отвердевания недр планеты, понижение уровней днщ в позднейших генерациях кратеров и пр.

Новейшие разломы типа зияющих трещин

Однако вовсе не все разломы типа открытых трещин, обусловленные растяжением коры, являются более древними сравнительно с недавними обрушениями Великого пояса морей. Сказанное справедливо только в отношении лунных долин и борозд.

Но, кроме борозд и долин, к типу открытых разломов на Луне еще относятся зияющие расщелины, подобные тем, какие упоминались выше при описании Долины Альп, берегов Моря Облаков и т. п. Эти большие и глубокие ущелья, шириною нередко более километра, и в длину до нескольких десятков и даже сотен километров, обычно отличаются поразительной свежестью своих очертаний и крутизной стенок. Некоторые из расщелин местами почти отвесны, и на дне их лежат тени даже в полнолуние, когда Солнце находится близко к зениту.

Морфологические особенности зияющих трещин

К числу самых известных объектов этого типа относятся трещины у Тризнеккера; Гигинуса, Зильбершлага, Ариадея, Сирзала и многие другие. Общий вид трещин Гигинуса и Тризнеккера показан на приводимом снимке области восточного берега Моря Спокойствия (см. рис. 12). Здесь нет нужды описывать зияющие трещины в отдельности; о некоторых объектах будет сказано в другом месте, а сейчас следует отметить несколько общих типичных их особенностей.

Поперечное сечение зияющих трещин клиновидное, дно остроугольное или выположенное, т. е. вероятно засыпанное продуктами разрушения бортов. Длина трещин превосходит ширину обычно в сотни раз. Контур линий расщелин в плане прямолинейный или слабо изогнутый, нередко ломано-угловатый или даже зигзаговидный (трещина у Геродота), с отщеплениями и разветвлениями, но никогда не звездчатый, не расходящийся по многим радиусам из одной точки. Среди трещин одной области нередко замечается удивительный параллелизм и подчиненность немногим общим направлениям (см. на прилагаемом снимке расположение трещин Тризнеккера, Гигинуса и др.).

Подмечена связь расщелин с мелкими кратерами, которые располагаются прямо в них, особенно на пересечениях и на изломах линий трещин (у Зильбершлага, Рамсдена, Гигинуса и пр.).

Между расщелинами и узкими бороздами нет почти никаких существенных различий, за исключением степени сохранности. Резкость и свежесть очертаний расщелин говорит об их относительно юном возрасте. Доказательством молодости многих зияющих расщелин является их распространение не только среди нагорий, но и в равнинах морей. Расщелины очевидно моложе многих кратеров и морских впадин.

Специфическое отличие расщелин выявляется при сравнении с широкими бороздами и долинами, днища которых, как мы знаем, иногда несут следы подтопления или выширания масс в виде бупров, гребней и пр. Расщелины являются «сухими» разломами, развивавшимися уже в сплошь твердой среде, где признаки извержения ограничиваются эксгалляциями белых пятен.

Своеобразие ориентировки, масштаб величин, связь с кратерами, крутизна и глубина расщелин, указывающая на залегание в скалистом грунте, родство с разломами типа борозд и долин (тектоническая и вулканогенная природа которых очевидна) исключает возможность объяснения генезиса расщелин поверхностными (метеорологическими) факторами. Расщелины произошли, подобно бороздам и долинам, от растяжения коры, по всей вероятности под влиянием расширения объема глубинных масс.

Механизм образования подобных разломов теперь изучен экспериментально. Опыты над разрывом стальных цилиндров, раздавливаемых изнутри, показали, что трещины, как правило, возникают с поверхности и развиваются вглубь в виде клиновидных расщелин; лишь в случае очень хрупкого вещества, подобного стеклу, разрывы начинаются изнутри.

Несколько иначе обстоит дело с истолкованием генезиса самых мелких расщелин, которым, судя по рисункам Вейнека, Кригера, Фаута, на Луне буквально нет числа. Требуется еще долго и упорно работать, чтобы решить, что в этом мире трещин, лежащих на пределе увеличений, следует отнести к тектоническим нарушениям и что можно считать следствием метеорологических факторов разрушения поверхности.

Рассмотрим для примера поле трещин, пересекающих холмистую равнину так называемого Болота Эпидемий (в южном конце Моря Облаков). Небольшая часть этой впадины — окрестности кратера Марта (к северо-западу от Рамсдена) — изображена на воспроизводимом рисунке из атласов Яна Непомука Кригера и Ладислава Вейнека (см. рис. 13) ¹.

¹ Надо иметь в виду, что рисунки Вейнека—Кригера представляют визуальную детализацию на увеличенной до предела фотографической основе Парижского Атласа и, стало быть, относятся к числу надежных зарисовок мельчайших деталей лунной поверхности.

К востоку от Марта находится целая сеть расщелин, частью идущих почти параллельно в долготном направлении, частью ветвящихся и секущих друг друга. Они группируются около небольшого цирка к юго-востоку от Марта, кое-где перерезая склоны вала. Самой длинной является трещина, идущая на юго-восток чуть южнее Марта. Длина ее, вероятно, не меньше сотни километров.

Другая идет на запад, севернее Марта.

Ширина расщелин местами доходит до километра. Большинство трещин пропадает на склонах кратерно-бугристой горной страны, окружающей впадину. Приуроченные к равнине, они не связаны ни с какой заметной выпуклостью на плоской поверхности. Эти обстоятельства как будто говорят в пользу зависимости трещин от условий инсоляции. Однако по нескольким расщелинам располагаются ряды мельчайших цирков, а одна из расщелин представляет изящную цепочку из 19 нанизанных в ряд кратерков. На продолжении крупной продольной трещины (у верхней рамки рисунка) видно смещение почвы, обрезающее край цирка. На краю впадины к северо-востоку от Марта наблюдается аналогичное срезание бугров, свидетельствующее о вертикальных перемещениях по трещинам.

Чтобы получить уверенность в характеристике подобных мельчайших объектов, пригодной для суждения об их генезисе, желательно иметь не зарисовки, а фотографические снимки с еще большим увеличением, и, кроме того, располагать высотными профилями высокой точности, какими селенография еще не обладает.

Кое-где среди разломов на Луне морфологический анализ обнаруживает наличие заметных, хотя и не очень значительных горизонтальных смещений.

Одним из хорошо известных примеров такого рода является сдвиг на окрашке гористого побережья Залива Радуги,

Krieger J. Mond-Atlas. Erste Serie, 4^o, 1898; Krieger J. Ein Kraterchen im Hyginus N. „Sirius“, 1899, v. XXII, S. 185; Krieger J. N. Le cirque Triesnecker et ses environs. „Bull. Soc. Belg. d'astr.“, 1899, v. IV, p. 97 (2 pp.); Krieger Joh. Nep. Mond Atlas entworfen nach den Beobachtungen an der Sternwarte. I. Band. Triest, 1898 (Kommiss-Verlag E. H. Mayer, Leipzig); Krieger Joh. Nep. Mond-Atlas Neue Folge herausgegeben von Rud-König., Wien, 1912 in 4^o, Text 376 pp., Atlas 86 Taf.; Weinek L. Berghöhenbestimmung auf Grund des Prager photographischen Mond-Atlas. „Sitzber. des Akad. der Wiss. in Wien“. Math. naturwiss. Cl., Bd. CVIII, Abth. II, 1899. Ss. 38—53; Weinek Ladislaus. Photographischer Mond-Atlas, vornehmlich auf Grund von focalen Negativen der Licksternwarte im Masstabe eines Monddurchmessers von 10 Fuss., Prag, 1897—1899 (C. Bellmann); Weinek L. Die Prager photographischen Mondarbeiten. „Wiener Mitteil. phot. Instr.“ herausgegeben, v. Lechner, Wien, 1909, 195 (196), pp. 359—376, 424—432, 2 Textabb. u. 4 Taf.; Weinek L. Berghöhenbeobachtungen auf Grund des Prager photogr. Mond-Atlas, „Sitzber. der Akad. Wiss. zu Wien“. Math.-Phys. Kl. Abth. II a, 1899, CVIII, S. 38.

близ кратера Бианчини (сравни рис. 11). Здесь к побережью залива подходит древняя линия разлома. На ней сидит самый кратер и небольшие соседние цирки. Бугристый крутой склон кордильеры к югу и юго-западу от Бианчини выдвинут в равнину в виде косо́го мыса, прерываемого упомянутой линией разлома. Сразу же за нею подножье гор тянется отступя к юго-востоку и угловато поворачивая к мысу Гераклида. На северном конце мыса Гераклида виден аналогичный выступ берега, возможно связанный с продолжением этой же линии сбросо-сдвига¹. Амплитуда горизонтального смещения тут не превышает 8—5 км. Сдвиги значительно меньше констатированы также на линиях разломов в юго-западной части побережья Моря Влажности (в окрестностях цирка Рамсэна) и пр.

Доказать горизонтальное смещение в аналогичных случаях является нелегкой задачей, ибо сходная картина сдвига элементов рельефа получается при шарнирных наклонах и при вертикальном погружении угловатых блоков (сравни очертания восточного побережья Моря Влажности к юго-западу от Мерсеня, берега Кавказа и др.). Горизонтальные или, точнее, тангентальные смещения вполне вероятны в таких линиях разломов, где борозды и трещины время от времени сменяются по простиранию килообразными гребнями и другими ребристыми возвышениями, свидетельствующими о локальных боковых сжатиях, возникавших на определенных поворотах линии сдвига.

Пример замещения борозд гребнями по простиранию как следствие тангентальных смещений

Ярким примером чередования борозд и гребней, замещающих друг друга по простиранию, является грандиозная линия разломов, не раз упоминавшаяся выше, которая тянется на много сотен километров от Залива Радуги до Моря Облаков (в северо-восточном квадранте Луны).

Начало ее находится на северо-западном берегу Залива Радуги неподалеку от цирка Плато. Она ограничивает здесь край кордильеры. От мыса Лапла́са линия разломов прослеживается прямо на юг в виде валообразных узких брахискладок в равнине между Морем Дождей и Заливом Радуги.

На широте мыса Гераклида валообразные гребни сменяются асимметричными более извилистыми и широкими хребтиками с оборванными лопастями их обрывистого западного подножья. На этих гребнистых надломах сидит небольшой цирк Каролины Гершель и несколько других.

Здесь происходит поворот главной линии разломов на юго-запад к Лахиру. Гребни становятся узкими и прерывистыми, извилисто-лопастными и замещаются по простиранию

¹ См. М а т у ш е к О. Цит. соч., 1930, стр. 82—83.

разорванными надломами поверхности Моря Дождей. У Ламберта от главной извилисто-лопастной линии надломов, идущей к Эратосфену, ответвляется еще заметное в рельефе продолжение надлома поверхности, на котором находится цирк Питей.

Другим боковым ответвлением является «пунктирная» линия из свежих зияющих борозд и мельчайших кратеровидных углублений в северо-западных предгорьях Коперника. Извилистые надломы дна Моря Дождей доходят до восточного края вала кратера Эратосфена. Здесь они превращаются в крутой извилистый горный хребет высотой до 1 200—1 500 м. К югу гребень хребта понижается и переходит в еле намеченное кольцо погрузившегося кратера Стадия. За ним по окраине Залива Жары видна двойная линия надломов, где опущенным является западный край. У цирка Гамбара линия разломов подходит к краю плоскобугристой суши, являющейся южным окончанием массива Коперника и Карпат.

Между берегом этой бугристой страны и полосой погруженных горных гребней тянется широкая борозда, соединяющаяся каналом с древней впадиной кратера Фра-Мауро. Прямо на простирании канала находится острый горный гребень, причлененный к западному борту кольца кратера Парри. Западный край широкой борозды-канала местами тоже ограничен пунктиром островных гребней, образующих на севере и на юге ворота в кольцевом валу цирка Герике. В нем двойная линия разломов как бы перекрещивается, и ее концы расходятся, затухая в равнине Моря Облаков.

Такое разнообразие форм в описанной грандиозной линии разломов (с замещением борозд гребнями), мне кажется, можно удовлетворительно объяснить допущением небольших тангентальных смещений при опускании области Моря Дождей, вызванных давлением, главным образом, со стороны массива Карпат.

Проблема лунного эпейрофореза

Под эпейрофорезом в структуре Земли подразумевают большие горизонтальные смещения крупных областей коры, т. е. «плавание материков» в смысле А. Вегенера.

Но еще до появления идеи об эпейрофорезе Леви и Пюизё писали о возможности «флоттирования» фрагментов древнейшей лунной коры (типа лунных Альп). Грандиозные полосы горных гребней и параллельных им борозд, которые опоясывают весь лунный шар (об этом см. ниже), наводили Леви и Пюизё на мысль о мощных подкорковых течениях вещества, увлекавших обломки первобытной лунной коры в продольном к трещинам направлении. Другие селенографы, как уже упоминалось, допускали возможность общего скольжения первоначальной тонкой твердой оболочки относительно расплавленного промежуточного слоя лунного шара.

Надо сознаться, что селенология фактически не имеет дела с гипотетической первобытной корой лунного шара. Судя по современной морфологии лунных областей, о которых идет речь, нельзя надежно решить: имели место некогда такие подкоровые течения, параллельные поясам борозд и гребней, или нет? Если они и были, то теперь уже почти не осталось доказательств былых крупных горизонтальных смещений отдельных частей твердой поверхности Луны.

Вид лунной поверхности исключает эпейрофорез значительных участков коры для более поздних времен кратерообразования и для периода возникновения Великого пояса морей.

Редкий случай горизонтального смещения части кратерного кольца (цирк Капеллы)

Если бы горизонтальные смещения имели место, они сказались бы соответствующим образом на контурах кратерных колец, горных гребней и пр.

Мне известен лишь один значительный случай такого рода. На северном берегу Моря Нектара находится хорошо знакомая селенологам пара кратеров-близнецов: Исидор и Капелла. Кратерный вал Капеллы, наложенный на контур Исидора, в трех местах имеет бреши, обусловленные пересечением борозд разломов. Северо-западный сегмент кольца Капеллы отчетливо сдвинут километров на шесть-семь к юго-западу по отношению к остальной части цирка (по линии разлома, идущей отсюда к кратеру Годибера и затем под углом поворачивающей к Боненбергеру).

Второй, менее резкий, пример горизонтального смещения с разрывом кратерных колец был уже отмечен в литературе Л. Ф. Боллом¹ для района северо-восточного подножья Алтайских гор. Тесная пара небольших цирков, находящихся к востоку от Полибия, здесь взаимно разорвана и сдвинута по трещине (которая на картах М. Блэгг помечена индексом R).

Несмотря на отсутствие признаков больших горизонтальных смещений на поверхности Луны, в новейшей литературе все же появляются попытки применения идей Тайлора и Вегенера к анализу происхождения форм лунного рельефа.

Так, В. Жардецкий (1936) писал о «возможности плавания континентов на Луне». Тем не менее сам автор идеи эпейрофореза А. Вегенер считал, что на Луне сколько-нибудь заметные горизонтальные перемещения частей коры отсутствуют.

¹ См. Ball L. F. Recent Lunar Observations. Journ. Brit. Astron. Ass. vol. 44, № 8, 1933—1934, pp. 303—308; Arnous E. F. Fractures orthogonales et continents sur Mars, Systèmes tychéens, cirques et mers sur la Lune, à partir de la théorie des translations de A. Wegener. „Bull. Acc. Astron. de France“, v. 50, 1936, pp. 516—529+7 figs.; Jardetzky W. Sur la possibilité de la derive des continents de la Lune et de Mars. „Publ. de l'Obs. Astron. du Belgrade“, Mem. 3, 1936, pp. 10—15+2 figs.

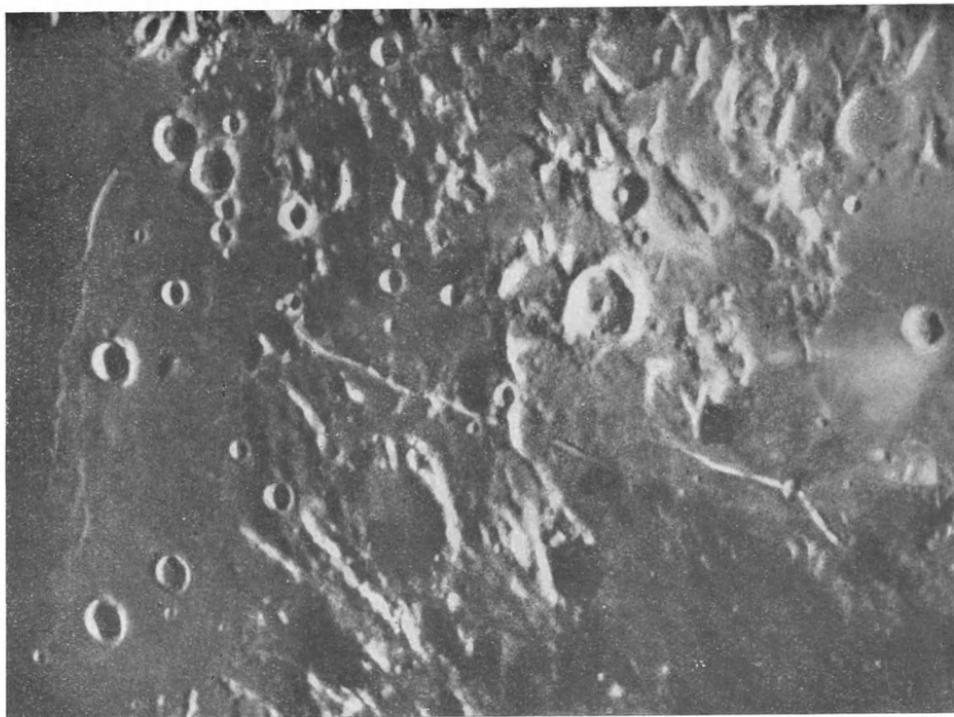


Рис. 12. Древняя горная область между Морем Спокойствия и Морем Паров. В середине снимка—два молодых по возрасту, зияющих разлома, усаженные мельчайшими кратерами (трещины Гиггнуса и Тризнеккера).

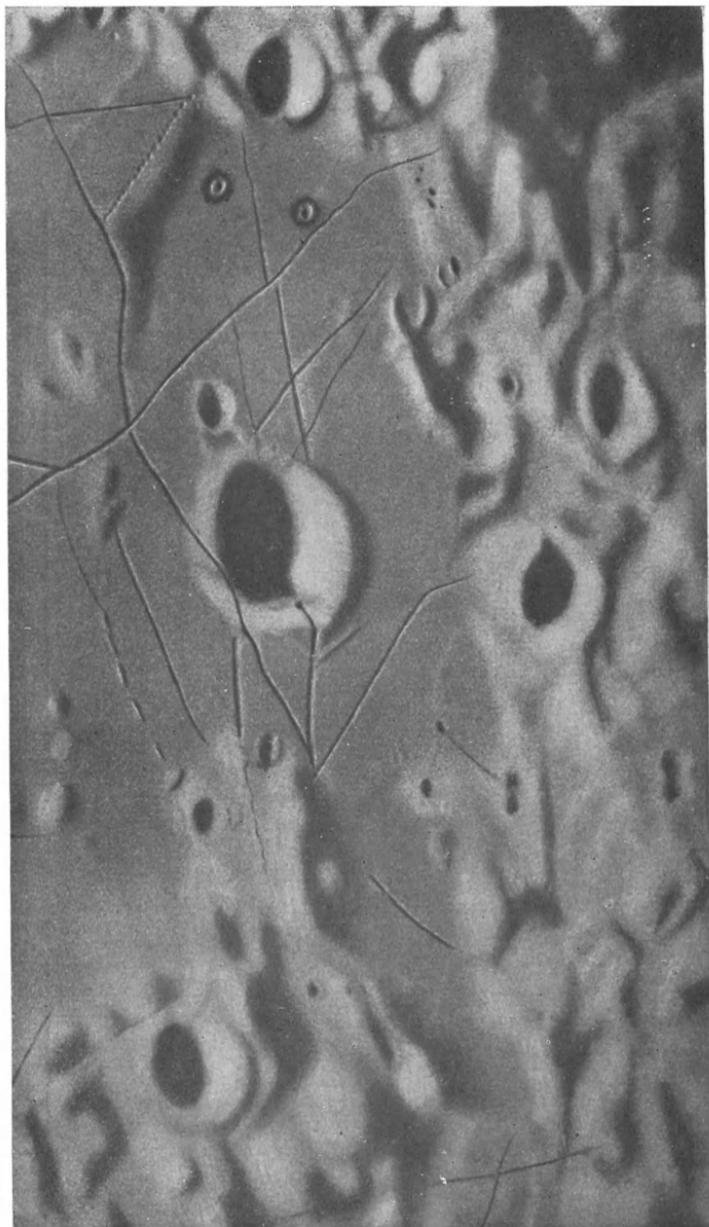


Рис. 13. Мельчайшие трещины на равнине Болота Эпидемий к востоку от кратера Март (по рисунку Вейнека).

Мнение А. Вегенера

А. Вегенер подчеркивал, что эпейрофрез может развиваться лишь при особом строении коры, которое характерно для Земли, но на Луне, по всей вероятности, никогда не возникало. «При гораздо меньших размерах Луны,— писал он,— придется сомневаться с самого начала, чтобы и лунная кора пережила или до сих пор переживала аналогичные процессы в подобном же масштабе»¹.

Морфогенетическая классификация типов лунных разломов

Резюмируя сказанное о типах разломов лунной поверхности, можно следующим образом характеризовать их признаки и условия возникновения (см. схему на стр. 100).

Необходимо иметь в виду, что данная схема не носит формального характера, т. е. позволяет дополнить или объединить разновидности объектов, если это понадобится при дальнейшем изучении, а, кроме того, что наиболее существенно, предполагает наличие переходов между поименованными морфогенетическими группами разломов. Классификация природных объектов, видимых на поверхности Луны, должна быть гибкой, доступной изменениям; она должна считаться, главным образом, с возрастной и генетической однородностью объединяемых объектов и не сочетать их по какому-либо одному и тем более по чисто внешнему признаку (по величине очертаний, сохранности, ориентировке и пр.). О разнообразии и большой изменчивости разломов на поверхности Луны можно судить по тому, что Леви и Пюизё в свое время применили более пятнадцати наименований разломов, почти исчерпав комплект подходящих слов.

Закономерности в расположении разломов (по данным каталога Ю. Шмидта)

Раньше всего на Луне были, разумеется, замечены наиболее сохранившиеся разломы, т. е. зияющие трещины. Наблюдениями над трещинами занимались многие исследователи².

В 1866 г. Ю. Шмидт издал специальную монографию «О трещинах на Луне». В ней дан перечень с координатами 425 трещин, долин и борозд, больше чем наполовину самим Шмидтом открытых.

¹ Вегенер А. Происхождение Луны и ее кратеров. Соврем. пробл. естествознания, кн. 9, Гиз, 1923, 47 стр.; Wegener A. Die Entstehung der Mondkrater. Braunschweig. Tr. Vieweg u. Sohn, 1921 (Samml. Vieweg, N 55), 48 Ss.+9 fig.; Wegener A. Die Entstehung der Mondkrater. „Die Naturwiss.“, v. 9, 1921, Ss. 592—594; Wegener A. Aufsturzhypothese der Mondkrater. „Sirius“, 1920. v. 53. Ss. 189—194.

² Schmidt J. F. Julius. Ueber Rillen auf dem Monde. Leipzig (Barth.), 1866, 24 Ss., 4°, I—III Taf.; Gaudibert C. . . Sélénographie. „Bull. Soc. Astr. France“, v. XIII, 1899, p. 364; Davidson M. The Lunar furrows. „Journ. Brit. Astr. Ass.“, v. 29, 1919, pp. 194—197; Klein H. J. Die grosse Rille der Mondschaft Ariadäus. „Sirius“ v. 38, p. 17 + Taf; Klein H. Verschiedene Typen der Mondrillen. „Sirius“, 1899, v. XXXII.

Теперь по новейшим зарисовкам и снимкам ясно, что 425 объектов, описанных Шмидтом, представляют лишь небольшую часть того множества различных разломов, какие можно наблюдать в рельефе поверхности Луны.

В каталоге Шмидта для каждого из 425 разломов, кроме координат, указано и преобладающее направление. Эти данные имеют большой интерес с генетической точки зрения.

Если сопоставить данные об ориентировке с местоположением разломов по каталогу Шмидта, оказывается, что на огромных пространствах лунного шара резко преобладают одни определенные направления дробления поверхности.

Так, в северо-западном квадранте видимой части лунного диска в каталоге Шмидта отмечено 127 объектов. Из них 34% имеют ориентировку с северо-востока на юго-запад, 33% — долготного направления, 27% простираются с северо-запада на юго-восток и только 6% вытянуты в широтном направлении.

В северо-восточном квадранте Луны каталогом Шмидта учтено 76 объектов. Из них 37% трещин по направлению близки к меридиану, 30% имеют северо-восточное простираение, 22% ориентированы на северо-запад, 2% направлены широтно (для 9% трещин ориентировка не указана).

В юго-восточном квадранте Луны из 143 разломов 35,6% приходится на северо-западное простираение, 31,5% ориентированы долготно, 16,9% трещин северо-восточных, 7% широтных и 7% без указания ориентировки.

В юго-западном квадранте лунного диска из 83 объектов имеется 37,3% северо-восточных, 33,7% долготных, 21,6% северо-западных и лишь 1,4% широтных трещин (для 6% направление не указано).

Итак, на основании данных каталога Шмидта можно заключить, что на Луне разломы широтного направления сравнительно редки, а преобладают, главным образом, системы трещин и борозды северо-восточного и близкого к долготному простираения. По частоте им немного уступают разломы северо-западной ориентировки, господствующие в северо-восточной четверти лунного диска.

Данные каталога Шмидта могут считаться объективным свидетельством, ибо составитель каталога преследовал чисто описательную топографическую цель, не задаваясь выяснением закономерности расположения и генезиса этих объектов.

Иначе подошел к материалу Дж. К. Гильберт, который в 1892 г. опубликовал карту-схему распределения разломов на поверхности Луны¹.

¹ Gilbert G. K. The moon's face; a study of the origin of its features. „Bull. Philosoph. Soc. of Washington“, 1892—1894.

Исходя а priori из определенных взглядов на происхождение кольцевых форм рельефа Луны, он попытался представить общее расположение трещин и борозд в виде грандиозного венца разломов, разбегающихся по радиусам от Моря Дождей. Гильберт считал разломы расколами, возникшими вследствие удара гигантского метеорита. Для объяснения разломов он применил ту же аналогию с растрескиванием поверхности стеклянного шара при ударе, какую прежде Нэсмит и Карпенгер, а также Нейсон приводили для объяснения венцов кратерных лучей (см. рис. 14).

Схема Гильберта оказывается несостоятельной при ближайшем сличении с фактическими данными наблюдения. По схеме Гильберта выходит, что расположение линий разломов в целом имеет точку схождения или полюс радиации в области Моря Дождей и генезис их одновременен с периодом образования этой впадины.

Но мы уже знаем из предыдущего изложения, что полюс радиации, если он только существует на самом деле (об этом см. ниже), находится не в этой области Луны и что различные системы разломов существенно неодновременны, причем некоторые из них гораздо старше периода образования Великого пояса морей. Стоит самому понаблюдать поверхность Луны, чтобы убедиться, что схема Гильберта является совершенно не соответствующей действительности.

Новая схема распределения разломов на Луне

По данным фотографических атласов Луны, в особенности парижского, с визуальными дополнениями, можно дать более объективную и более подробную схему селенографического распределения разломов. Попытка такого рода воспроизводится здесь (см. карту в конце книги).

Карта-схема была мною составлена от руки на ортографической градусной сетке лунного глобуса. Она, стало быть, не претендует на большую топографическую точность. На карте нанесены, главным образом, те объекты, принадлежность которых к разломам в новейшей литературе, кажется, ни у кого не вызывала сомнений. Для ориентировки показаны

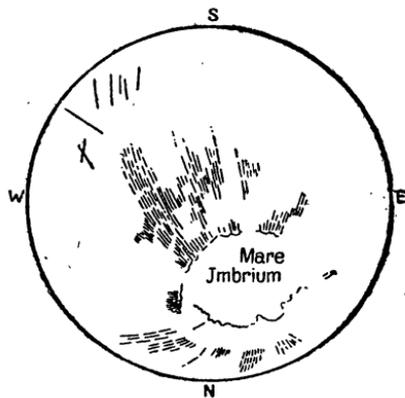


Рис. 14. Неоправдавшаяся схема ориентировки разломов на поверхности Луны (исходя из гипотезы радиально-лучевого растрескивания коры вследствие падения главной массы метеоритов в Море Дождей) (по Гильберту).

С Х Е
морфогенетической классификации разломов,

| Категория, типы и разновидности разломов | Морфологические особенности | |
|--|--|---|
| I. ОТКРЫТЫЕ РАЗЛОМЫ | 1. Долины 1а. Каналы 1б. Грабены | 1. Плоское дно шириной более 3 км (1а Борта со следами прежнего смыкания фрагментов коры. 1б. Со следами обрушения полосы днища) |
| | 2. Борозды 2а. Прямые или ломаные и изогнутые не по кругу 2б. Круговые | 2. Более или менее выравненное дно шириной меньше 3 км. (2а. Нередко переходят в долины и жильные гребни. 2б. Нередко переходят в надломы, сдвиги, сбросы) |
| | 3. Жильные гребни 3а. Одиночные 3б. Парные и более сложные | 3. Возвышенности и валы на линиях долин и борозд, нередко связанные с рядами кратеров |
| | 4. Трещины 4а. Большие расщелины или ущелья (в сотни км длиной) 4б. Мелкие трещины | 4. Острое клиновидное дно. Свежесть и резкость очертаний (4а. Нередко субпараллельные линии, обнаруживающие связь со смещениями и кратерными рядами. 4б. Неправильные и полигональные, тяготеющие к плоским впадинам, подчас без видимой связи с тектоническим строением местности) |
| | 5. Надломы 5а. Валообразные и гребневидные 5б. Асимметричные | 5. Обычно сложно-извилистые или зубчатолопастные линии стыка фрагментов коры со следами относительного перемещения при опускании |
| | 6. Сдвиги | 6. Сдвиги выявляются благодаря относительному смещению контуров (с разрывом) по поверхности |
| | 7. Сбросы | 7. Обрыв между покоящейся и опущенной частью поверхности |

М А
наблюдаемых на поверхности Луны

| Условия образования | Обычный возраст | Примеры |
|--|---|---|
| 1а. Благодаря растяжению коры в периоды расширения объема лунного шара 1б. Генезис не выяснен и самое существование грабенов на лунной поверхности не доказано | 1а. Древние образования 1б. Возраст неизвестен | 1а. Долина Альп, Долина Рейта 1б. Неизвестны. Большинство прежде указанных примеров, грабенов* (в том числе и в недавно вышедшей книге Дж. Сперра) я считаю недоузданным. 2. Пояса борозд в кратерной суше к югу от срединного залива. Борозда Гезиода (моложе впадин морей) |
| 2а. Вследствие растяжения коры при общем расширении объема подкорковых масс 2б. Благодаря местным растяжениям и разрывам коры, обусловленным опусканиями и обрушениями впадин морей | 2а. Довольно древние (по большей части до образования Великого пояса морей) | 3. На линиях разломов между Эратосфеном и Герике, между Гиппалом и Агатархидом 4а. Трещины на дне Моря Облаков (к западу от Буллиальда), трещина у Гигинуса, Зильбершлага и мн. др. 4б. Множество примеров (см. зарисовки Вейнека и Кригера), малодступных для наблюдений при обычных увеличениях |
| 3. Вследствие извержений по линиям открытых разломов | 3. Возраст довольно древний (не позже периода образования круговых морей) | 5. Во впадине Моря Плодородия, Моря Влажности, Моря Облаков, Моря Дождей |
| 4а. Вследствие общих и локальных растяжений коры, обусловленных изменениями объема подкорковых масс 4б. Генезис неясен | 4а и 4б. Довольно молодые, нередко новейшие образования (обычно моложе впадин больших кратеров и морей) | 6. Сдвиги на линии разломов между заливом Радуги и Морем Облаков (от мыса Лапласа до Герике), берег Залива Радуги у Бианчини, цирк Капеллы и др. |
| 5. Вследствие растяжений и сжатий коры, обусловленных опусканием впадин морей | 5. Возраст довольно древний (периода образования круговых морей) | 7. Прямая Стена. Обрывы восточного берега Моря Влажности. Северо-восточное подножье Апеннин |
| 6. Связаны, главным образом, с обрушениями в периоды сокращения объема лунного шара | 6. Времен образования морей и более ранних | |
| 7. Обусловлены опусканиями в периоды сокращения объема лунного шара | 7. Времен образования морей и несколько позже, вплоть до новейшего времени | |

некоторые крупные кратеры, связанные с линиями разломов, а также главнейшие впадины морей.

На схеме прежде всего бросается в глаза относительная редкость разломов ближе к краям лунного диска. Но это лишь кажущееся явление, зависящее от меньшей различимости разломов в косых ракурсах и от большей изученности дизъюнктивных нарушений в более удобных для наблюдения центральных частях видимой половины Луны.

Второе обстоятельство, какое нельзя упускать из виду, ибо оно также было источником недоразумений в литературе, — суммарность картины разломов, заключающей далеко неоднородные и неодинаковые по возрасту группы и типы образований. Потребуется еще много труда, чтобы вместо подобной суммарной схемы дать серию карт по периодам, рисующих историческую последовательность развития систем разломов на Луне.

Длительное преобладание общего направления расположения разломов в некоторых областях Луны

Но и эта несовершенная схема позволяет сделать ряд общих выводов о закономерностях распространения и ориентировки различных лунных разломов. Прежде всего, несмотря на суммарное изображение различных по возрасту и типу объектов, в ряде обширных областей Луны получилась весьма однородная и простая картина распределения направлений разломов. Взять хотя бы громадную территорию древней суши в центре Луны между морями Нектара, Облаков и Дождей. В итоге длинного ряда времен здесь господствовало существенно одно общее направление простираний разнородных разломов, а именно северо-северо-восточное, близкое к долготному.

В самом деле, борозды и долины, тянущиеся здесь параллельно горным гребням в районе больших кратеров Гиппарха, Птолемея, Региомонтана и других, были заложены еще в очень древние времена, задолго до формирования существующего Великого пояса морей. Позднейшие надломы, жильные гребни и сбросы, возникшие в этой области после образования морей, тоже зачастую подчинялись тому же направлению. Аналогичные примеры параллелизма разломов различного возраста известны в районе между Морем Кризисов и Овером Сновидений, а также из ряда других участков лунной поверхности.

Отсюда, повидимому, неизбежен вывод, что в некоторых областях Луны в течение ряда времен, несмотря на существенные изменения условий деформации, господствовали почти одни и те же направления ориентировки дизъюнктивных нарушений. Подобное многовековое соподчинение направлений поясов разломов на Луне является любопытным примером «наследования» структурного плана.

Повторяемость смены направлений разломов в области между северным полюсом и Морем Дождей

Еще более любопытная зависимость в расположении древних и более новых разломов наблюдается в области северного полюса Луны и близлежащего Моря Дождей. Гористые страны, расположенные между Морем Холода, Морем Гумбольдта, Озером Сновидений и Морем Дождей, отличаются удивительно четким ортогональным узором угловатых кратерных валов, гребней, долин и борозд, который получился благодаря скрещению систем разломов северо-западного и северо-восточного направления. Не входя в обсуждение спорного вопроса, являются ли оба направления разломов здесь вполне одновременными, можно отметить, что оба они в этой области Луны, во всяком случае, древние, возникшие до формирования впадин Моря Ясности и Моря Дождей. Порукой тому является строение Долины Альп и других борозд к северо-западу от Кавказа. А между тем в соседнем Море Дождей обрушения точно такого же северо-западного направления являются относительно молодыми, возникшими в период формирования круговых впадин морей.

Налицо повторная смена расположения разломов, predetermined прежде существовавшими элементами структуры. Такая преемственность систем разломов не должна казаться неожиданной. Ведь условия деформации периодически менялись во времени благодаря смене периодов расширения и сокращения объема лунного шара.

Глубокое региональное раздробление коры по определенному поясовому направлению приводило к механической неоднородности, которая, конечно, давала себя знать и при всех дальнейших деформациях. Новые разломы, если даже они определялись существенно иной обстановкой напряжений, легче сосредоточивались на линиях прежних нарушений и естественно сообразовались с унаследованными чертами анизотропии в структуре местности.

Субпараллельные и поперечные расположения поясов разломов, обычные на Луне

Шанс на приспособление нового рисунка разломов к старому структурному графарту является минимальным, если обе системы разломов встречаются крест-накрест. Неудивительно, что в рельефе Луны чаще всего наблюдается или упомянутая субпараллельная координация разновозрастных разломов или почти прямоугольное их пересечение.

Существует несколько областей лунной поверхности, где пересечение систем разломов преобладало в течение долгих времен. К их числу относятся: Море Дождей и субарктические горные страны вплоть до Моря Гумбольдта, о которых уже говорилось выше, Апеннины и Кавказ, окрестности Моря Кризисов и горные страны близ южного полюса Луны.

Следы пересечения древнейших систем разломов в антарктической области Луны.
Долина Рейта

Выдающийся интерес представляют следы пересечения весьма древних систем разломов, обнаруженные среди кратерных нагорий близ южного полюса Луны. Облик их необычен. Долины и борозды, встречающиеся здесь, весьма широки, но сравнительно коротки. Они имеют вид широких канав или ванн, резко прерывающихся по простиранию, как бы засыпанных или перекрытых продуктами разрушения горной области, покрывающими древнюю межкратерную высокую равнину. Таковы удлиненные замкнутые впадины в окрестностях Петавия и Фурнерия, борозды около Понтекулана и другие ванны в краевой части антарктического континента.

Такова же и знаменитая долина Рейта. Она тянется прямо на северо-северо-восток (почти на север) на протяжении больше 150 км (точную длину определить трудно из-за плохой сохранности реликтов северного окончания долины). Ширина долины Рейта доходит до 25 км—цифра, едва ли не рекордная для Луны. Близ кратера Рейта долина сокращается, уступая место кратерному валу, т. е. является очевидно более древней. Много мелких лучше сохранившихся цирков без разбора перекрывают чуть заметные остатки ее северного продолжения.

Самой поразительной особенностью долины Рейта является серия почти поперечных выемок, широких и пологих, сильно заплывших от древности, которые ориентированы в северо-западном направлении. Эти поперечные рубцы или насечки несколько более узки. Выемки пересекают корытовидное дно долины Рейта, поднимаются по ее пологим склонам и сейчас же прерываются на краях межкратерного плато. Несколько поперечных рубцов выходят за пределы долины и вдаются глубже в плато. Они очевидно возникли позже долины Рейта, перекрыли ее поперек и в свою очередь были перекрыты валом древнего кратера Рейта.

Остатки подобных же ваннообразных выемок встречаются в других соседних местностях, например, к северо-западу от цирка Рейта. Параллельно долине Рейта у восточного края древнего кратера Меция наблюдаются менее отчетливые следы аналогичной древней долины. Ширину ее даже нельзя определить, настолько расплылись очертания линии впадины среди окружающего плоскобугристого плато. Поразительно, что все же именно на ней расположились линейные цепи более юных кратеров с языковидными проломами вала в окрестностях Фракастора. Еще одна чуть заметная полоса понижений, возможно тоже намечающая след некогда бывшей долины, идет за Фабрицием на юг к Стиборию и к южному концу обрывов Алтайского хребта. Четвертая более отчетливая и грандиозная полоса впадин почти меридиональ-

ного направления намечается в горной области к востоку от Алтая. Она тянется на многие сотни километров от кратера Николай к Цельзиу и Загугу, Ферма и Тациту.

Между северным концом Алтайских гор и Тацитом эта древняя, сплошь застроенная несколькими поколениями цирков ложбина выражена вполне отчетливо. Затем она отклоняется к северо-востоку, проходит между цирками Целльнера и Декарта и вскоре выполаживается. Налицо два пересекающихся древнейших пояса разломов, возникших задолго до образования южной кратерной суши Луны. Более древними являются почти меридиональные долины, параллельные долине Рейта. Они или одновременны с Алтайскими горами или еще более древние. Позже возникли борозды и долины северо-западной ориентировки, пересекающие долину Рейта, от которых тоже сохранились лишь небольшие остатки. Повидимому, они образовались позже обрыва Алтая, т. е. после первого периода формирования древнейших морей, впоследствии погребенных под кратерными нагорьями.

**Межкратерное
нагорное плато
южнополярной
суши как резуль-
тат многовеково-
го выравнивания
горной страны**

Попутно пользуясь случаем заметить, что само плато, составляющее межкратерные пространства в области южнополярной суши, представляет собою объект, наводящий на размышления, и особенно если его рассматривать подолгу, в условиях хорошей видимости деталей и при большом увеличении. Гигантские кратеры кажутся глубокими впадинами среди этой высокой плоскобугристой равнины; их расплывшиеся валы слабо возвышаются над ее средним уровнем. Напрашиваются два альтернативных объяснения генезиса плато. Или высокая плоскобугристая равнина является первичной и представляет собою поверхность впадины некогда бывшего моря, впоследствии приподнятую и затем изъязвленную цирками. Или же плато является вторичным и образовалось со временем в результате многовекового разрушения и выравнивания древней гористой суши. Второе предположение кажется мне более правдоподобным. Оно согласуется с наблюдаемыми особенностями реликтов этих древнейших долин и борозд.

**Сложно-диаго-
нальное скреще-
ние разломов в
Море Кризисов**

Менее распространен диагональный тип пересечения разломов; он ясно выражен в рельефе древнего бугристо-кратерного нагорья по берегам Моря Кризисов, а также в реликтах былой суши, погруженных на дне этой полигональной впадины. Здесь замечается пересечение северо-западной, долготной и почти широтной системы надломов и сбросов. Зависимость очертаний Моря Кризисов от ориентировки диагональной сети разломов видна в особенности на южном берегу моря. Равнина южной части Моря Кризисов вдавняется в берег кордильеры тремя прямоугольно

изломанными бухтами. Намеки на диагональное пересечение нескольких систем трещин хорошо заметны и в расположении следов прежней суши, погребенных на дне впадины Моря Кризисов (см. рис. 16).

Подобное же диагональное скрещение трех или четырех систем разломов, определяющее многоугольные очертания впадин, проявляется, правда в менее ясном виде, у нескольких других круговых морей. Таким скрещением обусловлена угловатость контуров некоторых участков побережья Моря Ясности (между Кавказом, западным склоном Апеннин и горами Гэмус), угловатость южного берега Моря Паров, угловатость края кордильеры Залива Радуги и др. Однако чаще всего полигональные очертания проявляются в рельефе многих крупных древних кратеров. Причины подобной локализации и происхождение многоугольных очертаний кольцевых гор будут рассмотрены несколько ниже.

**Дополнительные
соображения о
генетических
различиях лун-
ных морей**

На карте-схеме распределения разломов выделяются новейшие очаги концентрических разломов, связанные с обрушением впадин морей.

Морские впадины правильного кругового очертания обычно резко обрамлены разломами.

У некоторых небольших впадин (Море Кризисов и Море Влажности) кайма разломов биполярно (луковицей) расходится, согласно с ориентировкой окружающих региональных поясов борозд.

**Биполярное обте-
кание поясов раз-
ломов вокруг
впадин круговых
морей**

Подходя к впадинам морей, окружающие пояса борозд как бы расширяются и обтекают моря.

Поскольку возраст прямолинейных поясов разломов и круговых обрушений, как мы знаем, существенно различен, здесь опять-таки очевидно подчинение ориентировки новейших разломов направлению прежде существовавших нарушений.

Круговые моря в этом отношении вполне подобны большим древним циркам. Вокруг самых больших цирков замечается та же картина биполярного обтекания поясов разломов (сравни обтекание борозд вокруг Альбатенья, Гассенди, Альфонса, Юлия Цезаря и др.). Биполярность сказывается, как увидим ниже, и в самой структуре валов кратеров (сравни цирк Коперника и др.).

**Неправильные
впадины морей
не имеют сплош-
ного сбросового
обрамления**

Иные соотношения наблюдаются во впадинах морей, не имеющих правильного кругового очертания (например, во впадине Моря Плодородия, Спокойствия, Холода, Паров и, частью, Моря Облаков). Неправильные впадины Моря Плодородия и других не имеют упомянутого правильного и четкого сбросового обрамления. Их

очертания подчиняются более сложным прежде существовавшим продольным узорам древних разломов.

Имеются и переходные разновидности между обоими типами морей (в их отношении к системам разломов). К их числу относится, например, Море Ясности.

Береговые кордильеры характерны лишь для круговых морей

Различие двух типов впадин по отношению к разломам на Луне станет еще более ощутимым, если принять во внимание, что кордильеры характерны только для побережий круговых морей. А ведь кордильеры являются признаком первоначального воздымания бортов и последующего обрушения впадин морей.

Образование равнин второго типа, подобных Морю Плодородия, повидимому, происходило более постепенным путем. Берега их, как мы знаем, отличаются более спокойным подтоплением опускавшихся участков суши.

Круговые моря (типа Моря Кризисов) как результат обрушения на месте выпучиваний

Предполагая, что формирование круговых морей было связано с выпучиванием и последующим обрушением круговых областей коры, необходимо допустить известный подток подкоровых магматических масс к районам круговых морей в начале их возникновения и последующее убывание уровня магмы в эпоху обрушения кровли вздутия. Вообразив региональное распространение подкорового магматического слоя, существенно превосходящее площадь данной круговой впадины, можно заключить, что в этом случае подток подкоровых масс предполагает убыль масс в соседних краевых частях Великого пояса морей. В местах убыли магматических масс, обусловленной оттоком магмы в районы предкордильерных выпучиваний (на месте будущих круговых морей), могло происходить сопряженное пассивное опускание с более постепенным затоплением суши.

Неправильные моря—следствие подтопления суши в местах оттока подкоровых масс

Короче говоря, возникновение морей второго типа, подобных Морю Холода, могло быть обратным следствием тех же самых событий, какие привели к образованию круговых морей.

Круговые моря характерны для середины Великого пояса морей, неправильные—для окраин

С этой точки зрения круговые моря должны располагаться преимущественно в середине Великого пояса морей, а моря продолговатые и неправильные, как правило, должны находиться на окраинах пояса. Нечто подобное мы действительно замечаем в расположении лунных равнин. Да и с хронологической стороны (по данным относительного возраста разных систем разломов) такая точка зрения, повидимому, не вызывает возражений.

Дальнейшие умозаключения, основанные на гипотезе глубинных перемещений масс

Сторонники объяснения всей картины деформаций планеты одними меридиональными перемещениями подкорковых магматических масс (к экваториальному поясу и обратно) идут еще дальше. Они пытаются представить все разнообразие нарушений, наблюдаемых на поверхности Луны, в виде единого и одно-временного цикла. Поскольку предполагается, что начальные фазы образования Великого пояса морей обуславливаются подтоком магматических масс в субэкваториальное кольцо лунного шара, делают допущение, что в это же время околополярные области Луны становились более уплощенными и подвергались опусканию, сопровождающемуся растяжением и растрескиванием. Предполагается, что в конце периода образования морей наступила обратная фаза деформаций с переходом к более совершенной сферичности глобуса, с обрушениями в экваториальной зоне и поднятиями в околополярных областях.

В конечном счете эта цепь рассуждений приводит к мысли о сопряженности во времени процессов обрушения пояса морей и процессов формирования областей разломов в околополярных зонах суши.

Представление об одновременности генезиса пояса морей и околополярных областей разломов логически и фактически не обосновано

Ахиллесовой пятой подобных взглядов является их грубый схематизм и неисторичность. Все нарушения в структуре лунного глобуса сводятся к простому перемещению подкорковых масс (от полюсов к экватору и обратно). Не принимается во внимание, что (судя по соотношению площадей) нарушения, связанные с предполагаемыми перемещениями подкорковых масс в области экватора, должны были постепенно ослабевать по мере перехода к околополярным областям. Со стороны количественной отнюдь не очевидно, должны ли вздутия и обрушения в экваториальном кольце обусловить появление многочисленных разломов в области полюсов. При этом вовсе не учитываются явления общего расширения и сокращения объема лунного шара, открываемые анализом исторической преемственности систем разломов. Не учитывается и обратная возможность отсутствия сплошного магматического слоя (с развитием изолированных магматических очагов).

Для рассматриваемой концепции является очевидным расхождение выводов с фактическими данными о неодновременности различных структурных формаций Луны. Из поля зрения авторов совершенно выпадает длительность исторического развития деформаций лунного глобуса.

Короче говоря, излишняя схематизация и преувеличение роли миграций подкорковых масс в развитии лунного глобу-

са — роли несомненно существенной — приводят к ложным выводам.

Представление об однообразно долготных перемещениях подкоровых масс в селенологии, надо сказать, возникло не самобытным путем. Оно проникло в науку о Луне, как отзвук аналогичных геологических гипотез (идеи Штауба об экваториально-полярных странствиях материков и др). Но надо иметь в виду, что гипотезы подобного рода даже в самой науке о строении Земли не смогли, сколько мне известно, сладить с длительностью, сложностью и видимой иррегулярностью всей совокупности деформаций, имевших место в истории нашей планеты.

Является ли доводом в пользу рассмотренной концепции положение так называемого „полюса радиации“ и существует ли он в действительности?

Доводом в пользу рассмотренных умозаключений считалось наличие так называемого «полюса радиации». Как уже говорилось выше, «полюсом радиации» на Луне называют гипотетическую общую точку схождения большинства рядов кратеров и поясов разломов. Это понятие было введено Г. Г. Тюрком в 1925 г. По его статистическим расчетам такая точка схождения попадает на самую гористую область в краевой зоне юго-западного квадранта видимого полушария Луны. Местонахождение полюса радиации определяется по Г. Г. Тюрку селенографическими координатами: $\lambda = +29^\circ$; $\beta = -61,5^\circ$ или, считая от лунного экватора: $i = 28,5^\circ$; $Q = 117,5^\circ$. Место это лежит (неподалеку от древних цирков Манцини и Меция) так близко к лимбу лунного диска и на таком разрушенном от древности горном плато, что распознать детали строения рельефа всего, что находится дальше за ним, крайне трудно.

Г. Г. Тюрк предполагает, что точка полюса радиации, выбранная подобным образом, не только дает эмпирическую формулу направления кратеров, но и отвечает максимуму возвышенности Луны; соответствующая полюсу радиации экваториальная линия, по мнению Г. Г. Тюрка, совпадает с зоной главнейших низменностей видимой части Луны.

На самом деле, как мы знаем по данным общей гипсометрии Луны, подобного точного совпадения возвышенностей и впадин с положением полюса радиации вовсе не наблюдается (ни по местоположению максимума возвышенностей, ни по распространению Великого пояса морей). Максимум возвышенностей на Луне, по картам Франца, Риттера и Ноккер, приходится градусов на двадцать пять севернее или северо-западнее относительно точки «полюса радиации», причем речь идет, конечно, не об отдельном высочайшем пункте, а об огромной горной области. Великий пояс морей, в пределах видимой части Луны, вовсе не совпадает с экваториальной линией, эквивалентной положению «полюса радиации», а

проходит гораздо юго-западнее. При той позиции, какую занимают Море Ясности и западная арктическая часть горной суши Луны, «полюс радиации», отвечающий расположению Великого пояса морей, пришлось бы искать где-то в районе цирков Тихо или Региомонтана.

Короче, мне кажется, не следует придавать понятию о «полюсе радиации» какого-либо реального физического значения. Им нужно пользоваться лишь в качестве эмпирического индекса, с грубым приближением определяющего тенденцию в группировках многих цирков и поясов разломов.

«Полюс радиации» вовсе не является центром схождения направлений рядов кратеров и разломов; это всего лишь точка их пересечения под небольшими углами в южных областях Луны. В окрестностях «полюса радиации» не наблюдается венца разломов и кратеров, расходящихся по всем радиусам (подобно, скажем, венцу лучей цирка Тихо). В области «полюса радиации» существуют в действительности только два косо пересекающихся тракта параллельных группировок разломов и кратеров — с юго-западным и с юго-восточным простираением. Первое направление разломов хорошо выделяется особенно между цирком Зах и Морем Влажности, а также восточнее (между Байльи и Шиккардтом). Второе направление следует от Курция к Мавролику, а затем отклоняется ближе к меридиану.

На поверхности Луны нет полюсов схождения рядов разломов и кратеров. Существуют лишь пояс разломов планетарного масштаба

Представление о «полюсе радиации», как о центре схождения группировок кратеров и разломов, является отголоском стариннейшей идеи о венцах разломов. В свое время Нэсмит и Карпентер пытались найти закон распределения лунных разломов путем простейших опытов с растрескиванием стеклянных шаров. Венец лучей вокруг цирка Тихо был, по недоразумению, принят Э. Нейсоном за подобный ореол планетарного раздробления. Позже (о чем уже говорилось) Гильберт трактовал область Моря Дождей, как основной узел схождения всевозможных направлений лунных борозд. Все наблюдаемые на Луне полосы разломов Гильберт считал «протуберанцами» этой грандиозной центральной короны разломов.

Представления о венцах разломов (планетарного масштаба) давно и по справедливости оставлены селенографией. Теперь с определенностью известно, что на видимой части поверхности Луны вообще нет таких грандиозных венцов — центров схождения линий разломов.

В масштабе планеты существуют не венцы, а круговые полосы разломов, опоясывающие по всей вероятности всю окружность лунного шара. Они чаще почти прямые или порою

отклоняющиеся, слабо изогнутые. Эти планетарные пояса или круги разломов имеют различную ширину. То они тянутся лентой, ограниченной ясным пределом (сравни северо-западный пояс разломов между Морем Гумбольдта и Морем Дождей), то охватывают почти сплошь всю видимую поверхность лунного глобуса (преобладающее юго-юго-западное направление борозд между Морем Дождей и Южным морем). Возникновение планетарных поясов разломов на Луне, как мы знаем, относится к самым древним периодам ее истории. Расположение этих кругов определило ориентировку многих последующих структурных элементов.

Отнюдь не все системы разломов относятся к поясам планетарного масштаба. Некоторые из них определенно локализованы вокруг центров, например, вокруг впадин морей. Но при этом образуются не радиально расходящиеся венцы, а концентрические обрамляющие кольца разломов, т. е. тоже круги, хотя и меньшего масштаба. Собственно венцовые (радиально-лучистые) группировки форм поверхности на Луне замечаются лишь в деталях рельефа склонов отдельных цирков и в локальных сочетаниях отдельных линий разломов (о чем будет еще сказано в дальнейшем).

Применимость формулы „полюса радиации“ к ориентировке рядов разломов и кратеров указывает на взаимосвязь между этими формациями

То обстоятельство, что формула «полюса радиации» является в грубом приближении подходящей как для группировок рядов кратеров, так равно и для линий разломов, лишней раз свидетельствует о глубочайшей генетической взаимосвязи между обеими этими формациями. Общая характеристика расположения главнейших систем разломов была нами рассмотрена. Г. Г. Тюрк при определении координат в формуле «полюса радиации» основывался, главным образом, на данных ориентировки рядов кратеров.

Тенденция кратеров к группировке цепями (по два, по три или по четыре цирка в ряд) по направлениям, близким к меридиану, бросается в глаза на многих детальном снимках гористых областей Луны. Эта особенность лунного рельефа была ясно подмечена и на многих нарисованных от руки старых картах Луны, особенно на картах Э. Нейсона (1876) и Годибера (1899). О преобладающей почти долготной группировке цепей цирков в свое время писали еще Лекок, а также Станислав Менье (1894). Последнему автору было вполне ясно значение этого явления для анализа генезиса лунных формаций. Много примеров закономерной группировки цепей кратеров описали Леви и Пюизё в объяснительном тексте к парижскому атласу Луны. Вопрос о взаимосвязи лунных разломов и кратеров генетически настолько существенен, что ему следует уделить особое внимание.

Взаимосвязь линейных и кольцевых форм лунного рельефа в районе между Птоломеем и Пурбахом

Выше уже говорилось о закономерном, выдерживающемся на огромных пространствах, нередко почти прямолинейном простирании обширных полей параллельных борозд и гребней, характерных для древних нагорий Луны. Для ряда областей мы отмечали тесное переплетение кольцевых форм возвышенностей с линейными гребнями и бороздами. Существенно, что во всех подобных случаях наблюдается более или менее близкое соответствие в ориентировке обеих формаций. Возьмем хотя бы уже знакомый нам пример гребнисто-кратерного нагорья в районе между Морем Облаков и Морем Нектара.

В промежутках между огромными плоскими днищами кратеров Птолемея и Пурбаха здесь вкраплено много мелких кольцевых гор. Они разбросаны посреди высокого, хотя и сильно сглаженного холмистого плато с довольно сложным рельефом. Межкратерное высокое нагорье состоит из неправильных бугров, борозд, гребней и гряд, которые в общем вытянуты прямолинейно в юго-западном направлении. Гребни и борозды накладываются на контуры мелких цирков или чаще всего сливаются с ними. Кольцевые валы мелких цирков при этом раскрываются и вытягиваются в виде желобов, согласно с направлением борозд и гребней. Весь этот богатый подробностями гребнисто-кольцевой рельеф исчезает во впадинах больших цирков. Днища кратеров Гиппарха, Птолемея, Альфонса, Лакайля, частью Пурбаха и Альбатенья кажутся ровными низкими аренами среди нагромождения сопок.

Они заполнились очевидно позже образования межкратерных холмов и борозд. Это захоронение прежнего гребнисто-кольцевого рельефа под аренами днищ крупных цирков особенно хорошо заметно на краях вала кратеров Гиппарха, Птолемея и Альфонса. На внутренних склонах цирков здесь внезапно образуются целые полосы бугров и борозд, которые затем вновь появляются по другую сторону вала. Тем любопытнее, что и в расположении таких позже сформировавшихся больших цирков и их сателлитов замечается ясная тенденция к группировке в почти меридиональные ряды. Начиная с севера, за двойной цепочкой цирков Сперера и Гершеля, Реомюра и Гюльдена располагается огромное кольцо Птолемея. За ним следуют кратеры Альфонс и Арцахель. Еще дальше находятся Пурбах, перекрытый им Региомонтан и, наконец, Вальтер.

Эта грандиозная гирлянда кратерных колец особенно выделяется на границе света и тени, когда линия терминатора находится западнее побережья Моря Облаков. Гирлянда эта тянется наискосок к преобладающему юго-западному простиранию окружающего пояса разломов. Зато вполне со-



Рис. 15. Кратеры: Кеплер (в правой окраине снимка), Коперник, Эратосфен (у левого края снимка), Ламберт и большая линия разломов, идущая с севера от Моря Дождей на юг по западной окраине Оксана Бурь.

Обратить внимание на перекрытие плащом темных лав и пеплов венца светлых лучей выбросов из жерла Коперника.

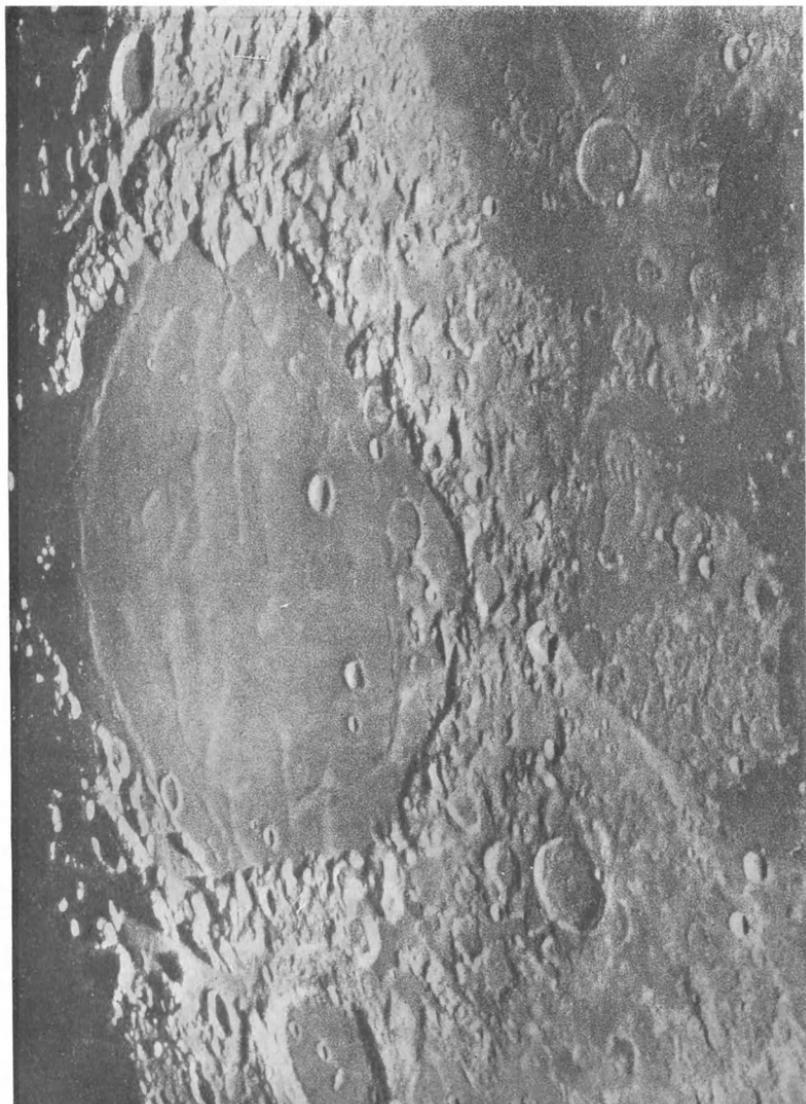


Рис. 16. Море Кризисов

Хорошо заметна многоугольность очертаний впадины Моря, обусловленная опусканием по разломам. Видны затопленные на дне Моря древние кратерные поля и разломы.

гласно с рядами гребней и борозд располагается по соседству (западнее) цепь меньшей величины из колец кратеров Альяцензия, Вернера, Бланшина и Лакайля. К северу от них (между Альбатеньем и Анонимом) располагается несколько сильно разрушенных древних цепочек кратеров-спутников (например, слегка изогнутый ряд: Фай, Донати, Эри, Аргеландер, Фогель; см. рис. 17).

Леви и Пюизё писали (по поводу меридионального ряда кратеров Лакайль — Альяцензий), что такая ориентировка «можно думать, определялась древними расщелинами

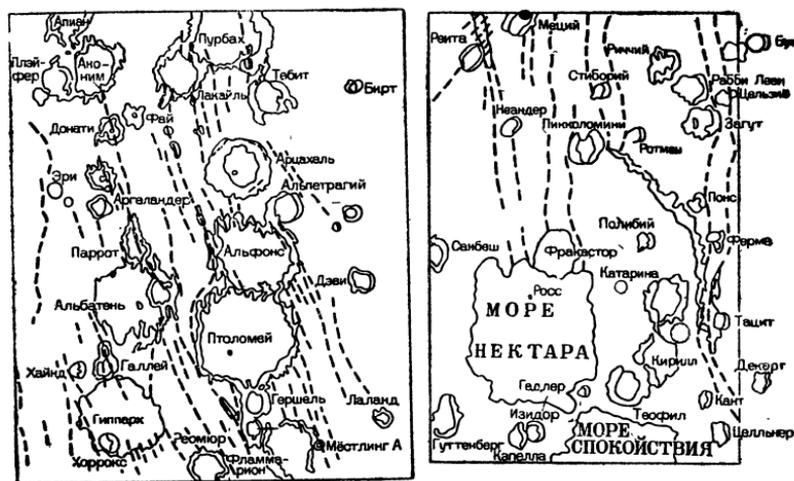


Рис. 17. Схемы строения древнего пояса разломов и цепочек кратеров между Морем Облаков и Морем Нектара.

Разломы, вызванные прежним расширением поверхности лунного шара, занимают здесь до 15,9% площади.

почвы»¹. И пожалуй нигде подобная предопределенность группировки ряда цирков не выступает яснее, как в упомянутой цепочке кратеров с центральными горками: Фай — Фогель. Их стертые от древности валы биполярно вытягиваются по меридиану в своеобразные устья или желоба, соответствующие трассам пересекающих разломов — борозд.

В горных местностях Луны, сплошь покрытых многоярусным нагромождением генераций цирков различной древности, с первого взгляда бывает трудно уловить какую-либо определенную ориентировку в бесчисленных группах кратерных колец. Но как только мы начинаем классифицировать их по степени сохранности, по порядку взаимного перекрытия и по отношению к системам родственных разломов, так почти в

По направлению простираются поясов разломов можно догадываться об ориентировке рядов кратеров

¹ „Atlas phot. de la Lune“, fasc. I, ch. II, p. 11.

каждой горной области Луны обнаруживается много подобных примеров линейного расположения кратерных цепочек по направлениям, близким к локальному простиранию поясов разломов. Всюду, где известно преобладающее простирание поясов разломов, по ориентировке рядов зияющих трещин, борозд, ложбин, гребней и обрывов может быть с большой вероятностью предсказано соответствующее положение гирлянд кратеров.

Ряды цирков, параллельные древним ложбинам в районе Алтайских гор. Возьмем хотя бы район Алтайских гор. Западный обрыв Алтая, как известно, зубчат. Зубчатость эта представляет собою единственный остаток, уцелевший от длинного ряда мелких кратеров, обрушенных и погребенных в ложбине западного подножья хребта. Среди кратерного нагорья к востоку и к югу от Алтайских гор намечается, как уже об этом говорилось выше, серия аналогичных древних ложбин или широких борозд. Эти ложбины усажены рядами руин кратерных колец. Их валы нередко каналовидно соединяются друг с другом по простиранию ложбины. Таков, к примеру, длинный меридиональный ряд полуразрушенных кратеров (многие из которых не имеют особого названия), тянущийся от Цельзия до Тацита.

Долготные ряды кратеров на западном краю лунного диска. Общеизвестным, хорошо видимым в полевой бинокль примером долготного ряда больших кольцевых гор близ западного края лунного диска является группа кратеров Лангрена, Венделина, Петавия и Фурнерия. По эту сторону Моря Плодородия находится многочисленная и менее правильная плеяда цирков, тяготеющих к меридиональным ложбинам (Гоклен, Коломбо, Борда и др.). Эта плеяда тянется согласно с господствующим здесь простиранием пояса древних разломов.

Перекрестные направления кратеров в арктической части Луны. На противоположном северном крае видимой части Луны большие прямоугольные древние цирки группируются по двум перекрещивающимся направлениям, отвечающим поперечному пересечению поясов разломов (на северо-восток от Демокрита до Скорезби и на северо-запад от Пифагора к Майну).

Группировки кратеров не всегда определяются простираниями поясов древних разломов. Из приведенных примеров, число которых легко умножить, не следует заключать, будто закономерные группировки кратеров всегда определяются простираниями поясов разломов или сводятся только к прямолинейным рядам долготного направления. То и другое более или менее верно в отношении формаций цирков, по возрасту близких к древним поясам разломов лунной поверхности.

К числу таких древних формаций кратеров относится, впрочем, большинство самых крупных кольцевых гор в околополярных горных областях Луны. Обширные, планетарного масштаба пояса древних гребней и борозд на Луне, как мы знаем, образовались задолго до возникновения современных морей.

Понятно, что прямолинейные ряды, параллельные простираниям поясов разломов, встречаются, главным образом, среди генераций кратеров, более древних сравнительно с впадинами морей. В последующих поколениях кольцевых гор, по возрасту более близких ко времени образования впадин существующих лунных морей, наблюдаются случаи криволинейных цепочек кратеров, располагающихся согласно очертаниям побережий.

Примером подобных береговых гирлянд кратеров, вообще говоря очень редких, может служить общеизвестный изогнутый вдоль побережья Моря Нектара ряд колец цирков Медлера, Теофила, Кирилла, Катарины и Полибия.

Новейшие системы трещин, затрагивающие поверхность равнин лунных морей, обычно не образуют таких обширных, сплошных и прямо наливанных полей борозд, какие характерны для самых древних поясов разломов. Чаще они группируются в концентрические пряди или являются разбросанными поодиночке, извилистыми, сложнопластными, неправильно ветвящимися и пересекающимися. Соответственно с подобной конфигурацией линий новейших разломов не замечается простого параллелизма и прямолинейности среди верениц кратеров, лежащих на их путях. Выше, при описании морфологии впадин морей и новейших форм разломов, уже приводились примеры расположения кратеров на линиях трещин. Такова рассмотренная нами серия цирков, следующая от Гульда, Опельта, Герике, Парри, Фра Мауро и Гамбара до Эратосфена, Лахира, Ламберта и других, на трассе грандиозной линии разломов, которая тянется с побережья Залива Радуги через всю впадину Моря Дождей к середине Моря Облаков.

Замечательно, что кратеры, встречающиеся на пути разломов, чаще всего сидят в узловых точках пересечения трещин или в углах изгибов линий разломов. На только что упомянутой линии разломов подобное положение занимает кратер Каролины Гершель, цирки Ламберта и Пифея, кратер Эратосфена.

Детали расположения линий разломов лучше всего заметны при очень косом освещении, когда кажущиеся в других условиях совсем ровными впадины морей обнаруживают рельеф насечек, морщин и прожилок линий гребней, надломов, борозд

и трещин. Присматриваясь к снимкам любой части лунной поверхности, снятым в таком освещении, легко можно отыскать десятки новых примеров подобного расположения кратеров.

В центре звезды разломов находится, например, кратер Медлера. На соседнем перекрестке трещин располагается Дагерр. У восточного берега Моря Кризисов на такой же звезде разломов сидит Прокл. На западном краю Моря Влажности мельчайшие цирки зачастую попадают на середину изгибов пучка субпараллельных трещин. Аналогичным образом располагаются многие крохотные кратерные кольца в Море Ясности и т. д.

Анализ деталей подобных совпадений структуры цирков и разломов убеждает в том, что генетическая связь обеих формаций в этих случаях доподлинно является взаимной. Порою представляется несомненной зависимость группировки цирков от расположения сетки разломов. Местами, напротив, ясна зависимость конфигурации разломов от распределения кратеров. В тех случаях, где, как у Медлера и Прокла, имеется звезда разломов с лучами трещин, разделяющими приподнятые к центру фрагменты и затухающими по мере удаления от вершины кратера, можно допустить, что распределение трещин являлось следствием процесса кратерообразования. В тех случаях, где вереница мелких цирков распределена по прихотливым изгибам и перекресткам на грандиозных трассах разломов, очевидно, что положение кратерных колец определялось конфигурацией трещин.

Впечатление о том, что здесь является «причиной» и что «следствием» — в подобных закономерных сцеплениях обеих формаций зависит от интенсивности каждого из взаимосвязанных процессов. Там, где кратеры незначительны или ничтожны, а разломы грандиозны, говорят об очевидной приуроченности кратеров к трещинам. Там, где очертания даже самых крупных кратеров контролируются направлениями поясов разломов, эта зависимость представляется столь же очевидной. И, наконец, там, где ландшафт определяется опромненными цирками, к которым тяготеют второстепенные трещины, говорят о приуроченности трещин к кратерам.

Образцы прямой зависимости кратеров от разломов встречаются как среди древних, так и новейших формаций рельефа Луны. Особенно любопытны частые цепочки мелких, порою лежащих на пределе видимости кратеров, встречающиеся на многих изгибающихся трещинах. Общеизвестными примерами такого рода являются усаженные кратерами трещины Гигинуса и др. Трещины Гигинуса, Ариадея, Зильбершлага, Тризнецкера, Рамсдена (названные по имени главных кратеров) принадлежат к целой системе разломов восточно-северо-

восточного и северо-восточного направления, развитой в суб-экваториальном поясе Луны между Срединным заливом Моря Облаков и Морем Ясности.

Трещина Гигинуса, общий вид которой воспроизводится ниже, на прилагаемых рис. 19 и 21, находится среди архипелага островков кратерной суши к юго-западу от Моря Паров (между кратерами Агриппы, Манилия и Укерта; координаты, по Францу, $\lambda +6^\circ$, $\beta +8^\circ$). Под углом около 150° трещина Гигинуса делится на две прямые, постепенно утоняющиеся ветви. Как раз в вершине угла обеих ветвей лежит главный кратер Гигинуса.

К северо-востоку идет более короткая ветвь трещины. Она имеет вид ущелья с обрывистыми краями. Время от времени оба борта каньона желобчато изгибаются, включая в себя края глубоких воронок, через диаметр которых проходит трещина. Эти воронки суть жерла крохотных кратеров, боковых спутников Гигинуса. Совсем рядом с Гигинусом в северо-восточной части трещины находятся два зияющих жерла, затем еще одно, далее сплошная цепочка из пяти кратеров, сначала довольно крупных, а затем убывающих по величине, и, за изломом русла трещины, еще одна группа из четырех-пяти мельчайших жерл.

Более длинная западно-юго-западная ветвь трещины Гигинуса, судя по рисунку Кригера, столь же обрывистая, разделена косыми перегородками на пять чуть сдвинутых поперек звеньев. Эти перегородки, которые другим авторам кажутся кратерными валами, явно связаны с надломами и трещинами северо-восточного направления (параллельными восточной ветви трещины). Обрывистые склоны западной ветви трещины тоже ворончатые (т. е. пронизаны жерлами кратеров-спутников), но жерла эти гораздо менее обособлены и менее отчетливы (по сравнению с цирками — воронками, лежащими на восток от Гигинуса). На всем протяжении западной половины трещины можно насчитать больше двух десятков таких открывающихся в дно каньона кратерных жерл. Многие из них, видимо, вовсе не имеют собственного вала.

Неясно, существовала ли вначале точечная цепочка из мельчайших кратеров, позже насквозь расколотая ущельем раскрывавшейся трещины, или, что менее правдоподобно, жерла кратеров, возникающие среди уже готового каньона, вообще не были разделены стенками.

Параллельно восточной ветви трещины Гигинуса следуют зияющие трещины в окрестностях цирков Юлия Цезаря, Босковича и др.

Строго параллельно направлению западной ветви трещины Гигинуса располагается близ кратера Ариадея другая известная зияющая трещина Ариадея; координаты, по Францу, от $\lambda +18^\circ$; $\beta +5^\circ$ до $\lambda +9^\circ$; $\beta +8^\circ$. Она тянется на протяжении

более 300 км почти прямолинейно на юго-запад-запад, пересекая горный гребень между большим и малым цирком Зильбершлага. Западный конец трещины криволинейно изгибается и подходит к кратеру Ариадея. На перевале между кратерами Зильбершлага трещина Ариадея вовсе перестает быть видимой, но, по данным Леви и Пюизё, она здесь не прерывается, а лишь суживается до предела видимости и затем вновь расширяется. В скалистой пропасти каньона западной части трещины Ариадея кое-где виднеются такие же глубокие воронки, как и в ущелье Гигинуса. Некоторые жерла окружены зачаточными валами и светлыми ореолами выбросов.

Еще более правильными и удивительными являются точечные цепочки из кратеров такой ничтожной величины, которые обычно не поддаются фотографическому воспроизведению и улавливаются наблюдателями лишь в особо благоприятных условиях при самых сильных увеличениях. До недавнего

времени мельчайшие точечные цепочки кратеров почти вовсе не были известны селенологам, да и до сих пор еще находятся скептики, сомневающиеся в их существовании. Великое множество таких мельчайших точечных цепочек кратеров на Луне было открыто и тщательно зарисовано Яном Вейнеком. Существование цепочек мельчайших кратеров подтверждают, кроме того, Леви и Пюизё.

Обратимся к любопытному примеру точечных цепочек кратеров, как они изображены в атласе Вейнека — Кригера.

На прилагаемом снимке (рис. 19—копия с табл. 40 атласа Вейнека — Кригера) изображено днище цирка Венделина и склоны его вала с ближайшими окрестностями. Обращает на себя внимание трещина, пересекающая северный край цирка, порою густо пронизанная жерлами. Бросаются в глаза также и другие субпараллельные трещины на восточном нагорном склоне вала Венделина с рассеянными и сплошными цепочками мельчайших кратеров.

Разобранные случаи являются образцами взаимосвязи, существующей между трещинами и расположением кратеров. Взаимная зависимость обеих лунных формаций не ограничивается только закономерностями в расположении кратеров. Порой она распространяется также на очертания и на форму цирков. Примерами связи контуров цирков с морфологическими особенностями

разломов могут служить многочисленные неправильные по виду кратеры удлиненного очертания. Подавляющее большинство лунных кратеров изометрично; удлиненные, эллиптически-вытянутые, кренделевидные кратеры являются исключениями

из правила, и эти исключения по большей части попадают на участки хорошо сохранившихся путей борозд, ложбин и других линий разломов. Подобная приуроченность удлинённых кратерных колец к трассам разломов ясно заметна как в области новейших, так и среди самых древних формаций Луны. Присмотримся хотя бы к полузатопленным руинам полосы горных гребней и борозд в области гор Гемус, лежащей между Морем Паров и Морем Ясности.

Эта древнейшая полоса гористой суши представляет собою мозаику гребней, тесно сплетающихся с промежуточными ячейками неправильно-удлинённых кратеров (Босковича, Юлия Цезаря и мн. др.).

Таков и основной рисунок рельефа древней горной области Тавра (как это изображено на картах-схемах Мэри Блэгг).

Похожая картина строения в области Моря Облаков рассматривалась выше (рис. 6, стр. 62).

Среди руин бывших горных сооружений, просвечивающих со дна Моря Спокойствия, можно разглядеть еще более грандиозные удлинённые полосы-клетки неправильно вытянутых колец древних цирков, обусловленные конфигурацией почти затопленной ныне системы дизъюнктивных впадин, прослеживающейся вдоль берегов Тавра от цирка Посидония на юг до Метона и на юго-запад до Цензорина.

Среди «кратеров-близнецов», как принято называть слившиеся между собой кольца соседних цирков, не имеющие промежуточной перегородки, с общим валом, который бывает грушевидно изогнутым или пережатым

наподобие талии осы, очень многие (как, например; Шиллер, Отто Струве и др.) определяются расположением рамы обрушений. Общеизвестен пример грушевидной впадины Гутенберга и ряда его спутников, с очертаниями, подчиненными ориентировке общей трассы дизъюнктивной ложбины, которая огибает Море Нектара от Капеллы к Боненбергеру. Центральная главная часть впадины Гутенберга представляет собою почти правильную обширную округность плоского цирка, который подвергся подтоплению и на западе был, кроме того, перекрыт небольшим столь же плоским и древним округлым кратером. Грушевидные очертания впадины определяются бухтообразной выемкой в северном конце Гутенберга. Эта выемка имеет двойные концентрические стены — признак повторного обрушения цирка на устье древней широкой ложбины, которая тянется отсюда на соединение с трещиной, идущей от Капеллы.

Трасса линии разлома между северной бухтой Гутенберга и Боненбергером перегороджена неправильно бугристым массивом Пиренеев, образующим зубчатый останец древнейшего гористого рельефа этой местности.

Полигональные кратеры, как образец зависимости очертаний кольцевых гор от разломов

Другим примером зависимости очертаний кольцевых гор Луны от конфигурации разломов являются полигональные кратеры. Многоугольные очертания, как правило, свойственны лишь самым древним и крупным формам кольцевых гор Луны. Глубокая древность полей граненых цирков и зависимость их очертаний от расположения систем разломов на Луне уже давно была замечена исследователями.

Кратер Бург — простейший пример полигонального обрамления разломов

Самым простым образцом такого рода зависимости очертаний полигональных цирков от рисунка обрамляющей сети разломов является погруженное пятиугольное кольцо древнего кратера Бург (в Озере Мертвых).

Общий вид этого весьма любопытного полигонального образования изображен на моем рисунке и на приводимой вырезке из снимка Леви и Пюизэ (см. фиг. 4, рис. 20).

Пятиугольная впадина Бурга возникла, видимо, благодаря обрушению обломков лунной коры, разбитых четырьмя радиальными и пятью обрамляющими (периферическими) сбросами. Подобное лучевое скрещение трещин разломов, как мы уже не раз говорили, является самым подходящим местом для возникновения кратера. Однако в данном случае дальше образования впадины дело не пошло. Процесс остановился на стадии первоначального обрушения.

Бург вовсе не имеет вала. Его, пожалуй, нельзя еще и назвать настоящим кратером. Он представляет редкую иллюстрацию первоначальной обстановки, вполне подходящей для возникновения полигонального цирка.

Для этого, кроме первоначально сложившейся сети пасивных трещин обрушений, как видно, требуется еще проявление самих сил, созидающих кратерные сооружения. Поскольку возникновение разломов и образование цирков на Луне были взаимно связаны и одинаково зависели от общей более глубокой причины изменения физического состояния недр планеты, такие проявления кратерообразующих сил на подходящей канве разломов обычно не заставляли долго ждать.

Два различных объяснения механизма образования полигональных очертаний цирков

Вообще говоря, возможны существенно различные представления о механизме образования полигональных очертаний валов кратеров.

Первое, самое простое и естественное, сводится к предположению, что рамой, определяющей угловатые контуры цирков, служили прежде существовавшие линии разломов. Это предположение, поддерживаемое Леви и Пюизэ, мы только что

разбирали выше. На примере Бурга оно кажется самым правдоподобным.

Но кроме него мыслимы другие допущения. Например, возможно представить происхождение полигональной сети кратерных валов как результат свободного соприкосновения валов первично округлых цирков, которые разрастались и сталкивались между собою по равнодействующим полигональным границам.

В этом случае вовсе не требуется никакой прежде наметившейся полигональной канвы разломов. Многоугольность очертаний кратеров с этой точки зрения, развиваемой Ф. Сакко и некоторыми другими селенографами, является следствием скученности в расположении одновозрастных кратеров, одновременно разраставшихся тесно один подле другого. Происхождение полигональных полей кратеров тут объясняется аналогично образованию угловато-ячеистых скоплений пузырей пены, пчелиных сот, столбчатой лавы, угловатых колец знаков ряби и пр. вне всякой связи с первоначальными структурными линиями разломов.

В известных условиях нельзя отказать в правдоподобии обоим этим точкам зрения. О связи расположения кратеров с прежде существовавшими системами линий разломов мы все время толковали выше. Но, с другой стороны, можно найти фактические примеры перехода округлых очертаний стенок валов в прямые и угловатые там, где кратеры располагались бок о бок и где они по мере формирования сталкивались друг с другом.

Кратеры-близнецы, разделенные общей перегородкой

Таковы нередкие на Луне, тесно сидящие кратеры-близнецы, разделенные одной общей прямой перегородкой вала. Эта морфологическая особенность двойных кратеров благодаря чему они приобретают вид долек или половин одной впадины была замечена еще Медлером. Много примеров таких кратеров-долок описывалось Леви и Пюизё (в объяснительном тексте к атласу Луны).

Самым известным примером является целая полоса перегородженных валом половинок цирков, которая находится на северном побережье Моря Облаков к западу от Питата и Гаурика. Достоинно внимания, что и в данном случае общая перегородка валов, свидетельствующая об одновременном росте, прослеживается на значительном расстоянии почти прямолинейно, т. е., по всей вероятности, располагалась не случайно, а на месте какой-то древней структурной линии.

Местность, о которой идет речь, и описываемая взаимосвязь общей перегородки, пересекающей кратеры, с древней линией разлома, столь интересна с генетической точки зрения, что заслуживает дальнейшего более детального изучения.

**О зависимости
полигональных
очертаний цирков
от расположения
древних систем
разломов**

Выбор между двумя существенно отличными объяснениями генезиса полигональных форм лунных гор можно сделать уже по логическим следствиям из обеих высказанных гипотез.

В самом деле, в случае одновременного и свободного, т. е. не predeterminedного прежде существовавшими линиями разломов, роста одиночного кратера, мы будем иметь очертания, близкие к окружности. На стыке двух одновременно разраставшихся цирков возникнет прямая пергородка. На стыке трех кратеров произойдет трехдольное разделение общей впадины. И лишь в случае тесного крастания множества цирков мы получим полигональные (многоугольные — чаще пяти или шестиугольные) грани валов.

Существенно, что полигональное ограничение валов в условиях свободного разрастания получится только внутри роя одновозрастных цирков. Наружные части валов краевых кратеров там, где они не смыкались вплотную друг с другом, должны остаться круглыми. Угловатая ячеистость смежных валов кратерных групп возникнет, согласно предположению о свободном разрастании, как следствие расположения центров и пропорционально размерам сталкивающихся колец. Аранжировка граней и углов полигональных цирков могла бы, следовательно, быть выведена прямо из отношения нормалей к кратчайшим радиусам стыка кратеров.

Полигональное очертание одиночного кратера (без первоначального обрамления по линиям прежде существовавших разломов) с этой точки зрения вообще является необъяснимым исключением из правила.

С точки зрения свободного разрастания валов столь же трудно понятно и образование квадратных форм кратеров.

А между тем одиночные кратеры многоугольного очертания на Луне встречаются так же не редко, как и поля полигональных цирков, причем последних имеются целые области, где преобладают субквадратные (угловатые) формы.

С точки зрения свободного (т. е. не predeterminedного прежде существовавшими структурными линиями) разрастания цирков, субквадратные ячейки должны быть крайне редким исключением по сравнению с пентагональными или гексагональными. С точки же зрения связи полигональных кольцевых гор с древними системами разломов лунной поверхности, где ортогональное пересечение поясов трещин является самым обычным, субквадратные контуры цирков должны быть широко распространены на Луне. Возникновение целых групп субквадратных цирков не может быть объяснено и с точки зрения баллистической (метеоритной) гипотезы.

Это обстоятельство было отмечено в литературе Т. Р. Чемберленом, который называл квадратные формы цирков

«лунными огородами»¹. Вся бореальная область гористой суши между Морем Дождей и Морем Гумбольдта представляет собою в этом смысле сплошное «огородное хозяйство» Луны.

Мы указывали, что в области древней гористой суши северо-западного квадранта лунного диска кратеры группируются преимущественно по двум поперечным направлениям, отвечающим перекресту поясов разломов: на северо-восток (от Демокрита до Скорезби) и на северо-запад (от Пифагора к Майну). Сообразно с перекрестным расположением вытянуты и самые контуры цирков. Наиболее крупные кратеры, такие, как Вильям Бонд, Барроу, Майн, Христиан Майер, Аристотель и множество других, являются отчетливо четырехугольными, почти квадратными.

Очень ясное фотографическое изображение этой области субквадратных цирков было получено Леви и Пуизе; копия соответствующей таблицы парижского атласа Луны здесь воспроизводится (см. рис. 23). Как видно, далеко не все древние цирки в этом районе являются субквадратными. Между Скорезби, Бондом и Христианом Майером заметно много полузатопленных руин больших колец, почти круглых, нередко гроздьевидно слитых.

Центральной фигурой описываемой группы древних построек является грандиозный полигон кратера Вильяма Бонда. Согласно измерениям В. Гудэкра, длина сторон квадрата Бонда доходит до 98 миль². Прямоугольник произошел собственно из двух полузатопленных древних изгородей, из которых меньшая образовала юго-восточный угол, большая — остальную часть арены кратера Бонда. Ориентировка сторон полигона Бонда (с северо-запада на юго-восток и с юго-запада на северо-восток) подобна расположению других соседних линий этой области скрещения разломов.

*Западнее Бонда находится узкая ванна продолговатого зигзаговидно изломанного древнего кратерного полигона.

Почти такая же обрамленная гребнями впадина располагается и к востоку от Бонда. Неподалеку отсюда лежит одинаково ориентированный квадрат цирка Скорезби.

Влияние общей структурной канвы скрещения разломов сказывается на цирках и по ту сторону Моря Холода, вплоть

¹ Chamberlin Th. Chr. The two Solar Families — The Sun Children (Chapt. XXI. The Evolution of the Moon, pp. 188—200; Chapt. XXII. The Interpretation of the Craters of the Moon, pp. 211—213). Univ. Chicago-Press. Chicago, III, 1928—1929.

² См. новый список измерений величины кратеров Луны: Goodacre W. The Measurement of the diameters of 459 Lunar craters. „Memoirs Brit. Astr. Ass.“, 1936, v. 32, pp. 23—28.

до угловатого обрамления колец Аристотеля и Эвдокса. Цирки Аристотеля и Эвдокса, судя по степени сохранности, относятся уже к несколько более поздней эпохе (сравнительно с группой Бонд — Барроу). Они не имеют столь четкой субквадратной формы. Валы их не нацело предопределены перекрестом разломов.

Совсем свежие правильно округлые лунки кратеров Архита, Протагора и некоторых других не имеют никакой связи с описанным древним структурным орнаментом. Они, очевидно, являются независимыми и позднейшими образованиями.

Районы распространения субквадратных цирков (побережье Южного моря, близ южного полюса и др.)

В арктической части лунного глобуса и в особенности по берегам Моря Холода выразительно пересечение поясов разломов выражено особенно резко, отчетливее, чем в какой-либо иной местности. Естественно, что область эта является классической страной субквадратных цирков. Все же она не

является единственной.

Подобное же поперечное скрещение поясов разломов наблюдается, хотя и в меньшей степени, в районах южного полушария Луны, например на берегах Южного моря, в горных массивах, расположенных к югу от Моря Облаков и Моря Влажности, а также в районе южного полюса Луны. Среди упомянутых структурных перекрестков также встречаются угловатые древние цирки, хотя и не столь многочисленные и не столь резко очерченные. Кратерные впадины Морета, Грумбергера, Бланкана и некоторые другие обнаруживают аналогичную более или менее прямоугольную конфигурацию. Угловатость их контуров тоже определяется канвой пересечения разломов.

Субквадратные цирки среди поясов параллельных разломов

Нельзя, однако, сказать, что субквадратные контуры в кратерных группах появляются непременно только в районах пересечения поясов разломов. Угловатые цирки встречаются и в странах со строго парал-

лельным расположением гребней и борозд там, где последние лежат очень тесно и в генетическом переплетении с одновременно возникавшими кратерными постройками. Случаи такого рода имеются среди нескольких горных областей Луны, например в архипелаге между Морем Ясности, Морем Спокойствия и Морем Паров, в горах Тавра и некоторых других.

Классическим примером может служить упомянутый гористый архипелаг, ограничиваемый горами Гэмус и ущельем трещины Ариадея. Полузатопленные руины гребней и борозд здесь тянутся тесно и строго линейно. Гребни анастомозируют с частями кратерных валов столь неразрывно, что не возникает сомнения в их экструзивной природе. Во многих местах линии гребней связываются поперечными перемычками, бла-

годаря чему возникают ряды промежуточных впадин-клеток. Таковы полосы циркоподобных субквадратных впадин между Созигеном и Юлием Цезарем, ромбоидальные клетки-впадины близ Сульпиция Галла, к юго-западу от Конона и др.

Некоторые из них сохранились столь ясно, что были зарегистрированы как второстепенные кратеры (под соответственными буквенными индексами) в международной номенклатуре лунных формаций.

Полосы угловатых клеток впадин среди переплетения гребней имеются и в горах Тавра (между Ньюкомбом и Кирхгоффом, Витрувиум и Маральди), а также на берегах Болота Сновидений. Такая же картина наблюдается среди руин затопленных древнейших кратерных полей, просвечивающих со дна Моря Ясности и в Заливе Туманов.

Лучше всего эта клетчато-линейная мозаика была, как уже упоминалось выше, расшифрована в цитированных обзорных картах Мэри Блэгг.

Примеры строения отдельных групп полигональных кратеров. Свободное разрастание не является причиной полигональности

С генетической точки зрения особенно интересны отдельные ряды полигональных кратеров, поскольку они дают возможность окончательного выбора между двумя упомянутыми гипотезами о причинах возникновения полигональности в очертаниях лунных кратеров.

Если причиной полигональности является стык валов вследствие свободного разрастания, не предопределенного прежде существовавшей сеткой разломов, внешние нервы спаянные между собою части вала у полигональных кратеров должны оставаться округлыми. Расположение граней и число углов в таком случае должно зависеть от взаимного распределения, размеров и числа контактирующих цирков.

Если полигональность предопределяется структурной канвой разломов, все эти особенности очертаний могут отсутствовать или не иметь подобной взаимосвязи.

Изучение отдельных групп и рядов полигональных кратеров показывает, что свободное разрастание валов, не предопределяемое канвой разломов, в большинстве случаев не могло быть основной причиной возникновения полигональности. Наличие одиноко лежащих полигональных кратеров вовсе необъяснимо с этой точки зрения.

Посредством стыка валов, не предопределенного разломами, можно было бы объяснить лишь случаи образования двойных и тройных прямых перегородок внутри кратеров-двойняшек и сложнокammerных цирков, подобных Цензорину, Лицету и пр. Но и в этих случаях речь идет, повидимому, не о свободном разрастании и стыке кратерных валов, а об экструзии пребней-перегородок на месте трещин, пересекавших ширки.

Внешне не спаянные между собою части валов кольцевых гор в группах полигональных кратеров обычно тоже многоугольны. Возьмем, например, хорошо изученные группы огромных полигональных цирков на западных берегах Моря Облаков. Грандиозный древний цирк Пурбаха является краевым в одной из таких полигональных групп. Его очертания почти не стеснены соседями. Соседний небольшой многоугольный кратер Тебит расположен совсем отдельно. И тем не менее очертания обоих имеют столь же ясную огранку, как и контуры других соприкасающихся бок о бок полигональных кратеров.

Замечательна общность ориентировки граней и углов многоугольных цирков, которая проявляется на огромных площадях, независимо от того, контактируют ли между собою кольцевые горы или же располагаются уединенно и отдельно друг от друга.

Рассматриваемые группы полигональных кратеров находятся, как мы знаем, среди древнего пояса разломов, где господствует северо-восточное алтайское простирание. К северо-восточному главному направлению гребней, борозд и трещин здесь примешивается юго-восточная ориентировка линий разломов, которая отвечает направлению известной трещины Гезиода и становится все более отчетливой по мере приближения к южным берегам Моря Облаков (между Вурцельбауером и Меркатором). Замечается, наконец, и более близкая к широтному направлению второстепенная система разломов западно-юго-западного простирания; она сказывается в изгибах пояса разломов близ Абульфеды и повторно проявляется в новейших трещинах типа Гигинуса.

Эти-то три взаимодействующие системы разломов и создают канву для шестиугольной огранки полигональных кратеров на всем обширном пространстве между Морем Облаков и Морем Нектара.

В шестигранной арене цирка Птолемея основному алтайскому простиранию подчинены две самые длинные боковые грани. Другая почти поперечная к ним противолежащая пара граней (на юго-восток от Гершеля А) параллельна простиранию линий типа Гезиода. Третья дополнительная пара граней кольца (на стыке с Альфонсом и к юго-западу от Гершеля А) соответствует упомянутым почти широтным изгибам поясов разломов в районах Абульфеды.

Подобное же расположение и соотношение граней мы находим в смежном пятиугольном кольце Альфонса.

У Арцахеля развиты главным образом грани гезиодовского и алтайского направления. Более или менее аналогична огранка колец Пурбаха, Бланшина, Донати, Лакайля, Альяцензия, Вернера, Кайзера, Азофи, Гудэкра, Загута, Стибория и многих других.

Почему полигональные цирки встречаются чаще в приполярных областях Луны

Полигональность очертаний кратеров является следствием пересечения нескольких систем разломов. Такое пересечение создавалось в результате долгой исторической эволюции структуры поверхности. Оно сохранялось главным образом среди фрагментов самых древних частей лунной суши и бесследно исчезало под покровами новейших лавовых излияний. Последние имели место в особенности в экваториальном Великом поясе лунных морей. Понятно, что полигональные кратеры, принадлежащие к древним поколениям кольцевых гор, встречаются чаще в приполярных областях Луны. В этом обстоятельстве, стало быть, нет ничего загадочного, как это прежде представлялось некоторым авторам.

Зависимость кратеров и трещин нередко взаимна. Примеры трещин, тяготеющих к циркам и отклоняющихся от них

Связь полигональных кратеров и некоторых других типов кольцевых гор с разломами является на Луне не только тесной, но и нередко взаимной. Вопрос о том, которая из двух формаций генетически подчинена другой и что здесь служит причиной, а что следствием, в отвлеченном виде не имеет смысла. Кратеры, когда они линейно ориентированы, как правило, подчинены расположению поясов разломов. Но и разломы, в свою очередь, могут определяться местом расположения существовавших до того кратеров. Ведь закон морфологического наследования и соподчинения структурных форм по древности равно действителен и для кратеров и для разломов. Позднейшая сеть разломов, как известно, следует подчас по старой канве трещин. Только благодаря использованию старого рисунка раздробления и могли образоваться зигзаговидные трещины типа Зильбершлага, зигзаговидные побережья гористой суши, подобные изломанной береговой линии Кавказа, остроугольным бухтам Моря Кризисов и пр.

Кратеры, как мы знаем, возникали порою в узлах сети разломов или же сопровождались кольцевыми обрушениями. Такие застроенные кратерами, зарубцевавшиеся очаги нарушений, унаследованных от прежней структуры, могли оказаться проводниками повторных трещин. Понятно, что новейшие разломы иногда уклоняются от своего пути по направлению к кратерам. Они порою словно тяготеют к циркам.

Имеется ряд примеров такого тяготения новейших разломов (зияющих трещин) к ранее возникшим кратерам, как к центрам прежнего раздробления. Некоторые из этих примеров уже описывались выше. Можно указать еще, например, на известную зияющую трещину Сирзала, которая вдруг отклоняется от прежнего направления, подходя к цирку, на трещины близ Цихуса, Архимеда, Коперника и т. п. Гораздо

чаще встречаются обратные соотношения. Трещины, подходя к циркам, обходят, огибают их, подобно тому, как линия расщепления изгибается, обходя суковатые узлы в древесине.

Сравнение мест расположения кратеров с сучками в древесине, надо заметить, имеет определенный физический смысл, поскольку жерла кратеров на глубине должны представлять собою настоящие стволы магматических масс, застывшие среди более раздробленных древних пород коры планеты. Цирки, по словам Леви и Пюизэ, нередко «представляют препятствие для распространения трещин»¹. Примеров изгибания одиночных трещин около кратеров известно очень много. Достаточно сослаться хотя бы на концентрическое обтекание бороздами и трещинами кратеров Арцахеля, Снеллия, Посейдона и др.

Линейно-ориентированные цирки — незначительная часть общего числа кольцевых гор

Полигональные, линейно-ориентированные или иным образом координированные с разломами кольцевые горы любопытны с генетической точки зрения. Но в смысле частоты встречаемости полигональные цирки являются совершенно второстепенными образованиями. Они составляют очень небольшую часть общего числа лунных кратеров (не свыше 1,5—3,1%). Всего около 3,1% (46 из 1455) полигональных цирков насчитывается, например, даже в такой богатой гранеными кольцами области древней горной суши, которая находится между Морем Облаков и Морем Нектара. Исключением из общего правила являются страны, где перекрест региональных поясов разломов выражен особенно резко. В подобных областях перекрестной структуры, например в арктической зоне лунного диска, как мы знаем, большинство цирков приобретает угловатые (субквадратные) очертания.

Остальная масса кольцевых гор Луны обычно свыше 97—98% их общего числа, отличается почти округлыми очертаниями. Контуры цирков обычно не контролируются сколько-нибудь заметным образом разломами. Расположение цирков, особенно в местах их многоярусного наложения, представляется на первый взгляд совершенно беспорядочным и случайным. Огромные пространства гористых областей лунной поверхности нередко густо усеяны кратерами, многократно перекрывающими друг друга. Эти кратерные поля прежде всего бросаются в глаза и новичку-наблюдателю кажутся чуть ли не единственной доминирующей формой возвышенностей Луны. Подсчет показывает, впрочем, что это первое впечатление о густоте распределения цирков является пре-

¹ „Atlas phot. de la Lune“, Fasc. II, Paris, 1909, page 19.

увеличенным. Глаз, фиксирующий своеобразные кольцевые формы лунных гор, недооценивает относительную долю площади, приходящейся на внешние промежутки между кратерами, и не учитывает обширные размеры пространств, почти вовсе лишенных цирков. По данным Т. Л. Макдональда, общая доля поверхности Луны, покрытая кольцами кратеров, в действительности очень невелика. На долю кратеров приходится всего от 9 до 12%, а на межкратерные пространства, особенно в равнинах морей и на хребтах, до 91% общей площади. Среди массивов древней суши встречаются страны с очень густым расположением цирков, вроде уже упоминавшейся горной области между Морем Облаков и Морем Нектара, где кольцевыми горами покрыто не меньше 50—65% площади.

Общее число кратеров. Результаты выборочного подсчета. Плотность распределения кратеров следует определять ввиду многоярусного их наложения друг на друга соотношением средних размеров к общему числу на определенной площади. Знание этого соотношения существенно необходимо для разрешения многих генетических проблем, если их исследовать статистически. Но, как это ни странно, ни одного достоверного, наглядно обоснованного подсчета общего числа кольцевых гор Луны до сих пор еще не было сделано. Различные авторы давали слишком разные оценки общей численности лунных кратеров, но не подкрепляли результата подсчета необходимыми объяснениями.

Общее число кольцевых гор на Луне

| | | |
|------------------------------|------------|---------|
| По К. де Бери | 1927/28 г. | 100 000 |
| „ В. Г. Фесенкову | 1936 „ | 40 000 |
| „ Ж. Бозлеру | 1928 „ | 30 000 |
| „ Т. Р. Чемберлену | 1929 „ | 30 000 |
| „ Н. Боневу | 1936 „ | 10 000 |

Причины столь резких расхождений в подсчетах, повторяю, неизвестны.

Для проверки мы можем воспользоваться упомянутыми обзорными картами Мэри Блэгг, являющимися надежной топографической основой. К сожалению, карты эти охватывают лишь часть видимой лунной поверхности. Можно ограничиться выборочным исследованием, взяв для подсчета четыре центральных листа карты Мэри Блэгг, поскольку в данной области горные страны чередуются с областями равнин морей, т. е. как

раз и представлены промежуточные (по густоте кратеров) зоны лунного глобуса. На прилагаемой составленной мною карточке-диаграмме густоты распределения кратеров по численности и по величине (см. рис. 18) использовано все пространство упомянутых четырех листов карты: лист А — к востоку от

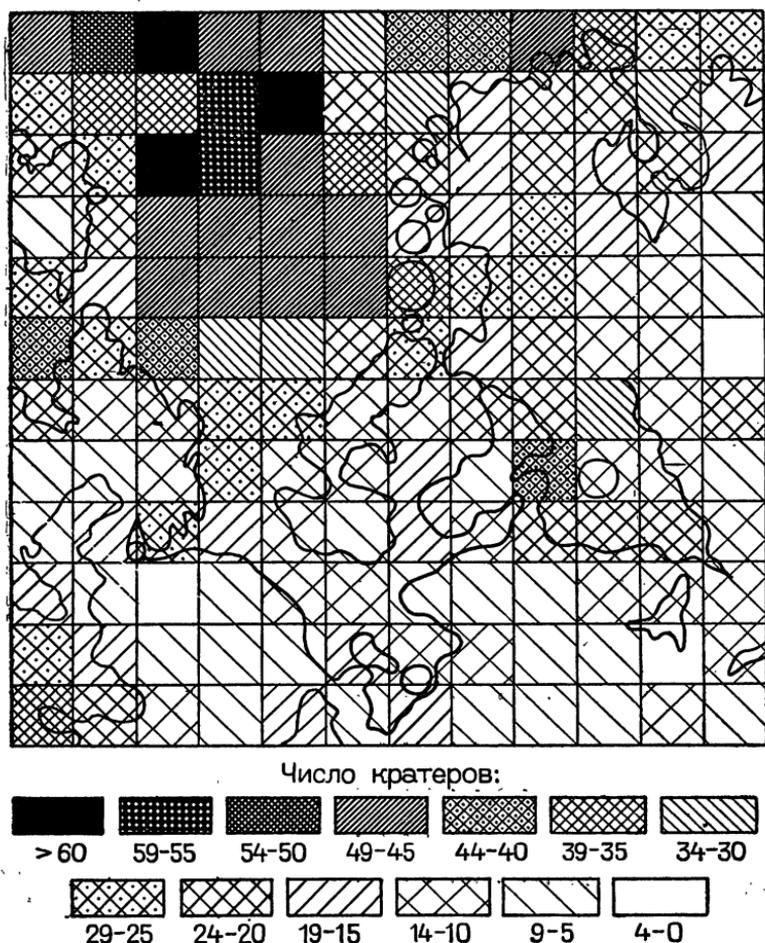


Рис. 18. Плотность распределения кратерных форм в центральной части Луны.

Моря Нектара, лист Б—область Моря Облаков (между Арцхелем и Гассенди), лист В—архипелаг между Морем Спокойствия, Морем Ясности и Морем Паров, лист Г—район Коперника и Моря Влажности. На этом пространстве с площадью около 6,15 млн. кв. км насчитывается до 3 328 сохранившихся цирков.

Если признать эту площадь морфологически типичной для лунного глобуса в целом, выходит, что на всей доступной наблюдением поверхности лунного диска (до 59%, при максимуме либраций), вероятно, насчитывается не меньше двенадцати тысяч кратеров. На лунном шаре в целом, считая и обратную (невидимую с Земли) сторону, соответственно наберется до двадцати с половиною тысяч отдельных кольцевых гор. Речь идет, конечно, о более или менее хорошо сохранившихся цирках. Мы можем лишь гадать, сколько же всего их — быть может вдвое или втрое больше — было построено и затем разрушено в течение всей планетарной истории нашего спутника.

Случайно ли распределение кратеров (по густоте)? Результаты статистического исследования, произведенного Н. Боневым

Я уже сказал, что в местах особенно густого нагромождения цирков их расположение на первый взгляд кажется совершенно хаотическим, случайным. В селенологической литературе, особенно в популярных, не рассчитанных на специалистов книжках, из этого поспешного заключения делаются далеко идущие морфолого-генетические выводы. Отсутствие какой бы то ни было закономерности в расположении лунных кратеров особенно старались доказать авторы — сторонники их космического, метеоритного происхождения.

К их числу принадлежал Н. Бонев¹, болгарский астроном, который задался целью статистическим способом проверить, расположено ли множество лунных кратеров совершенно случайно, как следовало бы ожидать, исходя из гипотезы их метеоритного генезиса, или до некоторой степени закономерно. Рассматривая горную область побережий Моря Облаков, Бонев заметил, что расстояние между центрами цирков, с диаметром от 6 км, как правило, равно или больше 6 км. Принимая это обстоятельство за чисто случайное и вместе с тем за типичное для видимого полушария Луны, Бонев решил найти вероятность, при которой угловое расстояние α двух любых соседних точек, взятых случайно на поверхности сферы, должно быть меньше, чем их средний линейный размер a . Задача сводится к решению уравнения $1/2 : (1 - \cos\alpha)$, обычно применяемому в аналогичных случаях для исследования пар двойных звезд (в применении к одному полушарию: $1 - \cos\alpha$).

Бонев исходил из обоснованной цифры общего числа кратеров, равного 10 000. Опуская подробности математических расчетов, излагаемых в работе Бонева, следует указать, что в итоге он пришел к совершенно для себя неожиданному

¹ См. Boneff N. Les probabilités des causes et l'origine des cratères lunaires. „Astron. Nachrichten“, pp. 421—426, v. 260, N. 6239, 1936.

выводу. Решение уравнения упомянутого вида для обоих крайних случаев общей численности кратеров, полученное Боневым, гласит, что вероятность наличия множества цирков (на всем видимом полушарии Луны, как и на одном случайно выбранном небольшом ареале этой поверхности), которые характеризуются взаимными расстояниями, равными или более значительными, чем данная длина $a = \alpha$, очень близка к нулю.

Иначе говоря, наличие подобного рода распределения кратеров (по густоте, — с взаимными расстояниями, равными или превосходящими длину a) безусловно не является случайной.

Региональное распределение размеров цирков не может, по данным статистики, объясняться случайностью

Удар поверхностным впечатлением о якобы совершенно хаотическом, чисто случайном распределении кратеров среди горных областей Луны был нанесен статистическими исследованиями. Подсчеты обнаружили региональный характер группировки размеров кратеров. Оказалось, что среди обширных полей кольцевых гор выделяются отдельные районы, где заметно преобладают кратеры определенной величины, скажем, с поперечником в 28 миль, тогда как рядом располагаются участки не менее резко очерченной контуры с господством цирков другого диаметра; так, район преобладающих крупных кратеров, пространственных между Морем Нектара и Морем Облаков, сменяется юго-восточнее, ближе к центру лунного диска береговой каймой господства значительно более мелких цирков, преобладающих в области Карпат, Апеннин, гор Гэмус и др. Дж. Юнг справедливо указывает, что подобного рода «региональность» в распределении размеров среди кратерных полей Луны необъяснима с точки зрения предположения о внешнем чисто случайном способе их образования, например с точки зрения метеоритной (баллистической) гипотезы происхождения кольцевых лунных гор (которая как раз и исходит из, будто бы, совершенно случайного распределения кратеров); региональное распределение цирков по размерам должно, с точки зрения метеоритной гипотезы, указывать на строгое пространственное обособление однородных роев падавших тел, способных создавать такие поля однородных по величине воронок взрывов, что является в высшей степени искусственным и маловероятным предположением. Между тем, при допущении внутрипланетной природы сил кратерообразования, подобная региональная локализация величин цирков вполне понятна и естественна.

Кольцевые горы, рассматриваемые как жерла извержений, естественно должны группироваться в известных пределах по величине в зависимости от мощности и глубины местных очагов, их питающих.

Пропорция случайного распределения наклонов воронок взрыва и соответствует ли она действительному распределению лунных кратеров

Бартки задался целью вычислить, каково должно быть распределение наклонов множества кратерных воронок, если допустить их образование чисто случайным и внешним (баллистическим) путем. Для расчета было принято исходное число кратеров, равное 30 000. Из 30 000 падений метеоритов, по законам случайности, должно было

прийтись под большими углами (от 90 до 60°) не менее четверти общего числа, т. е. около 7 500; под средними углами (от 60 до 30°) — около половины, т. е. 15 000; и, наконец, еще четверть воронок (7 500) должна прийти под очень косым наклоном траекторий падений. Если бы действительное положение вещей отвечало такому расчету, случаи сильно скошенных конусов кратерных воронок встречались бы сравнительно часто, а наряду с ними попадались бы поверхностные борозды и другие следы касания полого пролетавших над поверхностью Луны болидов. На деле, как увидим ниже (при разборе строения косых воронок типа Мессье), подобные примеры косо наклоненных кратерных воронок чрезвычайно редки, а следы касания полого летевших метеоров на поверхности Луны и вообще отсутствуют. Отсутствие такого рода морфологических признаков в сколько-нибудь достаточном количестве Т. Р. Чемберлен считал обстоятельством, фатальным для гипотезы о чисто случайном и внешнем (баллистическом) способе образования лунных кратеров. Расчеты Бартки и Чемберлена, однако, как увидим ниже, не являются безупречными. Так или иначе, результаты статистического анализа всей совокупности кратерных множеств Луны согласно указывают, что картина распределения кольцевых гор в целом не является совершенно хаотической, случайной.

Обнаруживающаяся, хотя и скрытая, закономерность группировок кольцевых гор тем более замечательна, что она, как мы знаем, проявляется во многовековом и многоярусном нагромождении самых различных сочетаний цирков, возникших в неодинаковые времена и разными путями.

Этот удивительный результат статистики кратерных форм Луны не только не должен препятствовать дальнейшим попыткам статистического изучения, но, напротив, является в высшей степени обнадеживающим признаком.

Если даже такой суммарный анализ множеств кольцевых гор, совершенно не учитывавший различия цирков по их взаимосвязи, степени сохранности, типу и возрасту, улавливает скрытые законы распределения среди кажущегося хаоса кольцевых гор, понятно, что в дальнейшем более дифференцированное и обдуманное количественное изучение генетически однородных категорий форм лунной поверхности даст еще

более значительные результаты, которых нельзя было достичь путем простого обозрения.

Возвращаясь к рассмотрению лунных **Эллиптические** кольцевых гор, следует отметить, что они, как правило, имеют изометрические, почти правильно-округлые очертания. Число эллиптических кратеров на Луне не превышает 1 процента (представления Нейсона и других авторов об относительной частоте эллиптических цирков были основаны на недоразумении— не учитывался ракурс колец близ краевых частей диска Луны). И, тем не менее, крайняя редкость овальных колец еще не может сама по себе служить доводом против метеоритной гипотезы.

Расчеты показывают, что при предполагаемой необычайной силе удара крупных болидов при падении произойдет расплавление пород и детонация, благодаря чему возникнет воронка взрыва, которая при самых различных углах падения снаряда будет иметь почти изометрические очертания. Наблюдения над видом воронок взрыва, образующихся при разных углах падения авиационных бомб, на западноевропейских театрах войны 1915—1916 гг. и 1939—1940 гг., свидетельствуют о подавляющем преобладании изометричных очертаний.

Дискуссия о контурах кратеров, которая происходила между Чемберленом, К. де Бером и другими авторами, вообще имеет мало отношения к лунной действительности.

На Луне воочию видно, что эллиптические, грушевидные, ланцетовидные и другие сильно вытянутые формы кольцевых гор возникают обычно только там, где кратеры взаимодействуют с разломами. Поскольку жерло кратера в этих случаях возникает на еще не закрывшейся ране разлома, понятно, что извержение нередко распространяется на близлежащие части трещины, а образующийся вал вытягивается по берегам лавового канала.

Так и только так можно понять происхождение крайних по удлинению форм кратеров, подобных Гутенбергу, где кольцевой вал вытянут наподобие рта с губами, разделенными линией разлома. Об этих крайних формах удлинения валов мы уже говорили подробно при рассмотрении взаимосвязи разломов и цирков. Разберем еще несколько случаев эллиптических колец (мы должны брать примеры лишь из срединных частей видимого лунного диска, чтобы не повторять упомянутую ошибку Нейсона).

Небольшой ланцетовидно-вытянутый цирк Гипатия в северо-восточном побережье Моря Нектара удлиннен подобно другим соседним вполне отчетливо по направлению развитых в этом месте древних разломов, почти затопленных или застроенных кратерами. Контур кольца Гипатии волнистый, с пережи-

мами, ясно указывающими, что удлинение кольца произошло благодаря слиянию целой группы из четырех мелких одновременно действовавших жерл. Подобное же волнистое длинное кольцо находится рядом с кратером Босковича, среди множества хуже сохранившихся вытянутых овалов на полуза-топленном древнем перешейке между Морем Ясности и Морем Паров. Соподчинение вытянутости валов линиям разломов как результат слияния действия цепочки жерл здесь также очевидно.

Заметные отклонения от изометричности, встречающиеся у полигональных кратеров, таких, как Арцахель, Архимед, Капуан, Питат, Лексель, Посидоний и некоторые другие, подчинены расположению ребер определяющей рамы разломов. Есть, наконец, и такие случаи не резкой, но удивительно правильной эллиптичности вала, вроде Рейнгольда, Даниеля, Линдена, где подчинение жерла расщелине остается вовсе недоказанным. В этих случаях достаточно допустить незначительное отклонение сечения жерла от правильного круга, или предположить отклонение канала от вертикали, чтобы получить тот же результат. Сдавливания горловины жерл вполне вероятны, если представить себе центр кратерного действия, развивающийся не в свободной жидкой среде, а в поле, стесненном условиями прежней структуры лунной коры. Можно даже удивляться тому, что подобные случаи столь редки.

Повидимому, коль скоро очаг кратерообразования возник, плавление совершалось так энергично, что различия в составе и в условиях залегания масс лунной коры обычно почти не имели значения.

На поверхности, сплошь покрытой кольцами всевозможных размеров, число самых крупных цирков всегда окажется наименьшим. Заметное преобладание колец определенной величины скажется в недостаточной численности меньших кратеров. Но чем размеры колец меньше, тем труднее учесть их действительное число. В этом и состоит основной недостаток статистики распределения частот лунных кратеров различных размеров. Мы в точности еще не знаем числа мельчайших цирков. Новейший, более полный список измерений Гудэкра дает закономерно асимметричный полигон распределения частот размеров, в котором мода, т. е. аргумент наибольших частот, находится в интервале между 30 и 20 км длины поперечника (Гудэкр измерял диаметры кратеров в английских милях).

Полигон значений частот размеров кратеров, построенный по списку Граффа, явно недостаточен для вывода моды частот, хотя и по нему можно догадаться, что чаще всего встречаются кратеры с поперечниками от 55 до 20 км.

Из общего числа измеренных кратеров приходится

| | | |
|---|--------------|----------|
| С поперечником меньше 10 миль | 35 кратеров | или 7,7% |
| От 11 до 20 миль | 87 " | " 19,0% |
| " 21 " 30 " | 113 " | " 24,8% |
| " 31 " 40 " | 68 " | " 14,9% |
| " 41 " 50 " | 47 " | " 10,3% |
| " 51 " 60 " | 44 кратера | " 9,6% |
| " 61 " 70 " | 20 кратеров | " 4,4% |
| " 71 " 80 " | 18 " | " 3,9% |
| " 81 " 90 " | 7 " | " 1,6% |
| " 91 " 100 " | 8 " | " 1,8% |
| " 101 " 110 " | 3 кратера | " 0,7% |
| " 111 " 120 " | 2 " | " 0,4% |
| " 121 " 130 " | 3 " | " 0,7% |
| " 131 " 140 " | 0 | " 0,0% |
| Сверх 141 мили | 1 кратер | " 0,2% |
| | 456 кратеров | 100% |

Недостаточность сведений о числе самых мелких кратеров наглядно видна из специального подсчета Ю. Франца. Среди 149 измеренных кратеров с диаметрами меньше 45 км самых мелких оказалось 102 кратера (с диаметром меньше 15 км).

По мере дальнейшего уточнения численности лунных кратеров мода частот их размеров возможно еще несколько передвинется в сторону небольших колец. Но и на основании имеющихся данных ясно, что на Луне замечается определенное преобладание сравнительно некрупных кратеров с поперечниками меньше 60 км. Цирки диаметром свыше 130 км на Луне очень редки. Интересно было бы знать, нет ли обратного максимума частот размеров среди самых крупных кольцевых образований Луны. А. Вегенер пытался доказать совершенно неуловимую постепенность перехода величин, связывающую лунные кратеры и моря посредством простого графического сопоставления близких диаметров. Но на графике Вегенера все же бросается в глаза разрыв между размерами самых крупных цирков Гримальди, Байли, Отто

Струве (до 300 км диаметром) и между величинами наименьших морей (свыше 500 км) (Море Кризисов). Из самостоятельности рангов величин морей и кратеров, конечно, не следует делать вывода, будто между ними нет переходов; к числу таковых относятся, например, Море Абеля, Море Гумбольдта и др.

Высоты кратеров, валов и пиков.

Картина региональных «группировок наибольших высот»

Высота кольцевых лунных гор, измеряемая по длине теней, отбрасываемых склонами при косом освещении, т. е. относительно к подножью, чаще всего не превышает 2—2,5 тыс. м. Лишь немногие вершины кратеров превосходят 3 тыс. м. И только единичные кратерные валы достигают 7—8 тыс. м (центральные горки или кратерные пики, как правило, ниже склонов).

К числу высочайших, как полагают, относятся самые крупные древнейшие цирки, между прочим одна кольцевая возвышенность в горах Лейбница ($\lambda+90^\circ$, $\beta-80^\circ$), расположенная среди самых обширных гористых пространств в области южного полюса Луны с высотой до 9 тыс. м. Медлер, которому принадлежит приводимый ниже статистический подсчет частоты высот лунных кратеров, считал самой высокой точкой Луны в той же антарктической части глобуса западный край пребня цирка Ньютона ($\lambda-10^\circ$, $\beta-77^\circ$) с высотой около 7,26 тыс. м. К числу высоких центральных горок внутри цирков относится пик кратера Морета.

Распределение относительных высот лунных гор (по Медлеру)
(из общего числа 1094 измеренных пунктов)

| | | |
|--------------------------------|-----------------|-------|
| С высотой 7—6 тыс. м | всего 6 пунктов | 0,6% |
| 6—5 | 21 пункт | 1,9% |
| 5—4 | 82 пункта | 7,4% |
| 4—3 | 184 | 16,8% |
| 3—2 | 289 пунктов | 26,4% |
| 2—1 | 320 | 29,2% |
| Меньше 1 тыс. м. | 192 пункта | 17,7% |

Как видим, самые значительные неровности лунного рельефа составляют несколько тысячных долей радиуса планеты (0,001—0,005). Взятые в таком сопоставлении высоты гор на Луне превосходят высочайшие неровности земного

рельефа (0,001—0,002 радиуса Земли) и не уступают горам Меркурия (повидимому до 0,003 радиуса).

Сопоставляя местоположение наибольших высот кратеров, Т. Л. Макдональд (1929, стр. 322—329)¹ пытался найти региональную закономерность в группировках самых значительных высот на поверхности Луны. Как известно, кратерные валы редко бывают одинаковыми на всем протяжении гребня каждого кольца, причем довольно часто встречаются такие цирки, где одна часть гребня выше прочих. Сопоставляя относительное расположение рекордных по высоте пунктов, Макдональд пришел к заключению, что на Луне существуют горные области с закономерным преобладанием расположения наибольших высот кратеров то на западной, то на северо-восточной или на юго-восточной стороне гребней валов. Среди области Моря Ясности и Моря Спокойствия, за исключением Залива Мертвых, в кратерных кольцах, будто бы, преобладает расположение самых высоких пунктов на западных краях кольцевых гребней. Восточнее развивается обратная тенденция в асимметрии высот кратерных колец (заметная у цирка Година, Априппы, Манилия, Архимеда, Конона, Анаксагора, Филолая и др.). Эта восточная асимметрия, по Макдональду, замечается и дальше почти до границ Залива Радуги.

Затем за Заливом Радуги снова начинают чаще встречаться кратерные кольца с более высокими западными сторонами гребней (Ламберт, Коперник, Рейнгольд и др.). В гористом южном полушарии Луны Макдональд выделяет обширную группу цирков (Абулфеда, Альманон, Гебер, Абенезра, Азофи) с западной асимметрией положения наибольших высот вала.

Региональность группировок высот Макдональд изобразил на карте, где стрелки по краям кратерных колец показывают направление положения наибольших высот гребня вала относительно центра каждого цирка.

Если бы приводимые сопоставления покоились на прочной фактической основе, отсюда следовало бы сделать далеко идущие выводы; сам Макдональд считал, что выведенная им региональность группировок высот противоречит метеоритной гипотезе и является определенным доводом в пользу эндогенного (вулканического) происхождения лунных кратеров.

Но на самом деле все это построение иллюзорно. Прежде всего, Макдональд оперирует с единственной отметкой высо-

¹ См. Macdonald T. L. Studies in Lunar Statistics. II. The Distribution of Lunar Altitudes. III. The Number and Area of Lunar Objects: IV. On the determinations of relative lunar altitudes. „Journ. Brit. Astr. Ass.“ 1929—1931.

ты для каждого данного кратера, что вовсе не характеризует свойства рельефа кольцевых гребней, а лишь иллюстрирует недостаточность числа имеющихся измерений. Бросается в глаза широтное расположение типов асимметрии высот (по Макдональду). Оно опять-таки характеризует не свойства самой природы кратеров, а лишь направление обычных измерений высот (зависящее от положения теней на линии терминатора).

В зависимости от положения на видимом диске Луны, для отдельных групп кольцевых гор всегда легче было измерять высоты (по теням склонов) с определенной стороны. Этим-то и объясняются «закономерности», подмеченные Макдональдом.

Случай с картой «региональных группировок высот лунных кратеров» лишний раз показывает опасность формально-статистических заключений, выводимых без морфогенетической критики исследуемых признаков.

Одно обстоятельство, подмеченное Т. Л. Макдональдом, повидимому, является реальным, а именно — частая приуроченность наибольших высот к местам взаимодействия или пересечения кратерных колец. Такая интерференция высот на стыках цирков, впрочем, тоже нуждается в дополнительном статистическом обосновании.

Возрастные взаимоотношения кратеров разной величины. Подсчеты частот пересечения кратеров

Давно замечено, что на Луне, там, где пересекаются два кратерных кольца, крупный кратер обыкновенно разрушен и перекрывается меньшим, а не наоборот. Долгое время думали, что перекрытие крупных кратеров меньшими представляет абсолютный закон отношений лунных кратеров по величине, в котором почти нет исключений. Но первые же попытки статистической проверки этого любопытного соотношения показали, что речь может идти только о преобладании случаев такого рода.

Дж. Юнг нашел, что среди пятидесяти двух подсчитанных в тридцати пяти случаях имело место перекрытие больших кратеров меньшими, а в семнадцати случаях — обратное наложение больших колец на меньшие.

Данные Юнга нуждаются в проверке. Подсчитаем для примера соотношение численности случаев перекрытия кратерных колец в области Моря Нектара (по фотографическому снимку, взятому из атласа Леви и Пюизё). Здесь зарегистрировано 148 случаев перекрытия кратерных колец. Из них 73 случая (48,9%) относятся к обычному типу покрытия крупных кратеров меньшими, имеется 41 случай (27,2%) пересечения почти равных по величине кратеров (аналогичных стыку цирков Теофила, Кирилла и Катарины) и лишь 34 случая (22,9%) являются примером обратных соотношений перекрытия меньших кратеров более крупными цирками.

Перекрытие крупных цирков мелкими—признак происшедшего угасания процессов кратерообразования.

При подсчете не учитываются случаи одновременного взаимодействия кратерных жерл разной величины. Речь идет именно об отношениях величин древних и более молодых генераций кольцевых гор. Что эти соотношения не иллюзорны, можно судить по гораздо большей сохранности (свежести) наложенных мелких колец.

Периодов кратерообразования, вероятно, было несколько

Постепенное наслаивание все меньших и меньших колец является признаком угасания процессов кратерообразования на Луне.

Самыми юными образованиями являются, судя по их свежести, так называемые «паразитические кратеры» и «кратеры-лунки». Паразитическими, по аналогии с земными, называют мельчайшие кратеры, усеивающие склоны или реже днища крупных цирков; по В. Г. Фесенкову, они втрое более многочисленны. Крохотные «кратеры-лунки» почти не имеют валов и, как правило, рассеяны по одиночке, в виде круглых чашевидных рытвин, не имеющих связи со структурой местности (с ними мы познакомимся несколько позже).

Закон перекрытия крупных кратеров меньшими как признак угасания цикла кратерообразования действителен только для последних генераций кольцевых форм одного и того же цикла. Из этого правила должны найтись важные исключения, поскольку новейший период образования кратеров, следовавший за возникновением Великого пояса морей, в истории Луны, вероятно, не был единственным. Примеры древнейших формаций мелких кратеров, погребенных на дне Моря Облаков и Моря Кризисов, которые уже рассматривались выше, дают право думать, что и прежде на исходе более древних циклов кратерообразования крупные цирки постепенно застраивались все более мелкими. Не исключено, что обратные случаи перекрытия малых цирков более крупными, по крайней мере там, где таких случаев довольно много, представляют собою начальные восходящие стадии кратеро-генного цикла.

Номенклатура частей кратера

Мало того, что статистику надо применять к природным объектам не вслепую, а с открытыми глазами, т. е. с непременным учетом возрастных отношений подсчитываемых форм, необходимо, кроме того, твердо уславливаться относительно номенклатуры и способов измерения. Иначе неизбежны ошибки и недоразумения, порою курьезные. Например, с целью достоверного определения эллиптичности кратерных колец, необходимо проектировать снимки Луны на сферу соответственного диаметра, чтобы избавиться от ракурса (ближе к краям лунного диска). Или же следует огра-

ничиваться измерениями диаметров кратеров только по направлениям, перпендикулярным к радиус-векторам от центра диска. Несоблюдение этой предосторожности, как мы уже упоминали, привело некоторых исследователей, в частности Эдмунда Нейсона, к совершенно иллюзорным заключениям о распределении и частоте «эллиптических» колец (в действительности только кажущихся таковыми благодаря ракурсу).

При подсчете численности мельчайших кратеров необходимо иметь в виду, что в краевых зонах (ближе к лимбу) видимого диска Луны валы обширных высоких кратеров или косые тени их могут заслонять множество воронок маленьких кольцевых гор. Стало быть, следует или ограничиться детальным изучением середины лунного диска или, в определенных фазах освещения, вообще отказываться от подсчета самых мелких колец (меньше 20 км).

Необходимо строго придерживаться общепринятой номенклатуры элементов строения кратера. Главным диаметром кратера принято называть средний поперечник d , измеряемый по краю гребня вала. Внешним диаметром D считается среднее расстояние между краями наружных подножий вала; в зависимости от расположения кратера на диске Луны внешний диаметр не всегда доступен определению. Средний диаметр Δ , измеряемый по середине кольцевой полосы вала, представляет собою среднее между d и D ; он не тождествен с главным диаметром, поскольку крутизна наружных и внутренних склонов вала далеко не одинакова. Внутренним диаметром или диаметром днища df называют поперечник от подножий внутренних склонов вала. Внутренние, обычно гораздо более крутые, склоны вала имеют угол α ; наклон внешних склонов вала обозначается углом β . Самым простым способом измерения крутизны внешних склонов вала является фиксация времени, когда положение Солнца над лунной поверхностью как раз таково, что тень исчезает; ясно, что в этот момент угол склона совпадает с высотой Солнца над лунным горизонтом.

Этот способ не следует применять к особенно обрывистым внутренним склонам, где гораздо надежнее старый прием определения профиля по ширине и относительной высоте гребня (высота измеряется по длине тени). При расчете углов склона нужно сообразоваться с пластикой рельефа, т. е. вычерчивать действительную линию неровностей почвы, а не мерить по воздушной прямой от гребня до края подножий склона.

Недостаточность определений способа замеров, по всей вероятности, является причиной существенных разногласий в оценках крутизны лунных склонов. Внутрикратерная депрессия или днище цирка обычно располагается ниже окружающей кратер равнины. Общей или внутренней высотой

вала h принято называть разницу уровней гребня и днища кратера. Это, казалось бы, простое измерение чрезвычайно затруднено в случаях, когда днище цирка не представляет собою идеально плоскую «арену», а является сложно террасированным или же образует неровную скалистую чашу.

Легче определима наружная или относительная высота вала H , измеряемая по разнице уровня гребня кратера над окружающей равниной. Ширина вала b определяется полосой между внешним подножием и тем уровнем на внутреннем склоне, который отвечает высоте окружающей равнины.

Измерение ширины вала в кратерах с переполненным днищем (типа Варгентина), залегающим выше окружающей равнины, не следует объединять с обычными данными. Глубина днища (относительно окружающей внешней равнины), или депрессия, обозначается индексом δ . Для кратеров типа Варгентина действительно обратное соотношение, т. е. $-\delta$. Внутренняя высота вала, или h , в нормальном случае, очевидно, равна $H + \delta$. Поскольку днище цирка не всегда бывает идеально плоской ареной, приходится вводить промежуточное измерение средней глубины депрессии q , равное внутреннему диаметру, измеряемому на половине высоты δ . Кривизна (выпуклость или вогнутость) днища v/f определяется отношением разности уровней кромки и наибольшего углубления днища к диаметру кратера. Скалистое возвышение, встречающееся по середине днища у некоторых кратеров, или центральная горка St , имеет высоту над днищем hSm . Соответственно с местоположением, кратеры, находящиеся среди морей, отмечаются индексом kM , среди гористой суши kC , в береговых промежуточных областях kMC . По возрасту можно выделять, с одной стороны, кратеры, возникшие до образования окружающей равнины aM , или гористой суши aC , и, с другой стороны, кратеры, образовавшиеся позже формирования морей pM и суши pC .

Соотношение объемов вала и впадины у разных типов кратеров. Правило Шретера; отвечает ли оно действительности

С генетической точки зрения особенно важны соотношения объемов вала и впадины кольцевых гор. Совершенное тождество объемов могло бы служить доводом в пользу насыпного происхождения вала, только за счет выброса масс, прежде заполнявших пространство внутрикратерной депрессии. Подобие объемов вала и впадины должно быть изменчивым и в большинстве случаев весьма приблизительным, если кратеры не являются снизу совершенно замкнутыми поверхностными воронками, а заканчиваются на глубине горловинами, служившими питательными шлангами для извержений в течение ряда времен. Избыточные размеры вала по сравнению с объемом впадины могут указывать на необыкновенно обильное поступление масс из глубины кратера,

надстраивавшее вал (сверх того исходного количества выбросов, какое получилось при возникновении воронки). Недостаточный объем впадины сравнительно с валом мог получиться также в результате последующего, шедшего из глубины подтопления внутрикратерной воронки. Значительный дефицит объема вала по сравнению с размерами впадины кратера является признаком происхождения цирка существенно только благодаря круговому обрушению (без извержения большого количества масс наружу); образование вала в таких кольцевых равнинах также должно быть следствием главным образом деформации, а не извержения (по типу береговых кордильер круговых морей).

Известная взаимосвязь объемов частей кратерного сооружения должна существовать во всех случаях, где образование кольцевого вала было следствием извержения масс из впадины цирка. Но, как сказано, если извержение обуславливалось эндогенными причинами, такая зависимость объемов должна быть довольно разнообразной. И, наоборот, если извержение вызывалось экзогенными поверхностными взрывами, должно иметь место примерное тождество объемов экспозиционной воронки и насыпи.

Изверженная природа вала у большинства кратеров была давным давно замечена. Это обстоятельство дало повод Шретеру высказать предположение, что у кольцевых гор должно иметь место равенство объемов внешней части вала и депрессии дна. Это так называемое правило Шретера усердно цитировалось, но никем не было проверено (посредством визуальных измерений или же обмеров на моделях различных типов кратеров).

На самом же деле среди кольцевых гор Луны встречаются самые различные образования как с приблизительно одинаковыми объемами вала и депрессии, так и со значительным относительным избытком объема то впадины, то вала.

Самые крупные кольцевые горы, диаметром свыше 200 км, по величине и облику приближающиеся к круговым морям, обыкновенно отличаются незначительностью объема вала сравнительно с величиной внутрикратерной впадины. Эта их особенность вполне гармонирует с остальными чертами строения: с приподнятой кромкой вала, нередко устроенного по типу береговых кордильер, и с круговыми разломами, обрамляющими обрушенное пространство внутрикратерной депрессии.

Весь облик грандиозных цирков, по величине близких к морям, указывает на процесс кольцевого обрушения коры над очагом расплавления как на основную причину формообразования в истории самых крупных кольцевых гор.

Противоположным типом конструкции являются цирки с резким относительным избытком объема вала. Они являются

результатом необыкновенно обильного извержения масс. Среди таких форм с избытком объема вала следует отличить две существенно различные группы образований: цирки типа Варгентина (с переполненным высоким днищем) и высокие узкожерлые кратеры типа Кеплера.

Цирки с дефицитом пространства впадины; т. е. с приподнятым днищем

В цирках типа Варгентина наблюдается, собственно говоря, не избыток объема самого вала, а дефицит пространства внутрикратерной выемки. Дефицит этот, как увидим ниже, получался благодаря последующему обильному переполнению жерла кратера излияниями, застывшими на аномально-

но-высоких уровнях.

Варгентин, классический пример цирков подобного типа, является сильно разрушенным и видимо очень древним возвышенно-плюсковым кольцевым диском, расположенным на побережье Океана Бурь, между Ингирами, Фоколидом и Шиккардом (близ юго-восточного края видимой части Луны, координаты $\lambda=60^\circ$, $\beta=49^\circ$). В подходящих условиях освещения Варгентин похож на блин или на плоскую сковородку, до краев заполненную застывшими излияниями. Варгентин долгое время считался единственным кратером с аномально-высоким днищем.

Однако исследования Архенхольда, Анделя, Болла и других авторов обнаружили еще десятка полтора подобных образований. Приведем примеры некоторых примечательных форм цирков типа Варгентина из недавно опубликованной заметки Ф. О. Смита¹. Особенно любопытны: так называемая формация *i* — ступенчато-расположенные возвышенно-плоские платформы, заполняющие на разных уровнях внутренность двух цирков у конца горной гряды к югу от Петавия; формация *E* — плоскодонный кратер (с повышенным днищем), лежащий на западе-северо-западе рядом с Тихо; формация *D* — полукруглая, с одной стороны круто обрывающаяся высокая платформа, диаметром до 35 км, заполняющая внутренность двух древних цирков к западу от Фая; формация *B* — возвышенно-округлое плато внутри кратера (до 32 км в поперечнике) к северу от Целльнера и др. Края высоких плато типа Варгентина всегда огорожены снаружи чуть заметными возвышенностями гребня подтопленного вала, как это и должно быть у краев запруженных плотин.

Заполнение излияниями здесь чаще всего как бы останавливалось у края вала, не переливаясь в окружающую рав-

¹ См. Smith C. F. O. Lunar formations of the „Wargentini“ type (Second paper). „Journ. Brit. Astron. Ass.“, 1934, v. 45, pp. 241–242, 1 Taf. + 4 figs; Goodacre W. Wargentini-type craters, „Journ. Brit. Astr. Ass.“, 1934, v. 45, pp. 242–243.

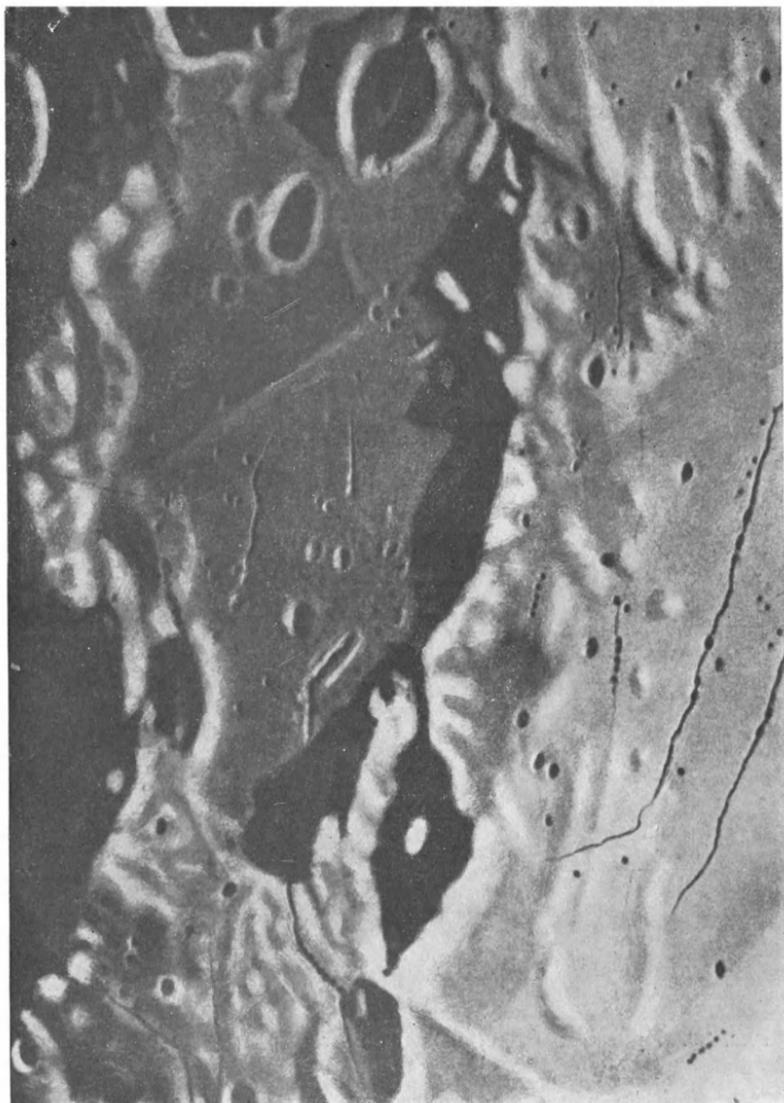


Рис. 19. Цирк Венделин и его окрестности.

Обратить внимание на связь мельчайших кратеров с трещинами
(по рисунку Вейнека).

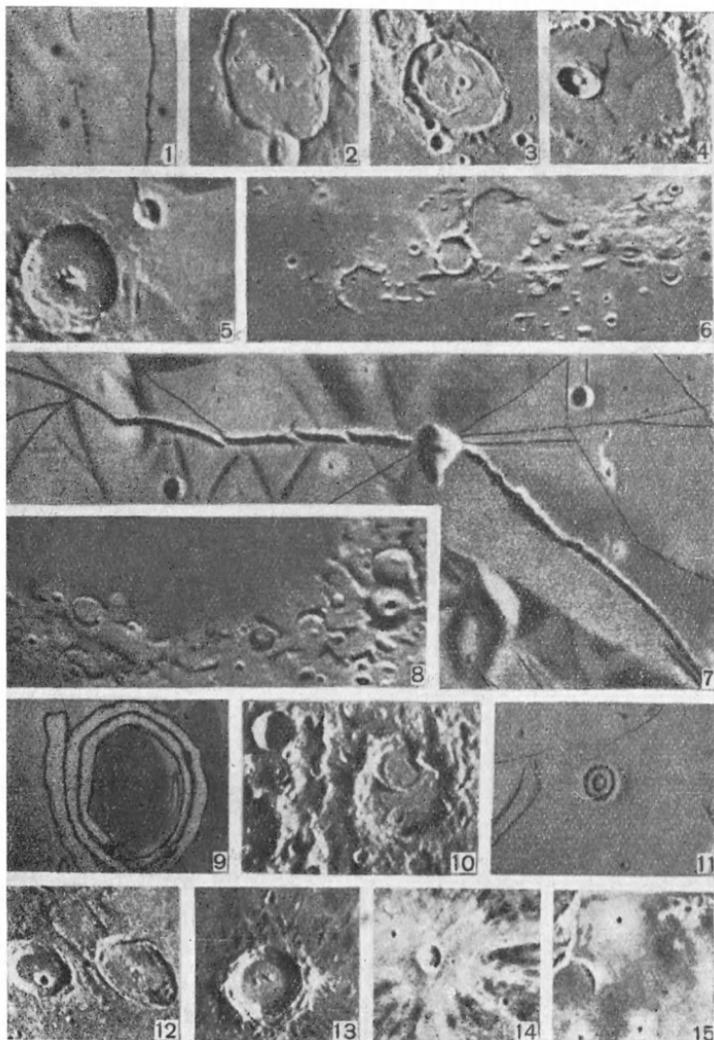


Рис. 20. Примеры различных форм лунных кратеров и их связи с разломами.

1. Расположение мельчайших кратеров по трещинам (близ Венделина). 2. Кратер Гассенди. 3. Кратер Посидоний с несколькими затопленными валами. 4. Кратер Бург (на пересечении разломов). 5. Небольшой кратер Медлер—на пересечении разломов. 6. Региональная линия разлома с сидящими на ней полузатопленными кольцами Стадия и др. 7. Трещина Гигинуса, усаженная цепочкой кратеров. 8. Продолжение линии разлома, идущего от Моря дождей (см. рис. 6). Обратите внимание на сдвиг кольца кратера Капелла. 9. Пример кратера с тройным валом (по рисунку Вейнека). 10. Цирк Катарины с многочисленными вложенными жерлами. 11. Кратер Марс с тройным валом. 12. Цирки со сложными ступенчатыми валами (Геркулес и Атлас в СЗ части Луны). 13. Коперник (с биполярно-гребнистым валом). 14. Кеплер с венцом лучей светлых выбросов. 15. Мельчайшие кратеры со светлыми венцами — пятнами выбросов.

нину. Подобное строение говорит за очень спокойный, медленный характер извержений, поднимавшихся из жерл кратеров типа Варгентина. Излишки лав в жерлах такого типа успевали застыть и, не прорываясь наружу, лишь надстраивали гребень вала.

Узкожерлые кратеры с избытком объема вала (типа Кеплера) В кратерах типа Варгентина наблюдается собственно не избыток насыпи вала, а дефицит объема впадины, возникший благодаря подпруживанию воронки лавовыми излияниями, поднявшимися из глубин кратера.

Иначе обстоит дело у кратеров типа Кеплера, где бросается в глаза действительная узость жерла по сравнению с высотой вала. Узкожерлые кратеры типа Кеплера возвышаются над молодыми лавовыми излияниями в Океане Бурь и, следовательно, относятся к числу новейших формаций поверхности Луны.

Из всех лунных кольцевых гор кратеры типа Кеплера более всего похожи (как по пропорциям, так и по абсолютным размерам) на кальдеры земных вулканов.

Чрезвычайно своеобразной чертой Кеплера и большинства подобных ему узкожерлых кратеров являются венцы светлых лучей, радиально расходящиеся от подножий цирков. Эти светлые ореолы, как увидим ниже, представляют собою пепловые выбросы, характеризующие эксплозивный тип деятельности кратеров. В качестве примера узкожерлых кратеров типа Кеплера могут быть названы Аргеландер С, Беер (Росс), Бессель, Бианчини, Кавендиш, Конон, Делиль, Эйлер, Флэмстид, Гершель, Лахир, Ольберс, Прокл, Фалес и Волластон. Все они отличаются сравнительной высотой вала (в среднем 0,9—1,2 км, от 0,2—0,4 до 1,9 км) и небольшим диаметром впадин (чаще всего до 20—40 км). Отношение высоты вала к диаметру в кратерах типа Кеплера обычно равно 1:28 (реже от 1:20 до 1:45).

Самые крупные вулканические кальдеры на Земле имеют поперечники такие же или несколько меньше (Тенериф 20 км, Браччано 15 км, Мауна-лоа 13 км, Альбано 10 км, Ксудач 7 км, Кракатоа 7,5 км, Килауэа 5,6 км, Авача 4 км), но высота валов у них относительно еще более значительна (Тенериф до 2,7 км, Мауна-лоа не менее 4,1 км, Авача 2,3 км).

Столь же молодым, но совсем особым типом конструкции кольцевых гор на Луне являются повсеместно встречающиеся так называемые «кратеры-лунки». Это—мельчайшие чашевидные воронки диаметром всего в 2—6 км, с необыкновенно свежими очертаниями, отличающиеся крайней неравностью вала. Кратеры-лунки морфологически сходны с описанными на Земле метеоритными кратерами. На поверхности Луны кратеры-лунки встречаются как на морях, так и в древних

горных областях. Они разбросаны без всякой зависимости от разломов и других элементов внутренней структуры планеты.

Эволюция процессов кратерообразования с возрастом Сопоставляя главные формации кольцевых гор Луны, различные по возрасту и по типам конструкции, нетрудно заметить определенную общую последовательность эволюции величин и вида цирков с возрастом. Древнейшими являются формации самых крупных кольцевых равнин с валами типа береговых кордильер; как мы видим, в образовании таких древнейших цирков первостепенную роль играли процессы проплавления коры с воздыманием кромки вала и грандиозным обрушением внутри кольцевой впадины. В генетическом отношении такие древнейшие кольцевые равнины соответственно можно называть **деструктивно-эффузивными** (т. е. обрушенно-проплавленными) образованиями.

В цирках самого распространенного вида, подобных Копернику, мы видим преобладание процессов наплавления кольца вала (в местах скрещения разломов). Стало быть, большинство лунных кольцевых гор является **аллитивными** (наплавленными), или **деструктивно-аллитивными** (обрушенно-наплавленными) сооружениями.

К числу самых молодых относятся узкожерлые вулканоподобные кратеры типа Кеплера, где относительный объем вала особенно велик и сопровождается венцом светлых лучей, т. е. создан в результате взрывов не только с наплавлением лав, но и насыпанием пеплов. Следовательно, кратеры типа Коперника составляют третью генетическую категорию **эффузивно-аккумулятивных** (наплавленно-насыпных) кольцевых построек.

Особняком стоят кратеры-лунки, которые, по всей вероятности, являются в полном и буквальном смысле слова **экскавационными** (вырытыми) формами.

Основная проблема генезиса кратеров. Был ли процесс кратерообразования в каждом случае мгновенным, однократным или же длительным и возобновлявшимся? Вопрос об экзогенном или эндогенном происхождении кольцевых гор Луны дебатировался в литературе уже столько раз, что может показаться «вечной» проблемой селенографии.

С самого возникновения науки о физической природе Луны сотни сочинений специально посвящались рассмотрению этого вопроса или главным образом вращались в нем при попытках истолкования всей истории развития Луны. Ограничение задач морфогенетического анализа одной частной проблемой генезиса кольцевых гор печально сказывалось на кругозоре и на результатах селенографических исследований. Глубокие тени валов и пиков загадочных кольцевых гор, можно сказать, скрывали от глаз наблюдателей смысл остальных менее эффектных деталей

строения Луны. В селенографической литературе часто недооценивалось значение анализа строения разломов лунной поверхности в их взаимосвязи с расположением кратеров.

Конечно, нельзя не признать, что проблема генезиса кольцевых гор в селенографии играет исключительную роль, ибо именно кратеры являются самыми оригинальными массовыми образованиями лунной поверхности.

Ученый мир знатоков Луны, как известно, разделялся в этом вопросе на две непримиримо и непрерывно сражавшиеся армии. Селенографы-вулканисты и селенографы-баллисты свыше столетия выступали друг против друга с почти совершенно одинаковым оружием элементарного сравнения и эксперимента.

Приверженцы метеоритной гипотезы, считающие лунные цирки следами падения космических тел, подчеркивают черты сходства кратеров с метеоритными и бомбовыми взрывными воронками. Наряду с этим выставляются морфологические отличия цирков Луны от большинства земных вулканов. Альсдорф, Вегенер и другие авторы экспериментально воспроизвели кольцевые горки, удивительно похожие на лунные, путем бросания цементного порошка, рассыпающихся комьев и пр.

Сторонники эндогенного происхождения лунных кольцевых гор, рассматривающие кратеры, как очаги извержений расплавленных недр Луны, считают нетождество земных и лунных вулканогенных жерл естественным следствием различия физических условий обеих планет. Селенологи-вулканисты обнаруживают много искусственного в предположениях баллистов касательно размеров, состава, возраста и путей гипотетических метеоритных роев. Бержерон, Дамер и другие авторы экспериментально получили модели кольцевых гор, вполне подобные лунным, при помощи подплавления металлического порошка (поддувом изнутри в просверленные жерла).

Изобретательность обеих сторон в полемике о генезисе лунных кратеров поистине безгранична. Любой довод в пользу одной из гипотез быстро перетолковывался сторонниками обратных взглядов. В новейшей литературе в особенности К. де Бер пытался интерпретировать в духе метеоритной гипотезы даже линейное расположение рядов кратеров.

Селенографы-вулканисты нашли прочный фундамент для заключений после того, как была установлена пеплово-лавовая вулканогенная природа горных массивов Луны и генетическая взаимосвязь всех элементов строения лунной поверхности.

Селенографы-баллисты укрепились в своих воззрениях особенно после обнаружения крупных метеоритных кратеров на Земле (в Аризоне, в Аравии, Эстонии, в Сихотэ-Алине и др.).

Теперь уже нельзя отрицать, что оба способа образования кратеров реально возможны, тем более, что различно направленный эксперимент, как видно, приводит к одинаково-сходным моделям.

Дальнейшее продолжение дискуссии вулканистов и баллистов по старому руслу представляется бесплодным.

Но, мне думается, проблема может быть сформулирована иначе, таким образом, что решение ее окажется более доступным и определенным. Надо заняться анализом морфологических признаков длительности процесса создания каждого отдельного кратера, поскольку явления баллистического взрыва и вулканических извержений по длительности совершенно различны.

Если кратеры являются слепыми поверхностными воронками взрыва, возникавшими в результате детонации падавших на Луну космических тел, процесс кратерообразования в каждом отдельном случае представлял собою мгновенную катастрофу, шансы повторения которой в точности на том же самом месте ничтожны.

Если же кратеры суть горловины извержений из магматических недр планеты, созидание каждого отдельного цирка могло быть довольно длительным, то затухавшим, то снова вспыхивавшим процессом.

Мы знаем, что глубокая древность явлений в условиях Луны накладывает печать постепенного разрушения на облик кратеров. Стало быть, можно надеяться отличить более молодые наслоения от древних в одной и той же кратерной постройке. Кроме того, повторные вспышки активности одного и того же канала извержения могли иметь различную силу, и, следовательно, их следы должны обнаружиться в виде концентрического наложения последовательных стадий формирования кратера.

Признаки длительности процессов, создававших горный рельеф Луны, долго ускользали от внимания наблюдателей. Взгляды селенографов-баллистов в этом отношении очень напоминают позиции школы геологов-катастрофистов до Ляйелевских времен.

Сущность представлений катастрофической школы в селенографии очень ясно была выражена Фаем в 1887 г. В отличие от Земли, Луна, говорил Фай, получилась как бы «с одного удара»¹, и хотя ненаучность подобного взгляда очевидна, даже селенографы-вулканисты считали лунные кратеры образцом моногенных, т. е. однократно действовавших вулканов.

Катастрофические представления в селенографии впервые были поколеблены только в 1904 г., когда Леви и Пюизэ при-

¹ См. Fa y e. Comparaison de la Lune et de la Terre au point de vue géologique. Annuaire (pour l'an 1881) publié par le Bureau des longitudes, Paris, 1881, pp. 667—734.

вели ряд фактов, указывающих на длительность и на неоднократное возобновление процессов формирования некоторых цирков.

Но эти высказывания Леви и Пюизё не были замечены многими новейшими авторами, вероятно, потому, что они заключены среди массы чисто описательного материала в фундаментальном томе текста к парижскому фотографическому атласу Луны.

Примерами длительности единичных явлений кратерообразования являются: кратеры с несколькими концентрическими валами, кольцевые горы существенно неодинаковой сохранности, наложенные друг на друга, жерла с террасированными участками днища, а также ступенчатые склоны валов, свидетельствующие о многократных излияниях лав, и, наконец, цирки с несколькими генерациями пепловых выбросов из одного центра.

Самым замечательным из цирков с концентрически сложным валом на Луне является крохотный кратер Март (до 6 км в диаметре), расположенный среди полузатопленной гористой области побережья Моря Облаков близ Рамсдэна (см. рис. 21).

Как видно, кратер Март отличается очень правильными круговыми очертаниями, жерло его сидит как раз в центре центральной горки и окружено двумя узкими концентрически правильными валами (до 0,3 км высотой). Гребень второго внешнего вала кратера в одном месте слегка изогнут наружу.

Трудно представить, чтобы такое сложное и правильное кольцо могло образоваться благодаря однократному мгновенному взрыву. Нельзя объяснить его происхождение распространением расходящихся волн при ударе в жидкую или податливую поверхность. Здесь не видно постепенного затухания валов от центра взрыва. Напротив того, внешний вал является самым высоким, резко обособленным от окружающей совершенно плоской равнины. Второе кольцо кратера меньше и мельче внешнего, а внутренняя кромка вокруг жерловины кратера совсем незначительна. Внешнее кольцо, надо полагать, возникло первым, а внутренние образовывались позже по мере угасания деятельности кратера. Надо оговориться, что описание Марта приводится, только по данным Вейнека; мне этот объект не приходилось наблюдать.

В атласе зарисовок, сделанных Вейнеком-Кригером, имеется еще несколько любопытных объектов аналогичного вида. На рис. 20 фиг. 9 мы воспроизводим второй подобный случай кратера с двойным валом, заметно полигонального очертания. Концентрические валы здесь очень тесно слиты, в промежуточном рву между ними сидят позже образовавшиеся паразитические кратерки.

Признаки многократных извержений внутри цирка Катарина

Древний кратер Катарина (близ юго-восточного берега Моря Нектара) является объектом, хорошо известным наблюдателям, где признаки многократности извержений внутри одного и того же кольца отчетливо заметны. Низкий неровно-бугристый вал цирка Катарина, диаметром около 85 км, имеет двойной террасовидный перегиб и внизу постепенно сливается с плоским дном. На северо-восточной и на юго-восточной окраине арены внутри цирка

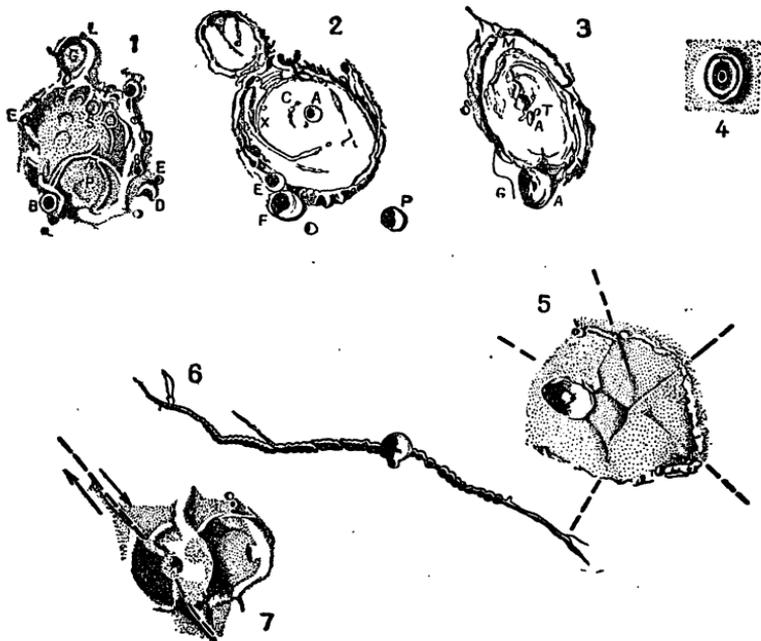


Рис. 21.

1. Сложно и длительно развивавшийся кратер Катарина (с 14 полузатопленными жерлами).
2. Посидоний с несколькими concentрическими полузатопленными валами.
3. Гассенди со следами многократного действия одного жерла.
4. Кратер Март с тройным валом.
5. Кратер Бург (в звезде разломов).
6. Цепочка кратеров на трещине Гигинуса.
7. Разорванный сдвигом кратер Капелла.

находятся два более глубоких террасированных очага. Северный очаг, обозначаемый на картах буквой *P*, имеет поперечник почти в половину диаметра всего цирка. В нем отчетливо видны две террасовидные ступени, указывающие на прогрессирующее сужение и углубление активного жерла. Небольшой южный очаг *S* глубже северного и тоже заметно террасирован. Северо-западный край внутреннего склона цирка Катарина рассечен касательной линией разлома довольно свежего вида. С этой линией, очевидно, связано глубокое свежее жерло паразитического кратера *B*, грушевидно вытянутое по разлому (см. рис. 20 и 21).

Морфологически ясно, что история формирования древнего цирка Катарина была длительной и сложной. Очаг извержений в древности захватывал целиком все обширное днище цирка до уровня террасовидного уступа внутренних склонов вала. Затем очаг понизился до подножья вала и застывал на этом уровне, образовав плоскую арену днища. Позже произошло новое частичное проплавление и дальнейшее понижение уровня, благодаря чему возникли более ограниченные очаги паразитных внутренних цирков *P* и *S*. Значительно позже изверженная деятельность пробудилась в связи с образованием касательного разлома в северо-западной части цирка, где пробили себе путь самые поздние жерла *B*, *E* и β .

Террасовые уступы склонов Геркулеса, концентрические кольца внутри Атласа Следы постепенного понижения уровня магматического бассейна в виде террасовых уступов на внутренних склонах кратеров замечаются в рельефе очень многих кольцевых гор Луны. В качестве примера можно привести всем известную двойную пару древних цирков Геркулеса и Атлас в юго-западной части лунного диска (см. рис. 20 фиг. 10). Террасовидный уступ склона, соответствующий двум фазам понижения уровня до окончательного застывания очага, особенно отчетливо заметен у Геркулеса. Экцентрично внутри арены Геркулеса находится гораздо более молодое глубокое чашевидное жерло, настолько свежее и похожее на ряд соседних беспорядочно разбросанных мелких кратеров-лунок, что его генетическая связь с главным цирком неясна.

Несколько иную картину многократности извержений мы видим внутри соседнего кратера Атлас. Внешний вал Атласа был подтоплен снаружи, причем лавы проникли и внутрь, благодаря чему уровень его днища сделался почти одинаковым с поверхностью, окружающей цирк равнины. Внутри цирка заметны прерывистые гребни полузатопленных валов, соответствующие по меньшей мере трем последовательным стадиям развития кратерного очага. Несколько свежих кратеров-лунок перекрывает разрушенные сложнокольцевые контуры Атласа, и они, по видимому, совершенно не связаны с его структурой.

Последовательные фазы формирования кратера Тарунция Ярким примером сложной эволюции очага является кратер Тарунция, лежащий на рубеже Моря Кризисов и Моря Плодородия. В тех фазах Луны, когда Тарунция находится близ линии терминатора, по середине арены цирка хорошо заметен узкий гребень второго внутреннего вала. За вторым валом находится средняя самая низкая часть днища, с небольшой центральной кольцевой горкой. По всей вероятности здесь имели место три стадии формирования кратера. Прежде всего возникло наружное кольцо. Затем деятельность

очага возобновилась в половинном размере на площади второго внутреннего вала. Позже произошло понижение уровня магматического действия, и лишь в заключение возникла центральная кратерная горка.

Можно привести еще десятки хорошо известных примеров сложных перипетий развития кратеров (с признаками последовательного сокращения и консолидации очага). Сюда относятся: Гассенди, Вителло, трудно наблюдаемый цирк Бусиньо (с двумя вложенными друг в друга чашами днища) и многие другие.

Пр. менимо ли предположение о длительности процессов формирования кратера к большинству цирков

Можно ли на основании таких примеров сделать обобщающий вывод относительно всего остального множества лунных кольцевых гор, где у большинства объектов достоверные признаки многофазного и длительного развития еще не найдены?

Утвердительный ответ на этот вопрос, по крайней мере для кратеров, где заметна взаимосвязь очагов со структурой окружающей местности, мне кажется, вполне обоснован. Ведь к описанным сложнотеррасированным и многокольцевым кратерам следует прибавить гораздо более обычные примеры кольцевых гор с предшествующими или постумными склонами вала, примеры кратеров с мелко террасированными склонами вала и с несколькими генерациями лавовых излияний, с наложенными друг на друга венцами лучистых выбросов, а также кратеров с днищами, впоследствии затопленными, где следы предшествовавшего развития уже в значительной мере не сохранились, и пр. С другой же стороны, необходимо отдать себе отчет в том, насколько неполны были бы наши представления о длительности развития, например земных вулканических кратеров, если бы мы могли судить о ней только по визуальным наблюдениям, которые нам пришлось бы вести с высоты не меньше 130—120 км (соответственно масштабу поверхности Луны при самых больших телескопических увеличениях).

Правило Леви и Пуизё (соотношения размеров, возраста и глубин днищ кратеров)

Заключительные стадии развития кратера, как правило, не ограничиваются одним только прогрессирующим сокращением размеров его очага. Очень часто по мере сужения жерла происходило последовательное понижение уровня поверхности действия. Каждая следующая стадия активности

жерла располагалась гипсометрически ниже предыдущей. Благодаря такому прогрессирующему снижению уровня очага образовывалась террасовидная ступенчатость склона вала и днища у многих цирков.

Замечательно, что такое понижение уровня магматической активности наблюдается во множестве кратеров и почти по-

всеместно на обширных пространствах поверхности Луны. Более поздние стадии извержений находятся на более низких уровнях не только в одном данном кратере, но и в обширных группах кольцевых гор. Днище кратера более молодого по возрасту обычно расположено глубже уровня арены соседнего более древнего цирка.

Поскольку более юные кратеры также и самые маленькие по размерам, меньшие жерла, как правило, глубже более крупных.

Таков закон соотношений возраста, размеров и уровней лунных кратеров, впервые сформулированный Леви и Пуизэ: «Когда два цирка располагаются один над другим, меньший из них сохраняет цельность вала, а исследование теней показывает, что меньший кратер является и наиболее вдавленным».

Описываемые соотношения возраста и уровней кратеров ясно указывают на внутрипланетное происхождение кратерообразных процессов. Прогрессивное снижение уровня излияний на огромных пространствах в течение долгих времен образования ряда генераций кратеров, разумеется, невозможно объяснить экзогенным образованием кратерных воронок (поскольку, согласно метеоритной гипотезе, приходится признавать расплавленный очаг следствием, а не причиной возникновения воронок).

Леви и Пуизэ справедливо полагали, что установление ими закона соотношений пипсометрии днищ кратеров «меньше — моложе — ниже» имеет исключительное значение для выяснения хронологии и генезиса лунных формаций.

По словам Леви и Пуизэ, на основании указанных соотношений, мы можем прийти к заключению о прогрессировавшем уменьшении объема Луны под влиянием остывания, о постепенном утолщении ее твердой коры и о тенденции ко все большему сокращению размеров цирков (1896, стр. 29—30)¹.

¹ Общие соображения и фактические данные по этому вопросу можно найти в работах Леви и Пуизэ: Loewy M. et Puiseux P. Atlas photographique de la Lune publié par l'Observatoire de Paris en 12 fasc., avec Index général des formations lunaires représentées ou étudiées dans cet ouvrage, Première fasc. Paris MDCCCXCVI. p. 44. Deuxième fasc. P. MDCCCXCVII. p. B. 64. Troisième fasc. P. MDCCCXCVIII p. C. 64 MDCCCXC. Quatrième fasc. P. MDCCCXCIX p. D 64. Cinquième fasc. P. MDCCC p. E 58; Loewy et Puiseux. Sur la structure et l'histoire de l'écorce lunaire, observations suggérées par le cinquième et le sixième fascicule de l'Atlas photographique de la Lune, publiée par l'Observatoire de Paris. „Comptes-rendus Acad. Sci. Paris“, 1902, v. t. CXXXV, pp. 73—78 (1—5); Loewy et Puiseux. Sur la structure et l'histoire de l'écorce lunaire. Observations suggérées par la septième fasc. de l'Atl. phot. de la Lune. „Comptes-rendus Acad. Sci. Paris“. 1901, v. 136 p. 1505—1507; Loewy et Puiseux. Etudes des photographies lunaires. Considerations sur la marche de la solidification dans l'intérieur d'une planète. „Comptes-rendus Acad. Sci. Paris“, 1905, v. 140. p. 192.

Исключения из правила „меньше—мложе—ниже“. О генезисе кратеров типа Варгентина

Морфологический закон «меньше—мложе — ниже» для лунных кратеров не является абсолютным. Существуют распространенные и важные исключения из этого правила. Они, однако, не только не опровергают, а, напротив, углубляют и обогащают морфогенетический смысл правила Леви и Пюизё.

Некоторые существенные исключения уже были нами рассмотрены.

Подобным исключением являются прежде всего цирки типа Варгентина с днищами, переполненными лавой в заключительный момент их образования. Магматический источник таких очагов, как мы видели, не только не иссякал, а, напротив, усиливался в последней фазе своей активности.

Исключением из правила являются также цирки более молодые и вместе с этим более крупные по размерам; как было сказано, можно считать их наследием восходящих, начальных, гораздо реже сохраняющихся фаз каждого периода кратерообразования.

Кратеры с выпуклым днищем типа Мерсення

Свидетельством продолжавшегося напора магмы из глубины на уже консолидированную кору закрывшегося очага перед его окончательным затвердеванием является строение цирков с выпуклым днищем. Широко известным примером такого типа является обширный мощный кратер Мерсеннь (до 85 км в диаметре) на северо-восточном берегу Моря Влажности. Пологая линзовидно-правильная выпуклость днища Мерсення особенно заметна в начале длинного лунного вечера. Когда тень от гребня западной части вала ложится на арену кратера, противоположный край арены тоже оказывается затемненным.

В это время, когда линия терминатора подходит близко к берегам Моря Влажности, днище Мерсення похоже на плоскую упругую подушку, которая была изнутри заткнута в жерло кратера. В ряде соседних цирков не замечается никаких следов выпуклости в рельефе днищ, откуда следует, что заключительная фаза расширения или подтока масс из глубин локализовалась в резервуаре одного данного кратера.

Выпуклое днище обнаружено еще у нескольких кратеров, например у Арцахеля (в Море Облаков) и у Санбеша (в Море Плодородия). Но в общем выпуклые кратеры типа Мерсення чрезвычайно редки.

Да это и понятно, так как необходимо совсем особенное стечение обстоятельств, чтобы напор, идущий из глубин, не привел к раздроблению почти застывшей корки поверхности.

Зато весьма распространены кольцевые постройки с признаками более ограниченной и слабой экспансии недр перед окончательным затвердеванием очага.

Характерные морфологические особенности кратеров с центральной горкой

Я имею в виду кратеры с центральной горкой, которые долгое время считались самым загадочным генетическим типом.

Кратеры типа *Ст* (с центральной горкой) составляют около четверти всей численности лунных цирков (по Гудэкру 24%, по Юнгу 21,1%).

В отличие от структуры цирков обычного типа, внутри кратеров типа *Ст* как раз в центре арены возвышается величественный гордый пик (сравни кратеры Морет, Плиний, Гершель, Исидор, Вротслей и др.) или целая группа скалистых возвышенностей, разделенных глубокими резко-очерченными расщелинами (Коперник, Аристилл, Манилий, Кирилл, Теофил и др.). Реже по середине днища встречаются прямолинейные довольно длинные хребты, как бы намечающие ось биполярной симметрии цирков (Арцахель, Альфонс, Деламбр и др.)

Склоны центральных горок порою очень круты (35—30°), судя по тени, которую они отбрасывают даже незадолго до полнолуния. Относительная высота центральных горок обычно уступает высоте гребня вала. Встречаются и аномалии вроде цирка Морета, где центральная горка, высочайшая на Луне, превосходит высоту вала. Как сказано, в большинстве случаев центральная горка, осевой хребет или группа возвышенностей находится как раз в центре окружности днища, отклонения в стороны обычно невелики.

Судя по такому правильному местоположению, центральная горка — не случайное побочное образование, а настоящая ось структуры жерла кратера.

В большинстве случаев весь облик днища кратеров типа *Ст* несколько отличен от устройства арены цирков без центральной горки.

Скалистый центральный пик чаще всего венчает более скульптурированное скалистое вогнутое или слегка выпуклое днище. Среди совершенно плоских равнинных арен центральные горки встречаются гораздо реже.

Если считать равнинность днищ результатом главным образом затопления жидкими покровами лав (а не продуктом выравнивания поверхности благодаря разрыхлению), можно прийти к выводу, что цирки с центральной горкой представляют собою продукт кратерообразования в гораздо более вязкой среде. Чаши этих цирков, фигурально говоря, чаще оставались сухими.

Предполагаемые физические отличия вещества поверхности согласуются с особенностями морфологии днищ цирков с центральной горкой. Эти чаши обычно значительно светлее плоских днищ (без центральной горки). Последние темноцветны, т. е. сложены более основными, менее вязкими лавами. Такое различие по светлоте лучше заметно среди молодых свежих формаций. Оно естественно теряется в разрушенных

древних постройках (как уже указывалось, по мере разрушения с возрастом обычно замечается посветление поверхности лунных формаций).

Статистический анализ распределения лунных кратеров с центральной горкой, произведенный в 1940 г. Джемсом Юнгом, обнаружил исключительно важные факты, разъясняющие генетическую сущность этих интересных образований.

Из 172 подсчитанных кратеров с центральной горкой (до 50 км в диаметре днища) 108 кратеров, т. е. около 63%, по Дж. Юнгу, приходится на южное полушарие, т. е. сосредоточены вместе с большинством всех вообще кратеров. Подсчет частоты встречаемости кратеров типа *Ст* по возрасту показывает, что они относятся, главным образом, к сравнительно молодым формациям.

Среди древних континентальных формаций насчитывается в среднем не больше одной шестой части — 18,8% (148 из 788) кратеров с центральной горкой. Среди же цирков, образовавшихся после возникновения Великого пояса морей, кратеры типа *Ст* составляют почти половину (повидимому, не менее 45%).

Кратеры типа *Ст* резко преобладают среди крупных кольцевых гор (сверх 32 км в поперечнике) в областях морей — до 77%. Каждый из семи самых крупных кратеров Луны, лежащих на равнинах морей, увенчан центральным пиком (Коперник и др.).

Распределение частот кратеров типа *Ст* по размерам явно неравномерно. Центральные горки в общем крайне редко встречаются у самых маленьких цирков. Нельзя объяснить случайностью резкое сосредоточение частот кратеров *С* в интервалах от 32—30 км диаметром. Слабее выражены максимумы частот *С_{III}* среди более крупных кратеров (56 и 86 км).

Как видим, центральные горки встречаются по преимуществу у молодых по возрасту кратеров средней величины, особенно среди лунных морей. Взаимосвязь центральных горок с размерами, местоположением и возрастом кратеров, очевидно, обуславливается физическими особенностями самой среды кратерообразования, т. е. скорее всего вязкостью магмы (об этом подробнее скажем ниже, особенно в описании горки Вителло). Можно полагать, что напор застывавшей вязкой лавы, последней перед окончательным затвердеванием очага кратера, скорее всего приводил к образованию центрального поднятия, а не к затоплению всего днища цирка. Вязкая лавовая пробка, поднимавшаяся из глубин жерла, разламывала фрагменты поверхностной коры застывающего очага. Порою одни только вздыбленные подпором обломки коры оставались торчать посреди сравнительно жидкого схлынувшего поднятия

лав. В тех цирках, где в днище была глубокая трещина, питавшая извержение, лавовое поднятие проступало по ней не в виде конусовидной центральной горки, а в форме продолговатого осевого хребта. Только в том случае, когда кора, затянувшая поверхность очага, оказывалась слишком прочной и цельной, а подпор лав устойчивым, но недостаточным, могло получиться и окончательно затвердеть выпуклое изгибание всей поверхности днища.

Исключительная редкость центральных горок у очень маленьких цирков понятна, так как в слишком узких жерлах быстро происходило окончательное затвердевание, и заключительный подпор вязкой лавы там вряд ли мог иметь место. С другой стороны, в очагах слишком крупных, с большим запасом тепла, позднейший напор лав чаще приводил к обширному обрушению или же к общему изгибанию поверхности днища.

Нужна не только вязкость лавы, но и умеренная толщина коры в очагах или, вернее, обширность питающего их общего резервуара, чтобы подпор магмы мог оказаться результативным. Подходящая степень вязкости является не только функцией состава, но и стадией термического состояния лав. В этой связи понятна особенная приуроченность цирков с центральными горками к новейшим заключительным фазам кратерообразования и к областям лунных морей.

В центральных горках лунных кратеров мы, видимо, имеем дело еще с одним особым морфогенетическим типом экстрезивных (выдавленных) образований. Лунные формации типа центральных горок с этой точки зрения подобны земным экстрезивным лавовым пробкам вроде знаменитой иглы Лысой горы (Мон-пеле) на о-ве Мартиника.

Центральная горка
сложнокольцевого
цирка
Вителло

Различные образцы кратеров с центральной горкой наглядно подтверждают вывод о способе их образования, основанный на общих статистических сопоставлениях.

Замечательнейшим примером экстрезивной пробки, выдвинутой из жерла в последней фазе действия очага, является центральная горка сложнокольцевого кратера Вителло. Вителло лежит на юго-восточном берегу Моря Влажности. Его внешний вал с острым ровным гребнем имеет поперечник до 49 км. Северо-западная часть гребня вала искажена примыкающей соседней кратерной ложбиной. К центру цирка днище Вителло слегка приподнимается и переходит в невысокий внутренний вал. Этот внутренний вал наподобие воротника тесно окружает округло-конусовидную центральную горку. Округлоконусовидный центральный пик, вплотную примыкающий к гребню внутреннего вала, очевидно, возник позже всего. Выпирающие центральную горку заполнили все пространство бывшего жерла воронки внутреннего вала Вителло.

Различная величина центральных горок в цирках одинакового размера

Образцом правильно округло-конусовидного центрального пика являются центральные горки в кратерах Альпетрагия, Гершеля, Гелля, Болла, Канта, Тацита, Кампана и др. Размеры их почти одинаковы и высоты валов подобны, но величина центральной горки существенно различна.

Неодинаковость горок в аналогичных кратерах указывает на то, что процессы формирования вала и центральной горки — не одно и то же.

Центральный хребет в Арцахеле и его связь со структурной линией разлома

Центральная возвышенность на дне Арцахеля долготно вытянута в виде двугранного осевого хребта. Расположение этого центрального гребня явно связано со структурной линией разлома, проходящей от Лаланда к Альфонсу через Арцахель до Региомонтана. Неправильно-удлиненная центральная возвышенность в Альфонсе является подобным же сооружением, обусловленным этой линией разлома. Внутри Пурбаха разлом сказался в виде двойной линии неправильных гребней, составляющих борта полосы обрушения. Немного в стороне от этой полосы посреди обширной арены Региомонтана вместо центральной горки находится весьма своеобразное сооружение, чрезвычайно сходное с типичными вулканическими конусами Земли.

Вулканоподобный кратер на дне Региомонтана

Региомонтан А представляет собой правильный конус до 8 км в поперечнике, высотой до 0,6 км, с отчетливо заметным глубоким жерлом на вершине. На берегах Моря Облаков существует несколько подобных узкожерлых крутоконусовидных кратеров, их иногда неправильно принимали за центральные горки. Но многие из них располагаются вне впадин цирков. Такое расположение, равно как и наличие глубоких, отчетливо заметных жерл, резко отличает описываемые образования от центральных горок. Региомонтан А и ему подобные кратеры аналогичны узкожерлым кратерам типа Кеплера и, вероятно, тоже являются результатом изнутри действовавших извержений. Никакая рикошетная детонация (в результате падения болида) не в состоянии создать столь крутое и высокое жерло. Наплавленно-насыпные кратеры типа Региомонтана не следует смешивать с типичными центральными горками.

Отсутствие воронки в центральных горках ясно указывает на экструзивное, а не на аккумулятивное наплавленно-насыпное происхождение.

Поскольку объекты подобные Региомонтану А еще мало изучены, но имеют большое сравнительное значение, было бы крайне желательно, чтобы наблюдатели уделили им больше внимания и документации.

Вулканическая теория образования центральных горок. Ее несостоятельность

Теория происхождения центральных горок, развитая Леви и Пюизё, Вильзингом, Бело¹ и другими селенографами-вулканистами, не делает принципиального различия между кратерами и центральными горками. Не принималось в расчет характерное отличие центральных горок — отсутствие в них жерла. В этом заключается коренной недостаток прежнего объяснения генезиса центральных горок, резонно указанный А. Вегенером. Если и можно сравнить внешний вал лунного кратера с Соммой (кальдерой), то центральный пик навряд ли соответствует воронке жерла Везувия.

Метеоритная теория происхождения центральных горок. Результаты экспериментов

Несостоятельность аналогий центральных горок с вулканическими эффузивно-аккумулятивными конусами А. Вегенер и другие селенологи-баллисты рассматривали как решающий аргумент в пользу экзогенного происхождения лунных кольцевых гор. Удалось экспериментально воспроизвести центральные горки вполне в духе метеоритной гипотезы (бросанием цементного порошка). Тем не менее при ближайшем рассмотрении вопроса обнаруживается, что, по сути дела, и баллистическое объяснение генезиса центральных горок столь же неудовлетворительно. Реванш, который, казалось, взят метеоритной гипотезой в этом деликатном вопросе морфологии Луны, по моему мнению, является призрачной Пирровой победой.

В результате экспериментов А. Вегенер должен был прийти к заключению, что центральная горка, как и следовало ожидать, не является насыпным сооружением, а образована из уплотненного, прежде существовавшего субстрата местности.

В опытах с бросанием цементного порошка центральные горки внутри воронок возникали только тогда, когда удар падающей массы встречался с близко залегающим твердым основанием места падения. Центральная горка, по опытам Вегенера, представляет собою останец из уплотненных или прочных пород, который может уцелеть в самом эпицентре контакта метеорита с почвой, где материал поверхности не получает никакого радиального ускорения.

Продолговатые центральные горки — осевые хребты (типа Арцахеля), согласно экспериментам Вегенера, образуются в результате падения там, где имело место разделение падаю-

¹ См. Belot E. Sur la formation des cirques luna'ires avec reproduction expérimentale. „Comptes-Rendus de l'Acad. des Sci. Paris“. vol. 154. 1912. pp. 638—640; Belot E. L'histoire physique et balistique des volcans lunaires. „Comptes-Rendus de l'Acad. des Sci. de Paris“, vol. 165. 1917. pp. 177—180.

щей массы. На стыке радиальных ускорений между двумя сливающимися центрами взрыва естественно возникла линия сжатия, где и мог в условиях скалистой почвы образоваться останцовый гребень. Перпендикулярно к центральной гряде выбросы из воронки по обеим сторонам вала должны быть всего сильнее, благодаря чему кратеры с центральным гребнем должны иметь биполярное строение. Следует подчеркнуть, что биполярный радиально-лучистый микрорельеф склонов вала должен в таком случае располагаться в направлении как раз поперечном к оси центрального хребта (см. рис. 22, фиг. д).

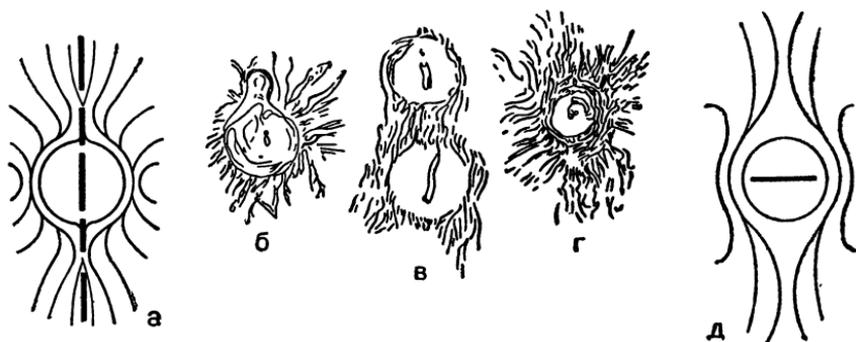


Рис. 22. Теории образования продолговатых центральных горок и действительное расположение гряд в лунных кратерах:

а) согласно теории связи с разломами, б) и в) у Буллиальда, у Альфонса и у Арцхеля, г) у Коперника, д) по теории падения.

Противоречия метеоритной теории происхождения центральных горок

Гипотеза падения в применении к генезису центральных горок кажется на первый взгляд весьма обоснованной. Однако, переходя к сравнению ее допущений с действительными особенностями строения и распространения центральных горок, мы наталкиваемся на противоречия.

Если прочный скалистый грунт (близ поверхности) необходим как субстрат для образования центральной горки, непонятно, почему же кратеры с центральными горками чаще всего встречаются не в наиболее гористых областях Луны, а среди лунных равнин (где глубина поверхностного разрыхления, вероятно, наибольшая). С баллистической точки зрения вовсе необъяснима исключительная редкость центральных горок у кратеров очень мелких и очень крупных.

Строение осевых хребтов в биполярно построенных кратерах дает наконец возможность сделать выбор между экзогенным и эндогенным объяснением генезиса.

Если биполярная структура радиально-лучистого микрорельефа склонов вала в кратерах с центральным хребтом

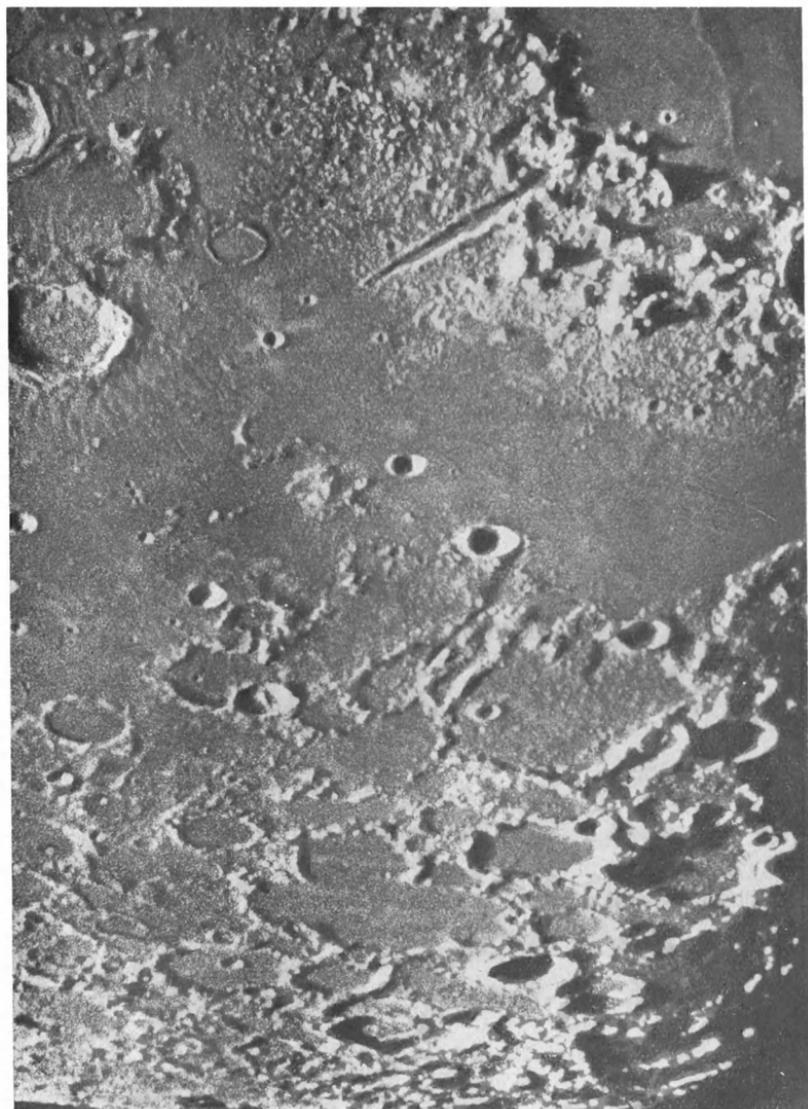


Рис. 23. Море Холодов и соседние гористые области близ Северного полюса Луны. Поперечная борозда в правом верхнем углу снимка— Долина Альп.

Обратить внимание на относительную древность многочисленных квадратных цирков.

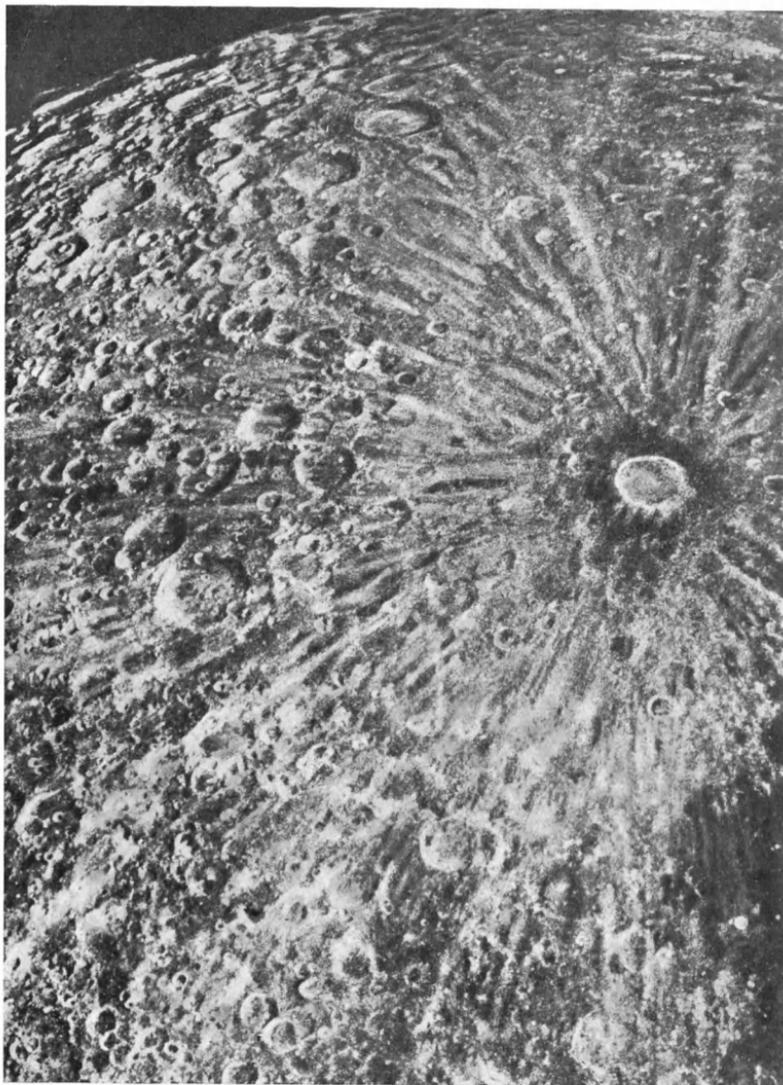


Рис. 24. Градиозный венец лучей выбросов из лунного кратера Тихо.

На снимке хорошо заметна сферичность поверхности Луны, подчеркивающая масштаб венца Тихо.

является результатом падения, осевой хребет, как мы видели, должен располагаться поперек к двум главным хвостам выбросов.

Если биполярное строение кратеров определяется их положением на активной линии разлома, осевой хребет должен располагаться вдоль этой линии, параллельно оси симметрии склонов вала (см. рис. 22, фиг. а).

В действительности у типичных осевых хребтов внутри лунных кратеров Арцахеля, Альфонса, Альбатенья и других наблюдается продольное, а не поперечное расположение центрального хребта, параллельное оси биполярной симметрии выбросов вокруг вала. Связь осевых хребтов с линиями разломов, взаимодействующих с кратерами, в этих случаях вполне очевидна.

Продолговатая группа разобщенных возвышенностей внутри Коперника располагается скорее поперек к биполярному венцу выбросов, но на этом примере нельзя основываться, так как северная доля днища кратера Коперника заметно ровнее южной половины и в этой, сильнее залитой лавами части, возможно и была затоплена южная окраина центральных поднятий Коперника.

Коперник, Буллиальд и другие кратеры с ясно выраженным радиальным микрорельефом предгорий вала представляют собой в известном смысле противоположность кратерам с концентрическим ступенчато-террасовым строением (кратеры типа Катарина). В то время как последние являются наглядным образцом ряда спокойных излияний и постепенного сокращения очага плавления, первые представляют пример катастрофических извержений. Есть основания думать, что сравнительно спокойные излияния лав и катастрофические взрывы (с радиальным рассеянием лавового материала) могли чередоваться в истории одного и того же кратера. Такое чередование спазматического и спокойного развития выбросов и излияний, как увидим ниже, замечается у Коперника.

К числу самых замечательных признаков катастрофической взрывной деятельности жерл относятся радиально-лучистые светлые венцы, расходящиеся от внешних склонов вала некоторых кратеров.

Эти лучистые сияния резче всего заметны во время полнолуния, особенно у кратеров Коперника, Кеплера, Прокла и других, лежащих на темноватом равнинном фоне лунных морей. Некоторые светлые венцы в сотни раз превосходят диаметр цирков и хорошо различимы даже при небольшом увеличении (в бинокль).

Самый грандиозный венец светлых лучей расходитя от кратера Тихо. Лучистый ореол Тихо, который в подробностях

известен каждому наблюдателю Луны, давно и детально изображен и описан. Он может служить образцом, по которому можно составить предварительное понятие о свойствах, вероятной физической природе и генезисе этих удивительных образований (см. рис. 24).

Лучистый венец вокруг Тихо начинается, как и у большинства других окруженных лучами кратеров, не в центре и даже не на внешних склонах кратерного кольца, а на некотором отдалении (в 40—60 км) от подножья вала. В разные стороны от кратера Тихо расходится не меньше сотни светлых лучей.

Этот нимб далеко не однороден и не равномерен. Местами, как, например, в направлениях к южному полюсу и на юго-восток, прорываются лишь менее сильные второстепенные пучки и узкие полосы лучей Тихо. В других направлениях, особенно на северо-запад от Тихо, образуется почти сплошной веер лучей. Отдельные лучевые полосы здесь как бы насыпаны на горный рельеф Луны. Они шагают вдаль, напрямик и без разбора через днища и валы кратеров, по кручам, пикам, гребням и впадинам лунной поверхности. Несмотря на общую радиальность и прямолинейность лучей, отдельные полосы и нити лучистого венца весьма неодинаковы в подробностях, местами неровны, то узловаты, то утоняются и становятся прерывистыми.

В западной и северной части венца Тихо поодаль от вала кратера замечается некоторое усиление густоты лучистого нимба, затем постепенно слабеющего и расщепляющегося. На продолжении одного луча нередко наблюдается полосчатопятнистое усиление и ослабление отдельных светлых прядей. Местами лучистый венец состоит как бы из радиальных светлых брызг самой различной длины.

Отдельные космы ореола Тихо раскинулись на огромных пространствах в длину до 1 890 км. Длинная двойная прядь ярких лучей брошена далеко на северо-восток от кратера. Она тянется по гористой суше между Морями Облаков и Влажности до самых Рифейских гор. Край соседней особенно широкой и длинной бахромы лучей идет прямо на северо-северо-восток от Тихо. Лучи продолжают здесь почти до середины лунного диска. Северо-восточнее лучистый венец Тихо покрывает огромное пространство до самых берегов Моря Нектара и Моря Спокойствия. Одна чрезвычайно длинная и яркая прядь лучей доходит, согласно Ю. Францу, даже до цирка Фалеса в северном полушарии Луны (за Морем Ясности).

Судя по площади распространения, образование венца лучей Тихо было исключительным явлением планетарного масштаба, захватившим добрую треть лунного глобуса.

С той стороны Луны, недоступной прямому наблюдению, тоже тянутся лучи, по Францу, доказывающие существование

второго грандиозного кратерного венца, который лежит где-то позади цирка Отто Струве.

Леви и Пюизё, детально изучавшие строение лучистого венца Тихо, подметили различия составных частей нимба, видимо неодинаковых по возрасту. Отчетливо выделяются генерации лучей, одна сравнительно короткая и бледная, как бы наложенная на более длинную, с распространением по дуге окружности от Мавролика до Нония. Обе генерации лучей перекрыты последующим плащом какого-то темного вещества, рассыпанного в ближайших окрестностях кратерного вала.

Перекрытие светлых лучей позднейшим плащом темного вещества наглядно заметно Три генерации лучей Коперника, в юго-западных подножьях кратера Коперника, перекрытые темными. Сажисто-черные пятна каких-то более молодыми излияниями молодых выбросов здесь словно отпечатаны и выбросами на фоне просвечивающих из-под них прядей светлых лучей. Это особенно ясно видно к западу от цирка Рейнгольда. Леви и Пюизё различают у Коперника три последовательно наложенных друг на друга яруса светлых лучей. Первый ярус самый широкий, но и наиболее бледный, с тонкими отдельными прядями лучей, почти прямолинейно расходящимися на сотни километров от вала кратера.

Характерной особенностью этой системы лучей является их расположение; лучи исходят не из геометрической точки центра кратера, а из широкого кольцевого очага. Второй ореол лучей Коперника — в общем более тесный, не разделенный на отчетливые лучи, с заметными усилениями светлоты над возвышенностями лунного рельефа (например близ Рейнгольда и др.). Исключением по длине и четкости в этой второй генерации лучей является, по Леви и Пюизё, длинная прядь, идущая от Коперника по направлению к Архимеду. Распространение второй генерации лучей Коперника в целом совпадает с более узким жерлом взрыва в центре кратера.

Третий более светлый (благодаря наложению), самый короткий венчик, по Леви и Пюизё, заканчивается в подножьях вала кратера.

Все три генерации лучей Коперника перекрыты тем извержением темного сажистого вещества, о котором уже говорилось выше. Леви и Пюизё называют темный венец, перекрывающий лучи Тихо, эффузией или лавовым покровом. Но такое толкование подходит только для ближайших частей темного плаща, обладающих характерным собственным рельефом (на склоне кратерного вала). Ниже на равнине вокруг кратера Коперника темные массы уже не имеют ни рельефа, ни резких очертаний, как легко заметить на снимках. Это не потоки, а лишь сажистые пятна, не одинаково густо насыпанные на сложную поверхность местности, т. е. скорее выбросы, а не излияния.

Номенклатура лучистых образований Леви и Пюизё (1902), а также Хэккер и Стюарт (1936) предложили удобные обозначения для разных типов лучистых образований. **Нимбом**, или **венцом**, называют густой ореол радиальных светлых лучей, светлым пятном — сплошной венчик, где отдельные пряди сияния вовсе не различимы, **аннулюсом**, или темным кольцом, — темные околократерные плащи, перекрывающие лучи.

Очень немногие кратеры, подобно Копернику и Тихо, имеют весь комплект этих образований. Большинство лучистых цирков лишено темных колец. Четко различимые и далеко идущие лучи чаще встречаются у довольно крупных кратеров. Светлые сплошные нимбы или пятна без лучей свойственны большинству самых мелких цирков.

Лучи — не трещины и не дайки, а радиальные полосы выбросов из кратеров. На примере лучистых систем Коперника и Тихо ясны типичные особенности околократерных венцов светлых лучей. Эти образования, как видно, не имеют теней и при умеренном увеличении не обнаруживают заметного собственного рельефа. Они не соотносятся с рельефом окружающей местности, а как бы наложены на него. Их строение, очевидно, связано с положением жерл кратеров, но не зависит от характера пород, слагающих самую поверхность области их распространения.

Это, стало быть, отнюдь не звезды разломов с расщелинами или же дайками, расходящимися от кратеров (как полагали Нэсмит и Карпентер, Гильберт, Си, Рууд¹, Джеффрис и другие авторы). Это — просто-напросто полосы светлого вещества, рассыпанные по лунной поверхности при взрывных выбросах из кратеров (как уже давно разъясняли Шакорнак, Франц, Леви и Пюизё). Насыпная природа лучей в настоящее время установлена прямым наблюдением.

Микрорельеф лучевых полос (по Пэзу) Астрофизик Пэз, пользуясь телескопом Калифорнийской обсерватории, в 1924 г. обнаружил, что самые крупные и длинные полосы лучей при большом увеличении все же обнаруживают слабый собственный рельеф. Конечно, не надо думать, что природа лучей до конца разгадана. Удивительное свойство было недавно обнаружено Н. П. Барабашевым: оказалось, что свет отражается ими совсем иначе, чем от тонкоизмельченных порошков.

¹ Сравни: Ruud Inglof. Eine Theorie über die Entwicklung der Ringgebirge des Mondes. „Astr. Nachrichten“, Juli, 1928, N 5571; See T. J. I. The origin of the so-called craters on the Moon by the impact of Satellites and the relations of those Satellites Indentations to the obliquity of the Planets. „Pop. Astronomy“, 1910, v. 18, pp. 137—144; „Publ. Astr. Soc. of the Pacific“, 1910, v. 22, pp. 13—20; See T. J. I. The origin of the Moon. „Journ. Brit. Astr. Ass.“, 1915, v. XXV, N 6, pp. 282—284.

Фазовые изменения видимости лучей

Замечательным свойством лучей, определяющим их физическую природу, является фазовая изменчивость видимости. Бросающиеся в глаза в полнолуние лучи постепенно теряются и совершенно исчезают при частичном освещении серпа Луны. В одной и той же фазе Луны заметные на ярче освещенных участках, они быстро исчезают по мере приближения к терминатору. Видимость лучей убывает с фазой Луны (т. е. с увеличением угла от наблюдателя к центру Луны и к положению Солнца в данный момент); фазовая функция яркости светлых лучей $\varphi(\sigma)$; во время полнолуния, т. е. при $\alpha = 0$, достигающая максимума с увеличением угла фазы, вначале падает очень быстро, а затем асимптотически, начиная с угла $\alpha = 10^\circ$, приближается к нижнему пределу значения.

Изменение яркости лучей с течением лунного дня похоже на то, как меняются в зависимости от освещения пыльные тропы на распаханном поле: в отвесных лучах Солнца в полуденный зной они кажутся самыми светлыми, а с приближением вечера темнеют прежде всего.

Лучевые венцы чаще всего встречаются в области морей, т. е. являются довольно молодой формацией

Давно замечено, что венцы светлых лучей встречаются всего чаще вокруг кратеров среди равнинных областей лунных морей. Из числа 69 известных лучистых кратеров на Луне, по Эльгеру, 52 кратера находятся среди морей или на побережьях морей.

Великий пояс морей Луны, как мы знаем, — образование относительно молодое (по сравнению с многими гористыми материковыми массивами Луны). Стало быть, $3/4$ количества лучистых кратеров относится к самым новейшим кратерным формациям Луны.

Здесь уместно спросить себя, не пропускаем ли мы ореолы лучей на более светлом фоне древних горных массивов Луны? Не могут ли лучи с течением времени исчезать, сливаясь со светлоте с общим колоритом местности?

Первое предположение неосновательно. Венцы лучей такой же сохранности, как и на морях, достаточно хорошо заметны и среди светлых гористых массивов. Они не пропущены, а их там вовсе почти нет. Так, до мельчайших подробностей прослежены лучевые ореолы Стевина и Фурнерия (в юго-восточном квадранте Луны), хотя находятся они среди самых светлых кратерных полей глубокой древности.

Образовывались ли лучистые венцы в древние периоды истории Луны?

Большинство сохранившихся лучистых венцов — сравнительно молодое образование; однако не следует думать, что такие формации выбросов вовсе не возникали в более древние времена. По мере разрушения поверхности кольцевых гор, по мере разрыхления и соответственного посветления общего фона кратерной суши, контраст

между лучами и окружающей местностью, надо полагать, со временем оглаживался, и они могли совершенно исчезнуть.

В большинстве сохранившихся древних массивов на Луне мы, правда, уже не видим промежуточных стадий такого исчезновения, т. е. таких обширных светлых пятен, которые могли бы сойти за остатки прежних лучистых нимбов. Если светлые венцы на Луне и образовывались раньше периода возникновения Великого пояса морей, то, очевидно, столь давно, что всякие следы их в окраске местности уже исчезли.

Можно думать, что лучистые образования все же возникли и в древние времена, судя по аналогии в строении некоторых древних цирков с теми кратерами, какие сейчас имеют лучи. Как мы уже говорили, для многих лучистых кратеров (Коперника, Аристилла и ряда других) характерен радиальный микрорельеф подножий вала кратера, аналогичный тому, какой сохранился у некоторых древних цирков, теперь погружившихся под поверхность морей. С этой точки зрения возможно, что двойной кратер Буллиальд, уцелевший среди равнины Моря Облаков, теперь лишенный лучей, был когда-то (вроде Коперника) лучистым.

Если разделить площадь видимой стороны Луны на восемь секторов (от центра) и подсчитать число лучистых кратеров в каждом октанте, оказывается, что распределение венцов далеко не одинаково. Частота их определенно связана с преобладающим типом рельефа областей Луны.

В подсчете, который был сделан Хэккером и Стюартом (на основе данных Эльгера), лучистые образования подразделялись на три категории: *П*—кратеры со светлыми пятнами, *О*—кратеры с отдельными лучами, *И*—кратеры с нимбом и лучами. Октанты разделены по радиусам от центра, начиная с севера-западной части Луны (в телескопическом обратном изображении—против часовой стрелки); таким образом, в первом октанте оказывается район Моря Кризисов и Спокойствия; во второй сектор попадает Море Ясности, Море Паров и западная часть Моря Холода; третий и четвертый октанты, охватывающие северо-восточный угол лунного диска, заключают Море Дождей и большую часть Океана Бурь; в пятый сегмент входит район южных побережий Океана Бурь; в шестом находятся материковые области к югу от Моря Облаков; седьмой октант является сплошь материковым (от Срединного залива до Южного моря), восьмой октант поверхности Луны состоит из обширных пространств кратерной суши с участками Моря Плодородия и с Морем Нектара.

Подсчет по октантам и по типам венцов, согласно Хэккеру и Стюарту, дает следующие результаты:

| Окранты | Кратерные венцы типа: | | | Проценты площади морей | Общее число венцов | |
|---------|-----------------------|----------|----------|------------------------|--------------------|----------|
| | <i>П</i> | <i>О</i> | <i>Л</i> | | вне морей | на морях |
| | 5 | 3 | 4 | 24 | 5 | 7 |
| 2 | 3 | 2 | 3 | 47 | 1 | 7 |
| 3 | 0 | 1 | 3 | 57 | 1 | 3 |
| 4 | 5 | 0 | 5 | 71 | 0 | 10 |
| 5 | 11 | 1 | 4 | 38 | 3 | 13 |
| 6 | 4 | 2 | 1 | 15 | 3 | 4 |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 6 | 5 | 1 | 21 | 4 | 8 |
| | 34 | 14 | 21 | Средн. 34% | 17 | 52 |

Обращает на себя внимание полное отсутствие лучистых образований в наиболее континентальном секторе Луны, а также немногочисленность их в области Моря Холода и Моря Дождей. Максимальное сосредоточение венцов наблюдается в районе Моря облаков, в Океане Бурь, а также на побережьях морей Ясности и Спокойствия. С морями особенно тесно ассоциируют сложные лучистые нимбы. Неразвитые мелкие светлые пятна вокруг кратеров гораздо слабее связаны с областями лунных равнин.

Хэккер и Стьюарт, у которых эти данные я заимствую,¹ периферировали цифрами неправильно, формально-статистически. Они сопоставляли наблюдаемые и вычисленные частоты лучистых образований по сегментам в зависимости от процента площади морей и суши, затем сравнивали разницу в выравнивании данных (степень рандомизации). В итоге вычислений также получилось, что связь большинства лучистых венцов с новейшими формациями пояса морей несомненна. Но то отдельно как внутри, так и вне морей, локальное расположение лучистых кратеров по данным дисперсионного анализа можно было считать случайным. Хэккер и Стьюарт считали случайность локализации венцов доводом в пользу баллистического происхождения кратеров с лучами, с чем, конечно, никак нельзя согласиться.

¹ Hacker S. C., Stewart I. G. Remarks on lunar ray craters. „Astron. Journ.“, Chicago, 81, pp. 37-41+1 fig.

Многokратность выбросов лучей из одного жерла противоречит гипотезе метеоритного происхождения

Они, повидимому, упустили из виду случаи многократного повторения выбросов лучей из одних и тех же кратерных жерл (с чем мы знакомимся, рассматривая строение Коперника и Тихо).

Многоярусное наложение венцов лучей, исходящих из одного центра, плохо вяжется с предположением о возникновении лучей в одно единственное мгновение.

Столь различные и разновременные ореолы лучей, исходящие из одного кратера, говорят за продолжительность действия жерла, внутри которого назревали взрывы, сопровождавшиеся извержением.

Неравномерно-лучистые венцы. Связь их очертаний с формой и наклоном кратерных жерл

Имеется ряд лучистых венцов с неравносторонними сложными очертаниями, где ореол лучистого сияния не образует правильной окружности с центром, точно приходящимся в жерло кратера, а напротив того, бахромы и пучки лучей в них разбросаны двусторонне (Коперник) или далеко

не по всем направлениям или же эксцентрично (Геродот), не одинаково густо, иногда почти целиком в одну сторону (Прокл) или даже только по единственному узкому тракту («кометный хвост» Мессье).

Эти случаи особенно заняты с генетической точки зрения. Здесь невольно возникает мысль, не зависят ли особенности расположения выбросов в каждом данном случае от формы и наклона ствола того орудия, которое стреляло лучами, т. е. от морфологического устройства жерла и гребня вала кратеров, окруженных лучами.

Сравнение, к которому мы теперь обратимся, показывает, что так оно и есть на самом деле. Среди лучистых кратеров Луны можно найти много примеров такого подобия в строении светлых венцов и жерл, благодаря которому можно даже установить, зарождался ли взрыв, сопровождавшийся эмиссией лучей, в глубинах жерла кратера, или же мы имеем дело с поверхностной рикошетной детонацией (в ответ на удар снаружи).

Двухсторонняя симметрия кратерного вала и венца у Коперника

Среди правильно округлых кратеров, как мы уже не раз говорили, имеются цирки биполярного строения, у которых вал разрезан надвое, как бы состоит из пары губ.

Уже указывалось, что в микрорельефе подножий валов таких кратеров обычно тоже замечается соответствующее двухстороннее расположение мельчайших неровностей местности. К таким кратерам относится, между прочим, и хорошо известный Коперник — образец почти округлого центрированного ореола лучей.

Оказывается, что отдельные нити и полосы лучей в светлом ореоле Коперника располагаются не одинаково точно по радиусам круга, а двусторонне (наподобие жилок в дольках половины апельсина), соответственно с биполярным рисунком рельефа склонов вала.

Такое же совпадение биполярного рисунка венца и вала замечается в лучистом двукрылом ореоле цирка, находящегося на побережье Моря Плодородия к северу от Вротслея¹.

К северо-востоку от Коперника и Кеплера на равнине Океана Бурь возвышается продолговатая пара цирков Аристарха и Геродота. Смыкающиеся валы этих кратеров образуют прусевидную, вытянутую к юго-востоку горную гряду. Северо-западные склоны гряды высоки, и обрывы жерл особенно круты. На юго-запад и на юго-восток воронки кратеров более открыты, скаты их ниже.

Легко можно догадаться о расположении венца лучей при таком устройстве рельефа кратерной гряды. Главные выбросы взрывов из жерл здесь должны быть направлены скорее всего также на юго-запад и на юго-восток. И на самом деле оказывается, что светлый ореол вокруг Геродота и Аристарха именно таков. В полнолуние гребни и склоны валов этой пары цирков с трудом различимы на фоне ослепляюще белого грушевидного нимба, выброшенного из Аристарха на юго-восток, с лучами, которые расходятся дальше всего к юго-востоку и юго-западу, но зато скоро исчезают под кручами северных подножий гряды.

Полукруглый
веер лучей и
асимметрия
жерла у кратера
Прокла

В северо-западной части лунного диска на берегу Моря Кризисов расположен кратер Прокла — небольшой, но весьма приметный цирк, окруженный ярким своеобразным сиянием. Лучи в ореоле Прокла собраны в отдельные пучки, тянущиеся по нескольким определенным секторам. В венце Прокла совершенно нет лучей южного и юго-восточного направления. Весь ореол лучей обращен к Моря Кризисов. Этот ослепительный широко развернутый веер, с длинным северо-северо-восточным, юго-юго-западным и западным пучками лучей, вполне соответствует устройству жерла кратера Прокла. Очертание самой воронки извержений у Прокла напоминает ухо, с пологими склонами полуокруглой западной половины жерла и с крутостоящим почти прямым (слегка треугольно-распоротым) восточным краем. Горловина кратера Прокла на глубине, по всей вероятности, была щелевидно сплюснутой с востока. Выбросы из Прокла естественно

¹ Ряд аналогичных наблюдений по данному и по другим важным вопросам морфологии Луны можно найти в монографии Сперра, с которой я познакомился уже после сдачи этой работы в печать: Spragg J. E. *Geology, applied to Selenology*, 1944, 2 vols.

должны были разлетаться веером в сторону главного выхода, т. е. наклонно на запад (см. рис. 25 а и б).

Луч Мессье А Удивительным, единственным в своем роде является узкий прямолинейный пучок лучей, который был выброшен одним из крохотных жерл кратерной пары Мессье.

Луч кратера Мессье А (с поперечником жерла всего 10—15 км), тянущийся к востоку по равнине Моря Плодородия, имеет длину до 217 км. Край «кометного хвоста Мессье», как его называли в старой литературе о Луне, или, как мы теперь сказали бы, «прожектора Мессье», более яркие белые, а середина бледная просвечивающая, словно здесь прошел смерч, особенно стремительный в центре луча. Луч слабо расширяется (до 20—22 км) в дистальном направлении и постепенно пропадает. Столб взрыва, образовавший луч, по всей вероятности, был направлен очень косо и низко, почти касательно поверхности (под углом не больше 15° к лунному горизонту).

Луч Мессье издавна является предметом усиленных наблюдений и дебатов селенографов. Но всего лишь 40 лет назад были установлены такие тонкие подробности строения кратера Мессье, которые проливают свет на генезис этого

Рис. 25: Асимметричные венцы лучей кратеров и их происхождение (вследствие сильного наклона жерл): а. Венец лучей у кратера Прокла. б. Асимметричный венец у небольшого кратера к Юго-Западу от Левьерре по данным Дж. Сперра (1944).

уникального образования. В 1907 г. астроном-любитель Жарри-Делож опубликовал рисунки, показывающие, что жерло цирка Мессье А, откуда исходит луч, имеет крутой нависающий западный и низкий пологий восточный край. Горловина кратера Мессье А, по данным Жарри-Деложа, должна

быть сильно наклонена к горизонту, с отверстием наподобие грота, обращенным к востоку¹. При таком пологом наклоне ствола, обращения лучистая полоса выбросов естественно должна была строго следовать только к востоку.

Объясняется ли взаимосвязь формы луча и кратера Мессье извержением или же рикошетной детонацией?

Казалось бы, на этом можно покончить с загадкой луча Мессье, занимавшей несколько поколений ученых. Но тут-то и обнаруживается главная трудность проблемы. Взаимосвязь воронки и луча Мессье можно объяснить двумя совершенно противоположными способами.

Узкая лучевая полоса могла возникнуть как в результате вулканогенного взрыва изнутри, так и благодаря поверхностной детонации, вызванной падением метеорита.

К счастью, разбираемый пример морфологически настолько своеобразен, что даст нам возможность определенного решения. В случае удара низко летевшего болида непременно должен был бы, кроме луча по линии главной отдачи от траектории метеора, возникнуть головной рикошетный всплеск выбросов. Но такой круговой, обращенной на запад фронтальной бахромы рикошетного всплеска лучей у Мессье в действительности нет. Тем самым гипотеза рикошета для луча Мессье отпадает.

Можно, правда, предположить, что луч Мессье представляет собою дымовой след самого пути полета болида, ежели он летел почти над поверхностью Моря Плодородия и зарылся в воронке Мессье без взрыва.

Но гипотеза дымового следа еще хуже гипотезы рикошета, так как она вовсе не связывает луч с видом жерла кратера Мессье и не вяжется с устройством самой воронки взрыва. Если детонации в результате удара болида не последовало, вследствие рыхлости почвы места падения, то по крайней мере должен был бы разметан самый материал воронки, т. е. опять-таки должен был бы получиться фронтальный полукруг выбросов.

Выясняя взаимосвязь очертаний светлых венцов с формой кратеров, нужно различать контуры всего кратерного днища и только от общей формы воронки данного извержения лучей.

Они могут совсем не быть похожи друг на друга. Ведь жерло в огромном цирке лишь с течением времени может затвердеть и сузиться настолько, что извержения приобретут характер взрывов.

¹ См. (Jarry Desloges). Observatoire Jarry-Desloges. Observations des surfaces planétaires. Fasc. I. Paris, 1908, 123 pp. (pp. 75—93; Messier, Platon, Linné les taches d'Helicon). Fasc. II, 1911, 260 pp. (pp. 201—213, 2 Messier, Platon, Linné, Dawes, Alpetragius), Fasc. III, 1913, 317 pp. (pp. 280—282 Messier).

Должен оговориться, что мне самому не пришлось наблюдать луч Мессье с такой детальностью, т. е. при больших увеличениях.

Бесформенно-туманные пятна вокруг мелких цирков как результат постепенного истечения эксгальций и пеплов

Образование светлых ореолов, видимо, не всегда было связано с извержением на всем сечении жерла кратера и не всюду носило характер катастрофически-мгновенного взрыва.

Вид некоторых самых мелких светлых пятен скорее указывает на постепенное вековое истечение или рассеяние эксгальций и пеплов. Очертание светлого пятна в таких случаях бесформенное, сплошное, неуловимо меняющееся в оттенке и незаметно сходящее на-нет. Резкие полосы, пучки и взбрызги лучей отсутствуют, нет даже намек на радиальную лучистость. Такой ореол похож на пелену светлого, постепенно оседавшего дыма, а не на бахрому или тем более не на лучистый нимб.

Эти особенности светлых пятен вполне понятны, так как на ущербе активности центра извержений меньше всего можно ждать фонтана взбрызг, выбросов и соответственно радиально-лучистого расположения пеплового плаща. К числу подобных бесформенных туманных ореолов вокруг кратеров относится светлое пятно цирка Медлера (на побережье Моря Нектара), цирков Эвклида, Дарнея (в Море Облаков) и великое множество мелких пятнышек вокруг самых маленьких цирков, и там и сям рассеянных на поверхности лунных равнин. Такие же пятна встречаются вокруг некоторых мельчайших кратеров, располагающихся нитью по линиям зияющих расщелин (например у Гигинуса). Вокруг кратера Медлера светлое пятно раздроблено на секторы по радиусам разломов. Раздробленность ореола Медлера можно, впрочем, объяснить иначе: подтоплением темными лавами моря по радиальным разломам. Светлоту краин расщелин можно объяснить также свежестью разломов, еще не загрязненных вековой вулканической или метеорной пылью.

Есть ли в строении лучевых венцов признаки влияния лунной атмосферы?

Леви и Пюизё указали еще на одно обстоятельство, которое может сказываться на строении светлых ореолов. Картина выбросов могла зависеть и от динамики лунной атмосферы, если таковая когда-ни-

будь существовала.

Леви и Пюизё видели признаки влияния былой атмосферы в асимметричном циклональном расположении венцов и в неравномерном сетчатоволнистом рисунке полос лучей. Но на самом деле никакого спирального расположения лучей в ореолах, сколько мне известно, нигде не замечается, асимметрия и зубчатость ореолов, как мы видели, обусловлена структурой самого ствола взрывов. Сетчатоволнистое, но все же ясно-радиальное расположение прядей лучей должно получиться вследствие падения множества выброшенных кверху хлопьев и при отсутствии воздушной оболочки.

Признаки выделения паров и газов вместе с выбросами

Предположение Леви и Пюизё станет вполне правдоподобным, если на место разреженной воздушной оболочки мы поставим те эфемерные массы газов и паров, которые неизбежно должны были вырываться из жерл в том или ином количестве вместе с пеплами. На поверхности Луны сохранились доказательства присутствия следов газов при взрывах, образовавших лучистые ореолы. Сенсибилизированные цветные фотоснимки Луны, сделанные Мите и Зеегертом, как мы знаем, обнаружили красноватую окраску у некоторых пучков северо-западных лучей венца Тихо, по всей вероятности вызванных окислением, которое немыслимо вне среды паров и газов.

Принципиальное различие метеоритной и вулканогенной гипотезы происхождения лучей

Здесь обнаруживается коренное различие во взглядах исследователей на механизм образования лучистых венцов лунных кратеров. Одно дело — считать лучистые выбросы продуктом вулканогенного выстрела, где главной движущей силой взрыва является газ, и другое дело — сводить процесс к детонации или к мгновенному разметыванию масс благодаря удару метеорита. В последнем случае должна, как правило, существовать прямая пропорциональность размеров ореола и воронки взрыва. Чем больше величина и скорость космического снаряда, тем грандиознее должен быть результат столкновения с почвой планеты, тем величественнее кольцо кратера и тем эффектнее окрестный веер разбрызгивания лучевых выбросов. С другой стороны, пропорциональность размеров лучистого ореола и кратерного вала вовсе не обязательна для эндогенной механики взрывчатого извержения. Напротив того, соотношение размеров должно быть чаще всего как раз обратное: чем уже горловина кратера, тем неизбежнее взрывной характер извержения, тем вероятнее возникновение лучистого венца.

Образование венцов, как исключительно редкое явление

С точки зрения эндогенного происхождения кольцевых гор Луны и сопутствующих им лучистых ореолов образование венца вокруг кратера — явление скорее исключительное, чем ординарное.

Венец есть признак необычайной катастрофической внезапности и силы извержения, если речь идет о внутренних жизнепроявлениях планеты. Мощнейшие извержения, конечно, мало похожи на внезапный мгновенный выстрел. Их драматическое развитие может нарастать и разрешаться без взрыва и тем более без грандиозного фонтана лав и пеплов. Напротив, с точки зрения космического поверхностного происхождения пепловых нимбов, образование грандиозных воронок без соответствующего лучистого венца выбросов мало вероятно. Почему же лучистые ореолы сравнительно часты у маленьких цирков и столь редки у больших кратеров?

Условия образования венцов, по взглядам Вегенера

Альфред Вегенер пытался объяснить наличие или отсутствие венцов у кратеров Луны характером почвы местности или же недостаточной компактностью самого вещества космических снарядов. Венец выброса мог образоваться, по Вегенеру, только там, где падение космических тел происходило среди рыхлых сыпучих толщ, подстилаемых на небольшой глубине скалистым субстратом. Венца не получалось там, где рыхлых наносов вовсе не было, и удар приходился на скалы, или же там, где сыпучие массы оказывались чрезвычайно податливыми и глубокими, так как при взрыве на скалах почти нечему было разлетаться, а при погружении в бездонную пыль и в пески не происходило взрыва.

Связано ли распространение венцов с мощностью поверхностных рыхлых накоплений?

Сравнивая это предположение с действительностью, на Луне мы не находим ничего похожего на связь распространения лучистых кратеров с относительной глубиной сыпучих и скалистых масс. В одном и том же небольшом участке среди лунных морей, например в отлично изученных окрестностях Коперника, сплошь да рядом перемежаются кратеры одинаковой древности с венцами и без венцов, что совершенно непонятно с указанной точки зрения.

Экспериментальные попытки воспроизведения венцов не подтверждают метеоритной гипотезы

А. Вегенер экспериментально воспроизводил лучистые ореолы, внешне совершенно сходные с лунными, высыпая гипсовый порошок на кусок черного картона. Лучи порошковой гипсовой пыли располагались совершенно сходно с венцами Луны. Но

самой воронки кратера таким путем одновременно никак не удавалось получить.

Для возникновения воронки кратера вместе с лучами требовался более компактный удар при падении. Таков второй вариант объяснения, но и он, как увидим, не спасает положения. Если на Луну сыпались не одни метеоритные камни, а гигантские струи космической пыли, вместе с метеорными глыбами, то для образования кратера с лучами каждый раз требовалось точное совпадение траектории космической пылевой тучи и глыбы.

Отсутствие бескратерных венцов и другие противоречия метеоритной интерпретации

Почему бы в таком случае не быть ореолам лучей без кратерных воронок? А таких, разумеется, не существует. Отсутствие бескратерных лучевых венцов возвращает нас к первому уже разобранному варианту баллистических гипотез (с детонацией на рыхлых наносах). В самом деле, даже

самой грандиозной пылевой кучей, будто бы разметанной падением болида, не объяснить планетарный масштаб венца лучей

Тихо, раскинутого на необычайно пересеченной скалистой местности. Если здесь дело не в наносах, а в самой детонации, уместно вновь задать вопрос, почему же венцы лучей столь редки у грандиозных кратеров и т. д.

Вообще же, что касается недоказанных гипотез, поскольку о них по необходимости шла речь, следует пояснить, что неслучайно здесь было всюду принято наименование «баллистические гипотезы», т. е. гипотезы падения выброшенных тел на поверхность планеты, как условие возникновения тех или иных форм рельефа.

Дело в том, что метеоритная гипотеза в селенологии является лишь одной из ряда аналогичных гипотез. Кроме нее высказывались и промежуточные по своему смыслу мнения. Так, высказывалось мнение, что все разнообразие кольцевых гор Луны возможно объяснить падением метеоритов на еще незастывшую лавовую поверхность планеты, или, что падавшие на поверхность Луны обломки, возможно, сами имели внутрипланетное происхождение, будучи выброшенными из лунных вулканов. Некоторые авторы даже предполагали, что в далеком геологическом прошлом взрывные извержения в кратерах Луны, раз они в условиях меньшей силы тяжести достигали такого масштаба, как в венце лучей Тихо, способны были давать выбросы, долетавшие и до Земли.

Но здесь уже говорилось, что балластическое происхождение можно признать все же лишь за одной сравнительно незначительной разновидностью кольцевых гор Луны. Только небольшие кратеры-лунки действительно сходны с кратерами, вызванными падением метеоритов, как по форме, так и по совершенно случайному распределению, не обнаруживающему никакой взаимосвязи с поясами разломов на Луне.

Отрицательное отношение к баллистическим гипотезам происхождения лунного рельефа в целом не следует понимать в том смысле, будто рассматриваемые проблемы селенологии существенно меняют те или иные взгляды на способ возникновения самих планет.

Даже космогенические гипотезы планетезимального типа допускающие, что планеты и их спутники первоначально возникли из скопления обломков, довольно мало зависят от выводов, играло падение метеоритов заметную роль в истории рельефа планет или же не играло. Например, можно предполагать, что планета возникла из захваченного притяжением Солнца скопления метеоритов, но допускать, что она в конце концов расплавилась, а затем остывала и в процессе дальнейшего образования твердой коры ее рельеф формировался главным образом эндогенными процессами.

Итоги обзора форм лунной поверхности (еще о дальнейших задачах изучения)

На этом можно закончить краткое обозрение самых типичных и замечательных форм лунной поверхности. Описание рельефа Луны было выбрано, по мере возможности, с учетом всех прежних литературных данных и карт, на основе сравнительного наблюдения большей части объектов, о которых шла речь.

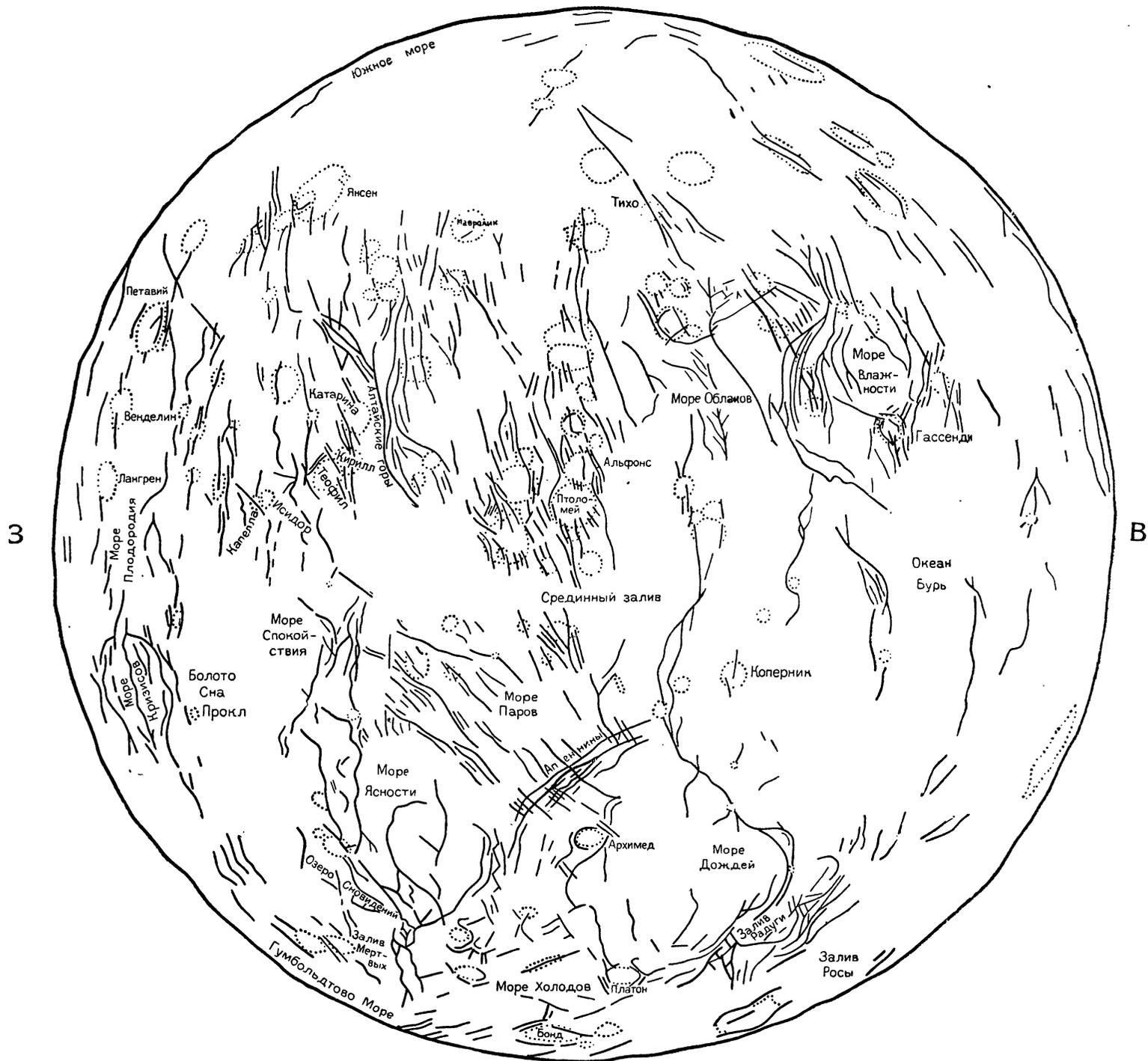
Несмотря на принятые предосторожности, не приходится сомневаться, что в представления об особенностях и ходе развития ряда лунных местностей и формаций в ближайшем будущем будет внесено много существенных изменений и поправок. Ведь, по общему признанию, современная стадия изучения природы Луны является переломной в отношении задач и методов селенологии. Времена преобладания поисков новых объектов, времена селенотопографического картирования видимой половины поверхности Луны подходят к концу.

В селенологии настало время углубленного морфогенетического анализа и обобщения давно известных фактов. В ближайшем будущем предвидится объединение морфологических и астрофизических способов изучения состава, устройства и генезиса отдельных замечательных областей лунной поверхности при помощи совместного изучения параллельных серий детальных снимков, снятых в обычном и в поляризованном свете, с цветными фильтрами и т. д.

Рано или поздно должна возникнуть детальная или региональная физическая селенология. В качестве существенной цели перед наблюдателями будет вставать вопрос уже не столько о морфологических особенностях того или иного объекта, но прежде всего об относительной древности и стадиях формирования данного объекта, об его положении в ряду аналогичных форм и его возрастных взаимоотношениях и генетических взаимосвязях с остальными особенностями местности.

Такие детальные морфогенетические и астрофизические исследования поверхности Луны и других ближайших планет будут, понятно, иметь значение постольку, поскольку они окажутся необходимыми для понимания природных особенностей и истории каждой планеты в целом. К этой же задаче целостного понимания природных особенностей и истории всей планеты в настоящее время приближается теоретическая геология и география. Вероятно, поэтому в ближайшее время еще более разовьется взаимный интерес исследователей к пограничным проблемам географии и планетной астрономии.

Ю



С

Разломы лунной поверхности (сводная схема)

Составил А. В. Хабаков

КРАТКОЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Самым главным среди основных вопросов истории поверхности Луны, важным не только для понимания развития этого небесного тела, но и с более общей сравнительной геолого-физической точки зрения, является вопрос об эндогенном или же экзогенном происхождении обычных форм рельефа Луны.

Селенологам, астрофизикам, географам и геологам одинаково важно знать — как возникали на ближайшей к Земле планете многообразные формы ее рельефа. Образовались ли они в массе лишь благодаря воздействиям внешних сил, например благодаря метеоритным бомбардировкам? Или же они в большинстве являются порождением внутренних сил развития, действовавших в недрах планеты? Разрешение этой исходной проблемы, думается, сильно зависит от того, как ее ставить и какими методами пытаться разрешать.

Все предыдущее изложение в этой книге имело целью дать, по возможности, индуктивный ответ на этот исходный вопрос. Следует предпочесть данные прямого наблюдения над морфологией и возрастными взаимоотношениями форм лунного рельефа, как этого требует генетический метод анализа рельефа, хорошо известный под именем геоморфологического анализа.

Я всячески старался избежать расплывчатой, слишком общей постановки этого вопроса, старался не рассматривать его в чисто умозрительной, отвлеченной форме, столь доступной двойному истолкованию.

При этом я намеренно ограничивался по возможности наиболее известными, неоднократно прежде изучавшимися объектами, чтобы облегчить будущую критику делаемых выводов.

Вместо того чтобы рассуждать, образовались ли те или иные формы лунного рельефа и их совокупности (формации) эндогенным (вулканогенным) или экзогенным (метеоритным) путем, следует искать в облике лунных гор и впадин очевидных доказательств мгновенности или, наоборот, длитель-

ности их возникновения, следов их формирования в каждом случае сразу или, напротив, многофазно и постепенно, явных признаков обусловленности формы прежде существовавшими особенностями местности или, напротив, доказательств отсутствия такой взаимной связи и унаследованности форм. Ведь ясно, что воронки и валы, образующиеся в результате падения метеоритов, являются формами, по существу, чуждыми строению места, где они были вырыты, притом формами взрывными, возникающими мгновенно, в отличие от эндогенных форм рельефа, связанных со всей предыдущей историей данной местности и являющихся чаще всего результатом длительного развития.

Кроме того, нас постоянно интересовала взаимосвязь и взаимное расположение лунных формаций разного рода.

Нетрудно убедиться, что вопрос об эндогенном или экзогенном происхождении лунных гор и впадин становится гораздо более доступным для разрешения, если интересоваться прежде всего характером и морфологическими особенностями, доказывающими взаимосвязь или независимость форм лунного рельефа и определенную стадиальность их развития или отсутствие таковой.

По всей совокупности рассмотренных объектов можно считать установленным, что селенографическое распределение различных формаций рельефа Луны, например кольцевых гор или разломов определенных типов, тем более расклассифицированных по относительному возрасту, — не является вполне хаотичным, чисто случайным. Для всей видимой поверхности Луны характерно отнюдь не случайное частое совпадение направлений поясов одновозрастных разломов и групп кольцевых гор. Характерно, что такая массовая взаимосвязь совокупностей разломов и кратеров нередко проявлялась на поверхности Луны неоднократно в одних и тех же областях.

Признаки не совсем случайного, не хаотичного, а статистически закономерного сосредоточения определенных форм рельефа на Луне обнаруживаются не только по месту, но и по времени их возникновения. Закономерности имеют место не только в географии, но и в истории рельефа Луны. Можно, полагаю, считать доказанным, что в истории поверхности Луны замечается некоторая периодичность событий. И, что наиболее важно, выясняется, что главнейшие эпохи возникновения великих лунных впадин или морей, с одной стороны, и массового возникновения кольцевых гор — с другой, не совпадают друг с другом. Эпохи талассогенные и кратерогенные на Луне, по крайней мере по их максимумам, по всей вероятности чередовались между собой.

Намечаются по меньшей мере шесть основных периодов истории развития поверхности Луны.

Целесообразно проследить и различать их, идя от форм самого новейшего периода к более древним, согласно с тем разработанным Ляйелем приемом последовательного снятия «сверху вниз» и реконструкции «этажей застройки» развивавшихся друг за другом формаций, какой на Земле постоянно применяют геологи. Современный период в истории лунной поверхности является, судя по результатам наблюдений, производимым селенологами по крайней мере за 100 последних лет, эпохой полного покоя.

Никаких существенных изменений лунной поверхности, по масштабу подобных тем, какие за это же время произошли на поверхности Земли, например обрушений или новообразований горных возвышенностей, — с достоверностью не установлено. Луна в настоящее геологическое время находится, говоря образно, в состоянии недвижимо-глубокого «сна» (т. е., добавим мы, вероятно, переживает самый конец фазы кратерообразования и сжатия).

Ближайшая, непосредственно предшествовавшая настоящему времени стадия истории поверхности Луны может быть названа новейшим или коперниковским периодом кратерообразования, поскольку тогда возникло жерло Коперника и множество других кольцевых гор, встречающихся в том числе и в области Великого пояса лунных морей. Кольцевые горы, возникшие в этот коперниковский период кратерообразования на Луне, обыкновенно отличаются сравнительно узкими жерлами, небольшими размерами и многочисленными признаками взрывного характера извержений (с венцами лучистых выбросов). Этот новейший или коперниковский период кратерообразования на Луне в селенографической литературе часто назывался также послеморским периодом (Р. М.— Пост-Маре).

Новейшему периоду кратерообразования предшествовала эпоха возникновения Великого пояса лунных морей.

В этот океанский период окончательно сформировалась впадина так называемого Океана Бурь, впадина Моря Дождей и целый ряд других связанных с этим поясом второстепенных круговых морей, включая и Море Кризисов.

Океанскому периоду образования впадин Великого пояса лунных морей предшествовал более древний период кратерообразования, который я выделяю под именем среднего, или птоломеевского периода истории Луны. В течение среднего периода возникло великое множество сохранившихся до сих пор кольцевых гор Луны, судя по затопленным на дне многих морей бесчисленным остаткам аналогичных кратерных форм, которые известны под именем кратерофантомов (сравни следы кратерных полей на дне Моря Облаков и пр.). В литературе этот период называли также доморским периодом (А. М.— Анте-Маре).

От еще более раннего периода образования впадин уже почти не сохранившихся лунных морей, который я называю алтайским, или древним, уцелело очень мало следов. В их числе, по данным наблюдений, заслуживает внимания прежде всего кругообразно изогнутый обрыв хребта Алтайских гор, являющийся остатком побережья прежней впадины какого-то огромного кругового Моря.

Алтайскому периоду образования древних морей на Луне, повидимому, предшествовал еще более ранний—древнейший, или доалтайский период кратерообразования о котором мы можем только догадываться по фестончатой изъеденности древнего края Алтайских гор, являющейся доказательством предшествовавшего развития гораздо более древних кольцевых гор.

Не исключено, хотя и крайне трудно доказуемо, что еще раньше имела место такая первоначальная эпоха истории лунной коры, на чем в свое время настаивали Леви и Пюизё, когда кольцевых гор вообще было еще сравнительно немного и когда обычным видом лунных земель являлась почти лишенная кратеров холмисто-бугристая или гребнисто-корковая поверхность, подобная шлаковой поверхности лав. Остатком подобной «первобытной лунной коры», как ее называли Леви и Пюизё, может быть, являются некоторые почти лишенные кратеров участки Кордильер и весьма древней равнины среди возвышенных областей Луны.

Изучение морфологических особенностей различных форм лунных разломов или трещин, сопровождавшихся перемещениями поверхности, позволяет, как мы уже говорили в предыдущих главах, различать две существенно генетически различные категории: а) лунные разломы типа расщелин, явно связанные с процессами расширения поверхности, и б) разломы типа обрушений, обрывов, связанные с явлениями сокращения поверхности.

Поскольку обе эти категории лунных разломов пользуются почти планетарным распространением, можно предполагать, что в истории Луны имело место чередование эпох некоторого расширения объема лунного шара и эпох сжатия. Эпохи преимущественного развития разломов-расщелин и разломов-обрушений, повидимому, были взаимосвязаны с чередованием периодов кратерообразования и периодов возникновения морей. Они по крайней мере обнаруживают следы точно такого же чередования во времени.

Сопоставляя возрастную взаимосвязь генетически различных формаций лунных разломов, кратеров и впадин морей, можно заключить, что периоды образования морей являлись на Луне эпохами величайших обрушений, по всей вероятности, следовавшими за временами некоторого расширения объема лунного шара.

Сопоставляя сохранившиеся горные сооружения и типы впадин и классифицируя их по времени, можно усмотреть, что наряду с периодичностью процессов изменения поверхности Луны обнаруживаются некоторые признаки определенной общей преобладающей направленности событий. На поверхности Луны запечатлены следы не только попеременного чередования максимумов образования кратеров и образования морей, но и признаки постепенного изменения морфологического облика этих основных рельефообразующих категорий.

История горных сооружений на Луне в целом, несмотря на ее явную неравномерность во времени, несмотря на чередование великих максимумов и минимумов кратерообразования, развивалась, в общем, в сторону охлаждения и затвердевания коры, в сторону уменьшения преобладающих размеров кольцевых гор, благодаря чему старое селенографическое правило — так называемый закон «меньше — моложе — ниже» — остается довольно верным вообще, а не только для одного новейшего периода истории Луны.

Сколько можно судить по виду сохранившихся форм различного возраста, общий ход истории поверхности Луны характеризуется все большим преобладанием опусканий и обрушений, несмотря на итоговое увеличение численности кольцевых горных сооружений. Гористые области на Луне чаще подвергались опусканию и затоплению лавами под равнинами Морей, чем воздыманию. Обратные случаи воздымания прежних равнин и более или менее полной их застройки кратерными кольцами, что мы наблюдаем, например, в юго-западной части видимого полушария Луны, являлись скорее исключением, чем правилом. По этому и многим другим признакам строения можно заключать, что общий ход развития лунной поверхности в целом был направлен в сторону некоторого общего сокращения объема (по сравнению с первоначальным), в сторону все большего затвердевания подкоровых глубин планеты, в сторону утолщения лунной коры.

Несмотря на это преобладающее развитие в сторону все большего затвердевания и соответственного сокращения объема лунного шара¹, тектоника поверхности Луны отличается решительным преобладанием почти только вертикальных перемещений (разломов). На Луне вовсе нет никаких признаков сколько-нибудь больших горизонтальных перемещений. Если бы такие горизонтальные сдвиги большого масштаба на Луне в новейшие эпохи ее истории имели место, они непременно должны были бы сказаться в виде разрывов и

¹ Прежде жидкостного, а затем затвердевшего шарового слоя вещества со свойствами базальта, толщиной в 25—35 км, под корой в несколько километров, повидимому, довольно, чтобы в результате затвердевания произошло сокращение радиуса лунного шара на 150—200 м, достаточное для объяснения наблюдаемой картины разломов.

смещений очертаний кольцевых гор. Как уже указывалось, наибольшие подобные сдвиги, которые наблюдались на мысе Гераклида, в ширке Капеллы и некоторых других местах, не превосходят 9—5 км (по амплитуде горизонтального смещения).

На Луне также не обнаруживается никаких признаков складчатых поясов сколько-нибудь значительного масштаба.

Вряд ли можно сомневаться, что поверхность Луны, подобно поверхности Земли, является следствием внутренней многофазной и длительной эволюции физического состояния недр планеты. Единственной созданной извне (космогенной) формой лунного рельефа, обусловленной, по всей вероятности, падениями метеоритов, являются мелкие кратеры — «лунки», отличающиеся очень малыми размерами, чашевидной формой впадины и незначительным, очень слабо развитым валом. В отличие от всех других форм лунного рельефа «лунки» рассеяны на поверхности Луны чисто случайно и разрозненно, без всякой связи с особенностями и с предыдущей историей местности.

В самом общем сравнительном смысле слова рельеф Луны (если не считать кратеров — «лунок») является рельефом вулканогенным. Это эндогенное, вулканогенное в широком смысле слова, происхождение форм рельефа Луны неизбежно вытекает из самого состава преобладающих пород ее поверхности. Немыслимо отрицать вулканогенное происхождение обычных форм лунного рельефа, признав вулканогенный характер обычных горных пород Луны, к чему в настоящее время склоняются все селенологи. В этом смысле дальнейшее детальное исследование поверхности Луны представляет, я полагаю, исключительный сравнительный интерес не только для астрономов, но прежде всего для географов и геологов. Луна, подобно Земле, очевидно, имела многофазное и длительное внутреннее развитие. Она, следовательно, может и должна изучаться и сопоставляться с геолого-географической точки зрения¹.

¹ Кроме раньше упоминавшихся работ о Луне со сравнительно геологической точки зрения сошлюсь еще на ряд сочинений, важных по общим выводам: Аполлов Г. Будущее Земли и настоящее Луны. Саратов. 1889; Евреинов В. Г. О возрасте луны. „Изв. Русс. астрон. о-ва“, 1904, № 6—7; Фесенков В. Г. Очердные проблемы селенологии. „Труды Г. А. О.“, т. I, 1924; Муратов С. Поверхность Луны с геологической точки зрения. „Изв. Р. О. Л. М.“, 1914, № 1 и 2; Радлова Л. Н. Природа лунной поверхности. „Природа“, № 8, 1939. Баранцевич В. О радиоактивности Луны. „Геодезист“, 1926, № 13—14, стр. 83; Beaumont Elie de. Comparaison entre les masses montagneuses de la Terre et de la Lune. „Comptes-rendus de l'Acad. Sc. Paris“, v. XVI, N I, 1843, p. 1032; Dana James D. On the volcanoes of the Moon. „Amer. Journ. of the Sci.“, v. II, 2 ser., 1846, 1—23 pp. (inset), p. 335; Geikie Arch. Geology of the Moon. „Nature“, 1905, vol. 71, pp. 348—350; De L a u n a y. Sur la constitution physique de la Lune. „Comptes Rendus de l'Acad. Sc. Paris“, 1870; Krejci Karl dr. Der Bau des Mon-

На примере Луны можно убедиться, что Земля не является единственной планетой, имевшей многовековое развитие под влиянием внутренних сил.

Если вещи могут быть легче всего познаваемы сравнением, то, кажется нам, сравнительное геологическое изучение ближайших планет должно стать важным подспорьем в анализе общих закономерностей истории самой Земли в целом.

Нет сомнения, что история и наблюдаемое строение поверхности Луны в некоторых существенных отношениях коренным образом отличаются от устройства и известного нам хода исторического развития Земли. Причину этих коренных отличий в устройстве и в истории двух соседних, может быть наиболее близких родственных небесных тел, думается, следует искать прежде всего в разнице их массы и размеров.

История Луны, рассматриваемая со сравнительной историко-геологической точки зрения, является типичным примером вероятного хода развития малых планет. Масса и сила тяжести Луны, как уже говорилось, столь невелика, что на Луне не могли сколько-нибудь длительно сохраниться ни атмосфера, ни связанная с круговоротом воздуха поверхностная водная оболочка. Отсутствие сколько-нибудь значительных оболочек воздуха и воды исключило в истории Луны возможность поверхностных перемещений рыхлых обломочных масс в таких грандиозных размерах, как это имеет и имело место на Земле. Работа поднятий на Луне, вызываемых внутренними причинами, никогда не облегчалась, в отличие от земных условий горообразования, одновременной денудацией воздвигаемых горных массивов. Опускания на Луне никогда не ускорялись одновременной загрузкой осадочными массами в такой степени, как на Земле (если не считать затопления образовывавшихся впадин лавами). В связи с отсутствием сколько-нибудь значительной оболочки атмо-

des, „Natur und Museum“, Heft 8, 1928, Ss. 337—347; Heft 9, Ss. 395—405; Heft 10, Ss. 449—460; Heft 11, Ss. 510—518; N a s m y t h James. On the structure of the Lunar Surface and its relations to that of the Earth. „Rep. Br. Ass.“, 1850, Trans of the Sect., pp. 25—26; П а в л о в А. П. Вулканы на Земле и вулканические явления во вселенной. СПб. (изд. Карбасникова), 64 стр.+1 табл.; P a v l o w A. P. Essai de reconnaître l'ère préarchéenne dans l'histoire de la terre et son influence sur l'évolution ultérieure du géoïde. „Bull. de la Soc. des Natur. de Moscou“, Ann. 1922, N. S. XXXI, pp. 1—22; P u i s e u x P. La terre et la Lune, forme extérieure et structure interne. Paris (Gauthier-Villard), 1908, 176 pp., 28 figs+2 Taf.; R a s t a l l R. H. The continents and the origin of the Moon. „Nature“, 1925, v. 115, pp.646—648; S a l e t P. Quelle est la nature du sol de la Lune? „Revue Generale des Sciences“. 1934, v. 46, pp. 341—344; S h a l e r N. S. General description of the Moon. Smiths. Rep., No.1490 (1903), 1904, pp. 103—113 (10 pp.) with 10 plates; Shaler N. S. Comparison of the features of the Earth and the Moon, Smithson. contrib. to Knowledge, v. XXXIV, N 1438, 1903—1904 in 4°, pp. 78+25 plates (79+26 pp.); S p u r r J. Geology applied to Selenology. 1944, 2 vols.

сферы и гидросферы, на Луне, очевидно, вовсе не было и не существует особой сиалической коры из осадочных и метаморфических пород, резко отличных по своей слоистости, пористости, пластичности, податливости к смятиям и по теплопроводности от подкоровых глубин. В связи с этим, в отличие от истории Земли, на Луне мы обнаруживаем и имеем основания предполагать одну только первичную вулканогенную тектонику разломов, в чистом виде, т. е. развитие вертикальных поднятий и обрушений без какой-либо существенной складчатости и без большого тангентального влечения масс.

Можно думать, что лунный тип строения глубин и морфологического устройства поверхности окажется более или менее характерным для малых планет (имеющих поперечник меньше 5—3 тыс. км, являющийся пределом долговечного сохранения атмосферы). Это наше предположение, повидимому, справедливо, судя по характеру поверхности Меркурия, поскольку она исследована (установлено, что рельеф Меркурия отличается еще более значительными высотами горных возвышенностей, для которых, как и на Луне, характерны кольцевые формы).

Морфологическое и структурное развитие земного типа, характеризующееся наличием поясов складчатости наряду с разломами, может иметь место лишь в более крупных планетах, аналогичных по размерам Земле и соответственно способных сколько-нибудь длительно удерживать свою воздушную и водную оболочку (например на Марсе, Венере).

Есть у планет и общие черты структуры, почти одинаковые, несмотря на различия масс, размеров и состава затвердевавших небесных тел.

К числу замечательных подобий в структуре планет, доступных наблюдению, относится прежде всего наличие линейных поясов или систем разломов, располагающихся по немногим преобладающим направлениям, находящимся в известном соответствии с фигурой и с положением оси вращения планеты.

На Земле, на Луне и на Марсе замечается в сущности похожее преобладание линейных поясов разломов, главным образом, северо-западного — юго-восточного и северо-восточного — юго-западного, а также долготного и реже широтного направления.

На Луне, как мы видели, расположение планетарных поясов разломов отличается чрезвычайной простотой и прямолинейностью, хотя встречаются также и круговые менее значительные системы разломов.

На Земле и на Марсе преобладающие тоже поясовые системы структурных нарушений являются более изменчивыми по своему направлению, подчас извилистыми, наподобие гирлянд, или криво изгибающимися по огромным кругам.

Преобладание северо-западного, северо-восточного, а также местами долготного и почти широтного направления в главных поясах разломов и складок на Земле настолько общеизвестно еще со времен Карпинского и Левинсона-Лессинга, что, кажется, уже нет надобности подробно доказывать существование этой удивительной избирательности направлений поясов деформаций планетарного масштаба.

Как известно, А. П. Карпинский и Ф. Ю. Левинсон-Лессинг обратили внимание на замечательные гомологии в контурах земных материков, особенно на остроконечную клиновидность Гренландии, Африки, Южной и Северной Америки и Индии, где ясно сказывается господство диагональной пары направлений нарушений. С этим же преобладанием диагональной пары деформаций на Земле, вероятно, стоит в связи господство северо-западных и северо-восточных простираний во многих складчатых или раздробленных областях самого различного геологического возраста.

Кроме того, на Земле обращает на себя внимание близкое к средиземному положение (по отношению к нынешней оси вращения) обширного альпийского широтного пояса нарушений, куда входят Тетис, т. е. наши земные Пиренеи, Атласские горы, Альпы, Кавказ и многие южноазиатские хребты, а также некоторые почти широтные части складчатых поясов в середине Атлантического и в субэкваториально-западной части Тихого океана.

Замечательно, что на Луне не имеется такого отчетливого пояса структурных линий, который прямо соответствовал бы широтному средиземному поясу Земли. Зато вместо нашего Тетиса на Луне имеется близкое к широтному ожерелье из грандиозных колец круглых опусканий лунных морей, возникших относительно недавно. Может быть в этом явлении следует видеть намек на более позднее формирование подобных широтных поясов нарушений планетарного масштаба, осуществляющихся на определенной далеко зашедшей стадии затвердевания глубин, при более ограниченных условиях внутреннего круговорота глубинных масс.

На Марсе общая закономерность расположения главных структурных поясов имеет сходство с общим планом структурных поясов Земли.

Широтный, по местоположению довольно близкий к средиземному, структурный пояс низменностей на Марсе, насколько можно судить по опубликованным снимкам и картам этой планеты, составляют марсианские Тирренское и Киммерийское моря, Сабейский залив, Марсианская Эритрея и другие темноцветные полосы; надо оговориться, что в этом широтном темноцветном поясе на поверхности Марса, вероятно, найдутся не только низменности (возможно моря или болота), но и цепи возвышенностей.

Преобладание поясов и решеток структурных линий северо-западного и северо-восточного направления на поверхности Марса сказывается в ориентировке множества частных линейных структур, таких, как Перифлегетон, Нилосырт, Тартар, Цербер, Пактол, Эвност, Эвмениды и бесчисленных одиночных марсианских «каналов».

Строение поверхности Марса еще почти не изучалось со сравнительно-геологической точки зрения, но теперь, когда большинство знатоков природы этой планеты склоняется к тому, чтобы видеть в «каналах» естественные линейные структуры эндогенного происхождения, настало время изучать Марс подробнее и точнее с применением возможно более сильных увеличений. На существующих картах-схемах строения Марса, повидимому, было допущено много необоснованной грубой геометризации.

Так или иначе, судя по опубликованным снимкам, Марс напоминает Землю, как и Луну, еще и в том отношении, что он дисимметричен в полярных областях глобуса. Действительно, как на Марсе, так и на Земле и на Луне, близ одного из полюсов находятся впадины, а около другого полюса — обширные возвышенности; на Земле возвышенной, гористой является область южного полюса — Антарктика, на Луне же и, повидимому, на Марсе, напротив — области северного полюса¹.

¹ Существенные соображения по этим вопросам имеются в статье А. П. Карпинского. О правильности в очертаниях, распределении и строении континентов, „Горн. журн.“, 1888, [Собр. соч., т. 2, стр. 29—47]; в книгах: В. В. Шаронов. Марс. 1948; Аррениус. Жизненный путь планет. 1923.

ПОЯСНЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ТЕРМИНОВ И ОСНОВНЫХ СЕЛЕНОГРАФИЧЕСКИХ ПОНЯТИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ К ТЕКСТЕ

Абсолютная температура [Т], — измеряемая от точки абс. нуля, лежащей на 273 градуса Цельсия ниже температуры тающего льда. Пересчет градусов шкалы Цельсия на абсолютную температуру и обратно ведется из расчета: $T^{\circ} = T - 273$ и $T^{\circ} = C^{\circ} + 273$.

Альbedo Луны среднее — отношение количества света, отражаемого Луной, к падающему на нее количеству солнечного света, равное, в среднем 0,073 (т. е. около 7%, а за вычетом мелких теней рельефа, вероятно, до 10%).

Альbedo визуальное — отражательная способность, определяемая через оптические приборы глазом.

Альbedo фотографическое — отражательная способность, определенная фотографическими снимками, а не на-глаз; может существенно отличаться от визуального альbedo, в связи с отражением значительной доли синих и фиолетовых лучей, слабее воспринимаемых глазом.

Астероиды, или малые планеты — множество небольших небесных тел, обращающихся в солнечной системе между орбитами Юпитера и Марса. Открыто свыше 1 600 астероидов, размерами от 770 км (Церера) до нескольких километров в поперечнике. Судя по неправильным изменениям блеска и другим особенностям, многие мелкие астероиды имеют очень неправильную обломочную форму.

Блинк-микроскоп — астрометрический микроскоп для точного сравнения двух снимков одного объекта путем попеременного (мигающего) их совмещения в поле зрения.

Вековое ускорение Луны — отклонения ее действительного пути вперед от вычисленного примерно на 10 угловых секунд в столетие, главным образом вследствие постепенного замедления движения Земли.

Гармоники (первого и второго порядка) — общие первые члены в формуле тригонометрического ряда разложения какой-либо периодической функции.

Диаметр Луны средний — равен 3 476 км, или 0,273 среднего диаметра Земли, принятого за единицу.

Квадратуры — такие положения планеты, когда линия, соединяющая центры Земли и Солнца, составляет прямой угол с линией между центрами Земли и планеты в эти моменты времени.

Колор-индекс — разность между визуальной и фотографической величиной яркости, взятая в качестве меры цветности света.

Либрация геометрическая и физическая — периодические колебания тела около положения равновесия, действительные или кажущиеся

(из-за колебаний места наблюдения). Различают геометрические либрации (по широте, долготе, суточная либрация), у Луны зависящие от отсутствия совершенной равномерности в относительном движении нашего спутника и Земли, откуда ведется наблюдение, а также физическую либрацию, происходящую от едва заметного покачивания не вполне сферичной Луны под влиянием притяжения Земли. Благодаря либрации, время от времени удается видеть несколько больше половины лунного глобуса, а именно: до 0,59 всей поверхности Луны.

Масса Луны равна $\frac{1}{81,56}$ массы Земли.

Новолуние — время, когда Луна вовсе невидима с Земли, так как обращена к нам затененной стороной, когда она находится между Солнцем и Землею.

Объем Луны. равен около $\frac{1}{49} - \frac{1}{50}$ объема Земли.

Ортографическая проекция — проекция полушария, на перпендикулярную к лучу зрения плоскость, параллельную меридиальному сечению глобуса, где параллели остаются прямыми линиями, а меридианы обращаются в полуэллипсы внутри контура карты глобуса. Лунные долготы и широты в ортографической проекции обозначаются греческими буквами λ и β .

Пепельный свет Луны — очень слабый свет, отражаемый затененной стороной диска Луны перед новолунием, являющийся отблеском света с освещенной Солнцем поверхности Земли.

Первая четверть Луны — время на восьмой день после новолуния, когда Луна освещена ровно на половину своего диска.

Плотность Луны средняя — 3,33, или только 0,604 средней плотности Земли, что указывает на значительно меньший относительный размер тяжелого ядра или на меньшее уплотнение вещества в недрах Луны.

Полнолуние — время полной освещенности лунного диска, когда Солнце и Земля находятся с одной стороны от Луны.

Последняя четверть Луны — время на восьмой день после полнолуния, когда лунный диск освещен только наполовину, после чего превратится в убывающий серп.

Притяжение на поверхности Луны — см. Тяжести сила на Луне.

Расстояние от Луны до Земли, среднее = 384 403 км.

Селенографические координаты долготы и широты лунных местностей обычно берутся в ортографической (см.) или же в стереографической проекциях.

Сидерический месяц — время, в течение которого Луна завершает обращение по орбите, оказываясь в том же относительном положении по какой-нибудь звезде, наблюдаемой с Земли; в среднем до $27\frac{1}{4}$ дней.

Синодический месяц или лунный месяц в обычном смысле слова, т. е. время между одинаковыми фазами Луны, например, от новолуния до следующего новолуния, или от одного полнолуния до другого.

Стереоскопический — двойной (бинокулярный) микроскоп для точного сравнения и замера двух совмещаемых снимков одного объекта.

Телескопическое изображение Луны является опрокинутым, так что север приходится неверху, а книзу, юг расположен вверху, запад — слева и восток — справа.

Все фотографические снимки, зарисовки и карта-схема Луны в этой книге помещены в таком обращенном телескопическом изображении, как они видны в телескоп.

Температура цветовая — температура раскаленного излучающего тела, определяемая по цветности излучения (согласно с теорией излучения идеального радиатора и путем сравнения яркости разных участков спектра излучения). В условных градусах «цветовых температур» K°

нередко выражают и цветовые оттенки отражающих свет заведомо холодных твердых тел. Так, различные цветовые оттенки на поверхности Луны обычно укладываются в интервал «цветовых температур» от 4700 К° до 4100 К°.

Терминатор — граница освещенной и находящейся в тени части лунного диска, определяющая внутренний край серпа Луны.

Тяжести сила на Луне — равна 0,165 притяжения на поверхности Земли (т. е. масса в 1 т весит только 165 кг).

Фазы Луны — см. полнолуние, новолуние, первая и последняя четверть; для наблюдателя Луны важно знать время наступления фаз; хорошим справочным пособием может служить таблица «Фазы Луны на сто лет», изданная Домом занимательной науки в Ленинграде в 1946 г. (под ред. Я. И. Перельмана, сост. Г. Г. Ленгауэр.)

Цветовой индекс — см. Колор-индекс.

Цветовые температуры — см. Температуры цветовые.

Эксцентриситет орбиты Луны — величина удлиненности орбиты, характеризующая отличие от окружности. В эллиптических орбитах эксцентриситет, соответствующий отношению расстояния от фокусов эллипса до центра орбиты к длине ее большой полуоси, всегда значительно меньше единицы. Эксцентриситет орбиты Луны равен 0,0549 (т. е. вчетверо больше эксцентриситета орбиты Земли).

НАЗВАНИЯ

ЛУННЫХ МЕСТНОСТЕЙ, ОПИСЫВАЕМЫХ ИЛИ УПОМЯНУТЫХ В ТЕКСТЕ

- Абея, море 63, 64, 66, 137
Абенезра, кр.¹ 138
Абульфед, кр. 126, 138
Автолик, кр. 74
Агатархид, кр. 62, 83, 101
Агриппа, кр. 117, 138
Азофи, кр. 126, 138
Альяцензий, кр. 113, 126
Альбатеный, кр. 106, 112, 113, 161
Альманон, кр. 138
Альпетрагий, кр. 51, 113, 158
Альфос, кр. 106, 112, 126, 155, 160, 161
Алтай, горы 18, 65, 69, 76, 90, 104, 105, 114
Альпы, лунные, хребет 77, 87,
Альп, долина 77, 84, 87, 88, 91, 100, 101, 103
Анаксагор, кр. 138
Аноним, кр. 113
Апеннины, хребет 13, 34, 63, 73, 74, 76—78, 101, 103, 106, 132
Араго, кр. 61
Аргеландер, кр. 113, 145
Ариадея, трещина 91, 116, 117, 118, 124
Аристарх, кр. 32, 35, 51, 63, 169
Аристилл, кр. 49, 155, 166
Аристотель, кр. 77, 123, 124
Архимед, кр. 51, 74, 127, 135, 138, 151
Арцахель, кр. 78, 112, 126, 135, 155, 158, 159, 160, 161
Атлас, кр. 151
Ахерузии, мыс 61
Баббэддж, кр. 63
Байльи, кр. 110, 136
Барроу, кр. 123, 124
Бессель, кр. 61, 145
Беер, кр. 145
Бианчини, кр. 86, 94, 101, 145
Бирт, кр. 84, 113 (рис.)
Бланкан, кр. 124
Бланшин, кр. 113, 126
Болл, кр. 158
Бонд, В, кр. 88, 123, 124
Бонплан, кр. 61
Боненберггер, кр. 96, 119
Борда, кр. 114
Боскович, кр. 117, 119, 135
Буллиальд, кр. 79, 101, 160, 161, 166
Бург, кр. 89, 120, 150 (рис.)
Бурь, Океан 13, 33, 35, 62, 63, 65, 71, 76, 81, 167
Буссиньо, кр. 152
Вальтер, кр. 84, 112
Варгентин, кр. 142, 144, 145, 154
Великий пояс морей 65, 66, 73, 76, 82, 91, 100, 107, 108, 109, 110, 156
Венделин, кр. 114, 118
Вернен, кр. 113, 126
Вихман, кр. 63
Вителло, кр. 82, 83, 152, 156, 157
Влажности, море 35, 62, 65, 66, 78, 81, 82, 83, 84, 94, 101, 106, 110, 116, 130
Воли, море 66
Волластон, кр. 63, 145

¹ Кр. — кратер

- Вольф М., кр. 61, 84
 Восточное море 63, 66
 Вротслей, кр. 155, 169
 Вурцельбауэр, кр. 126
 Вуда, пятно 33, 35
- Гамбар**, кр. 61, 90, 94, 95, 115
Гассенди, кр. 62, 82, 83, 106, 150
 (рис.)
Гаурик, кр. 84, 121
Гебер, кр. 138
Гезиода, трещина 85, 100
Гелль, кр. 158
Гемус, горы 34, 36, 61, 75, 106,
 118, 119, 124, 132
Геродот, кр. 91, 168, 169
Гераклида, мыс 86, 94
Геркулес, кр. 151
Герике, кр. 61, 90, 95, 101, 115
Гершель, кр. 112, 145, 155, 158
Гершель К., кр. 94, 115
Гигинуса, трещина 91, 101, 116,
 117, 118, 172
Гипатия, кр. 134
Гиппал, кр. 62, 83, 101
Гиппарх, кр. 102, 112
Годибер, кр. 96
Гоклен, кр. 114
Годин, кр. 138
Гримальди, кр. 35, 136
Грумбергер, кр. 124
Гудэкр, кр. 126
Гульд, кр. 61, 115
Гумбольдта, море 63, 66, 103, 111,
 123, 137
Гутенберг, кр. 18, 21, 119
Гэмус, горы, см. Гемус
Гюльден, кр. 112
- Дамуазо**, кр. 63
Даниель, кр. 135
Дарней, кр. 169
Декарт, кр. 105
Деламбр, кр. 155
Делиль, кр. 63, 145
Демокрит, кр. 114, 123
Дионис, кр. 32
Диофант, кр. 63
Долина Альп, см. Альп д.
Дождей, море 27, 32, 33, 35, 61, 62,
 63, 65, 71, 74, 81, 87, 90, 94, 95, 99,
 101, 102, 103, 110, 111, 115, 121, 167
Донати, кр. 113, 126
Доппельмайер, кр. 62, 83
- Жары**, залив 61, 74, 78, 95
- Загут**, кр. 105, 126
Зах, кр. 110
Зильбершлага, трещина 91, 101,
 116, 118, 127
- Исидор**, кр. 96, 155
- Кавказ**, горы 13, 32, 63, 76, 77,
 94, 103
Кавендиш, кр. 145
Кампан, кр. 83, 158
Кант, кр. 158
Капуан, кр. 135
Капелла, кр. 96, 101, 119, 150 (рис.)
Катарина, кр. 18, 115, 139, 150,
 151, 161
Карпаты, горы 13, 63, 76, 77, 78,
 79, 90, 95
Кельвина, мыс 83
Кеплер, кр. 63, 79, 144, 145
Кирилл, кр. 18, 113 (рис.), 115
 139, 155
Киз, кр. 84
Клавий, кр. 32, 51
Коломбо, кр. 60, 114
Коноц, кр. 125, 145
Коперник, кр. 34, 49, 51, 61, 78, 79,
 95, 106, 127, 130, 138, 156, 160,
 161, 163, 168
Коши, кр. 61
Краевое, море 63, 66
Кризисов, море 27, 31, 35, 60, 61,
 64, 75, 81, 102, 103, 105, 106, 107
Курций, кр. 110
- Лакайль**, кр. 112, 113, 126
Лаланд, кр. 159
Ламонт, кр. 61
Лангрэн, кр. 114
Ламберт, кр. 95, 115, 138
Лапласа, мыс 86, 94, 101
Лахир, кр. 94, 115, 145
Леверрье, кр. 28
Лейбница, горы 137
Лексель, кр. 135
Лемоннье, кр. 34, 61
Линней, кр. 74
Любинецкий, кр. 82
Лютер, кр. 61
- Магинус**, кр. 32, 69
Майн, кр. 114, 123
Майер, кр. 123
Манилий, кр. 36, 74, 117, 138, 155
Манчини, кр. 109
Маскелин, кр. 27
Март, кр. 92, 93, 149
Медлер, кр. 115, 116, 172
Меркатор, кр. 126
Мерсеннь, кр. 82, 83, 94, 154
Мертвых, озеро 88, 120
Мессье А, кр. 27, 170, 171
Мессье А., луч. 168, 170
Метон, кр. 119
Меций, кр. 104, 109
Морет, кр. 124, 137, 155

Неандер, кр. 18
Нектара, море 18, 21, 27, 35, 64,
65, 102, 112, 113, 115, 119, 126,
134
Николаи, кр. 105
Николле, кр. 84
Новое море 63, 66
Ноний, кр. 163
Ньюкомб, кр. 125
Ньютон, кр. 137

Облаков, море 27, 35, 61, 62, 65, 66,
76, 78, 81, 84, 85, 94, 95, 101, 102,
106, 112, 115, 118, 119, 121, 126,
130, 166
Ольберс, кр. 145
Опельт, кр. 61, 84, 115

Паров, море 74, 90, 106, 119, 124, 130
Парри, кр. 61, 95, 115
Пены, море 63, 66
Петавий, кр. 104, 114, 144
Пикар, кр. 60
Пятат, кр. 84, 121, 135
Питей (Пифей), кр. 95, 115
Пифагор, кр. 114, 123
Пиреней, хребет 18, 119
Платон, кр. 51, 94
Плодородия, море 27, 34, 60, 65,
81, 101, 106, 107, 169, 170
Полибий, кр. 96, 114, 115
Понтекулан, кр. 104
Посидоний (Посейдон), кр. 61, 119,
128, 135, 150
Прокл, кр. 48, 116, 145, 168
Прямая стена, обрыв 61, 84, 85, 101
Птоломей, кр. 51, 102, 112, 126
Пурбах, кр. 84, 112, 126, 158
Пуизё, кр. 82

Радуги, залив 35, 46, 63, 64, 75, 86,
93, 94, 101, 106, 115
Рамсдэна, кр. 83, 92, 94
Рамсдэна, трещина 91, 116
Рейта, долина 100, 104, 105
Рейнгольд, кр. 135, 138, 163
Рейнер, кр. 63
Региомонтан, кр. 84, 102, 110, 112,
158
Рифейские горы 36, 76
Росы, залив 35, 63, 66

Сабина, кр. 61
Санбеш, кр. 154
Северного полюса Л., область 103,
114, 123
Сирзала, трещина 91
Скорезби, кр. 114, 123
Смерти, озеро 13
Смита, море 63, 66
Снеллий, кр. 128

Сновидений, озеро или болото
61, 88, 102, 103, 125
Созиген, кр. 125
Сперер, кр. 112
Спокойствия, море 27, 32, 34, 61,
65, 90, 106, 118, 119, 124, 167
Срединный, залив 117
Стадий, кр. 95
Стиберий, кр. 104, 126
Струве О., кр. 119, 137
Сульпиций Галл, кр. 74, 125

Тавр, горы 118, 119, 124
Тарунций, кр. 48, 49, 60, 151
Тацит, кр. 105, 114, 158
Тебит, кр. 84, 126
Теофил, кр. 115, 155
Тихо (Тихо де Браге) кр. 36, 48,
69, 110, 161, 162, 168, 175
Тризнеккера, трещина 91, 116
Транс-Ган, море 66
Туманов, болото или залив 76, 125

Фабриций, кр. 104
Фай, кр. 113, 144
Фалес, кр. 145, 192
Ферма, кр. 105, 138
Флэмстид, кр. 63—145
Фогель, кр. 113
Фра-Мауро, кр. 61, 95, 115
Фурнерий, кр. 104, 114, 165
Фракастор, кр. 104

Херигоний, кр. 82
Холода, море, 31, 63, 77, 87, 88
103, 106, 107, 123, 166

Цезарь Ю., кр. 106, 117, 119, 125
Цельнер, кр. 105, 113 (рис.), 144
Цельзий, кр. 105, 113, 114
Цензорин, кр. 119
Цихуса, трещина 127

Шикард, кр. 110
Шиллер, кр. 119

Эвдокс, кр. 77, 88, 124
Эвклид, кр. 35, 172
Эйлер, кр. 145
Эпидемий, болото 92
Эратосфен, кр. 28, 61, 74, 90, 94,
95, 101, 115

Южное море 35, 66, 69, 111, 124

Ясности, море 13, 31, 32, 34, 35,
36, 61, 65, 74, 76, 88, 90, 103, 107,
110, 117, 119, 124, 125, 130, 167
Янсен, кр. 35

ПЕРЕВОД

НЕКОТОРЫХ ЛАТИНСКИХ НАЗВАНИЙ ЛУННЫХ МЕСТНОСТЕЙ, УПОТРЕБЛЯЕМЫХ В СЕЛЕНОГРАФИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЕ

| | |
|----------------------|-------------------|
| Aestuum sinus | —Залив Жары |
| Australe mare | —Южное море |
| Crisium mare | —Море Кризисов |
| Foecunditatis mare | —Море Плодородия |
| Frigoris mare | —Море Холодов |
| Humorum mare | —Море Влажности |
| Imbrium mare | —Море Дождей |
| Iridum sinus | —Залив Радуги |
| Medium sinus | —Срединный Залив |
| Mortis Iasus | —Озеро Мертвых |
| Nebularum palus | —Болото Туманов |
| Nectaris mare | —Море Нектара |
| Novum mare | —Новое море |
| Nubium mare | —Море Облаков |
| Orientalis mare | —Восточное море |
| Procellarum oceanus | —Океан Бурь |
| Roris sinus | —Залив Росы |
| Serenitatis mare | —Море Ясности |
| Somniorum lacus | —Озеро Сновидений |
| Spumans mare | —Море Пены |
| Tranquillitatis mare | —Море Спокойствия |
| Vaporum mare | —Море Паров |

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр

| | |
|--|-----|
| От редактора | 3 |
| Предисловие | 5 |
| Современное состояние изученности лунной поверхности и главные способы изучения | 11 |
| Физические условия, определяющие характер рельефа поверхности Луны | 41 |
| Формы лунной поверхности, их генезис и относительный возраст . . | 51 |
| Краткое заключение | 177 |
| Пояснение некоторых терминов и основных селенографических понятий, применяемых в тексте | 187 |
| Названия лунных местностей, описываемых или упомянутых в тексте | 190 |
| Перевод некоторых латинских названий лунных местностей, употребляемых в селенографической литературе | 193 |

Редактор *М. Т. Сперанская*
Технический редактор *С. М. Кошелева*

Сдано в производство 19/1-49 г. Подписано
к печ. 16/V-49 г. А 05029. Формат $60 \times 92\frac{1}{16}$.
Тир. 8 000. Печатных лист. 12,25+1 л. вкл.
Учетно-издательских лист. 14,19. Цена 7 р.
Переплет 1 р. Заказ 115.

6-я типография Главполиграфиздата при
Совете Министров СССР.
1-й Самотечный, 17.